



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

KLEBER SALDANHA DE SIQUEIRA

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE
MATERIAIS SEMICONDUTORES**

MACEIÓ
2022



KLEBER SALDANHA DE SIQUEIRA

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE
MATERIAIS SEMICONDUTORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Socorro Seixas Pereira

MACEIÓ
2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- S237s Siqueira, Kleber Saldanha de.
Uma proposta de sequência didática para o ensino da física de materiais
semicondutores / Kleber Saldanha de Siqueira. – 2022.
196 f. : il. color.
- Orientadora: Maria Socorro Seixas Pereira.
Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação
em Física. Maceió, 2022.
Inclui produto educacional.
- Bibliografia: f. 147-152.
Apêndices: f. 153-196.
1. Circuitos elétricos - Análise. 2. Sociointeracionismo. 3. Sequência didática. 4.
Eletrodinâmica. 5. Experimentação. I. Título.
- CDU:372.853.78



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 36 - UFAL

Campus A. C. Simões - Av. Lourival de Melo Mota, S/Nº.

Tabuleiro dos Martins - 57.072-970 - Maceió - AL - Brasil

Tels.: Direção: (82) 3214-1645; Coordenação Graduação: (82) 3214.1421;

Coordenação Pós-Graduação: (82) 3214-1423 / 3214 – 1267

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**“UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O
ENSINO DA FÍSICA DE MATERIAIS SEMICONDUTORES”.**

por

Kleber Saldanha de Siqueira

A Banca Examinadora composta pelos professores, Dra. Maria Socorro Seixas Pereira (Orientadora), do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, Dr. Wandearley da Silva Dias, do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, e Dr. Tiago Gonçalves Santos, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, consideram o candidato **aprovado.**

Maceió/AL, 10 de março de 2022.


Profa. Dra. Maria Socorro Seixas Pereira


Prof. Dr. Wandearley da Silva Dias


Prof. Dr. Tiago Gonçalves Santos

*Dedico este trabalho aos meus pais e a todos
aqueles que conduziram meus passos no
caminho da sabedoria.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à coordenação nacional do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e ao Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas pela oportunidade concedida de aprendizado, reflexão e aprimoramento profissional.

Agradeço a todos os professores pelos importantes ensinamentos nos campos da física e da pedagogia, fundamentais para o exercício docente.

Agradeço aos meus colegas de turma pelo entusiasmo, cooperação e fraternidade, permitindo a construção de uma atmosfera colaborativa e agradável durante esta importante fase de nossas vidas acadêmicas.

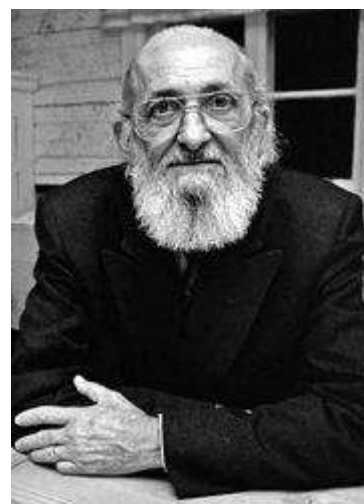
Agradeço ao professor Samuel Silva de Albuquerque pela qualidade didática e atenção dada às disciplinas de Termodinâmica Estatística e Eletromagnetismo, ambas contribuindo significativamente para minha formação.

Agradeço à professora Maria Socorro Seixas Pereira pela orientação e dedicação dada a este trabalho sem a qual nossos objetivos não seriam alcançados.

Agradeço a todos aqueles que desde o início da minha caminhada no universo do ensino buscaram conduzir-me no caminho da sabedoria.

Agradeço aos meus pais pelo amor, empenho e esforço, dedicado à minha pessoa, sem os quais nunca teria chegado onde estou hoje.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.”

Paulo Freire

RESUMO

SIQUEIRA, Kleber Saldanha. **UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE MATERIAIS SEMICONDUTORES**. Orientadora: Maria Socorro Seixas Pereira. 2022. 280 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2022.

O domínio da física do estado sólido permitiu o desenvolvimento dos principais campos da pesquisa aplicada levando ao surgimento de componentes eletrônicos cada vez mais eficientes e sofisticados. Neste contexto, os materiais semicondutores representam uma das maiores revoluções tecnológicas do último século, impactando a sociedade, massificando as tecnologias de automação, controle, informação e comunicação, hoje indispensáveis ao ser humano. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo desenvolver a física dos materiais semicondutores por meio da construção de cinco circuitos eletrônicos práticos, permitindo ao estudante relacionar as diversas propriedades físicas destes materiais com suas aplicações, levando-o a perceber seu impacto tecnológico e as principais diferenças entre componentes ativos e passivos. São apresentados o diodo clássico e o transistor, ambos analisados do ponto de vista eletrodinâmico com ênfase na teoria de bandas eletrônicas. Para tal finalidade, foi elaborada uma sequência didática composta de seis aulas baseadas em atividades experimentais de modo que a teoria desenvolvida está constantemente ligada ao fazer experimental, fortalecendo o dialogismo por meio do sociointeracionismo vygotskiano, rompendo com a prática meramente expositiva. Nas duas últimas aulas é proposta a construção de um circuito medidor de nível de água com o objetivo estratégico de integralizar os conceitos desenvolvidos nas aulas anteriores, levando o estudante a compreender sua própria trajetória de aprendizado. Durante a aplicação da sequência didática foram fornecidos kits com materiais para os estudantes inicialmente divididos em quatro grupos contendo ferramentas manuais simples, resistores, capacitores, leds, diodos e transistores. Durante as aulas os estudantes foram avaliados por meio da interpretação funcional dos circuitos propostos permitindo verificar o desenvolvimento de habilidades e competências próprias deste campo de estudo. Para a análise da aplicação do produto educacional foram aplicados um questionário sociopedagógico, com objetivo de caracterizar o público alvo do trabalho, uma avaliação de conhecimentos prévios, com o objetivo de analisar os subsunçores básicos dos estudantes para o estudo do tema, considerando a teoria da retenção significativa do conhecimento proposta por David Ausubel, o estudo do desempenho dos estudantes durante as atividades experimentais e uma avaliação de conhecimentos adquiridos, cujo objetivo é verificar o aprendizado dos estudantes e a viabilidade pedagógica do produto educacional. Ao final deste trabalho é demonstrado que o método de transposição didática baseado na construção e análise de circuitos eletrônicos torna possível o ensino da física dos materiais semicondutores no Ensino Médio levando ao aprendizado substantivo deste tema.

Palavras - chaves: Análise de circuitos, Sociointeracionismo, Sequência didática, Eletrodinâmica, Experimentação.

ABSTRACT

SIQUEIRA, Kleber Saldanha. **A TEACHING SEQUENCE PROPOSAL FOR THE TEACHING OF SEMICONDUCTOR MATERIALS PHYSICS**. Advisor: Maria Socorro Seixas Pereira. 2022. 280 p. Dissertation (Masters) - Federal University of Alagoas, Maceió-AL, 2022.

The domain of solid state physics allowed the development of the main fields of applied research, leading to the emergence of increasingly efficient and sophisticated electronic components. In this context, semiconductor materials represent one of the greatest technological revolutions of the last century, impacting society, massifying automation, control, information and communication technologies, which are indispensable to human beings today. Thus, this work aims to develop the physics of semiconductor materials through the construction of five practical electronic circuits, allowing the student to relate the various physical properties of these materials with their applications, making them realize their technological impact and the main differences between active and passive components. The classical diode and the transistor are presented, both analyzed from an electrodynamic point of view, with an emphasis on the theory of electronic bands. For this purpose, a didactic sequence was created, consisting of six classes based on experimental activities, so that the theory developed is constantly linked to experimental work, strengthening dialogism through Vygotskian social interactionism, breaking with merely expository practice. In the last two classes, the construction of a water level measuring circuit is proposed with the strategic objective of integrating the concepts developed in the previous classes, leading the student to understand his own learning trajectory. During the application of the didactic sequence, kits with materials were provided to the students, initially divided into four groups containing simple hand tools, resistors, capacitors, LEDs, diodes and transistors. During classes, students were evaluated through the functional interpretation of the proposed circuits, allowing to verify the development of skills and competences specific to this field of study. To analyze the application of the educational product, a socio-pedagogical questionnaire was applied, in order to characterize the target audience of the work, an assessment of prior knowledge, in order to analyze the basic subsumers of students for the study of the topic, considering the theory of significant retention of knowledge proposed by David Ausubel, the study of student performance during experimental activities and an assessment of acquired knowledge, whose objective is to verify student learning and the pedagogical feasibility of the educational product. At the end of this work, it is demonstrated that the didactic transposition method based on the construction and analysis of electronic circuits makes it possible to teach the physics of semiconductor materials in high school, leading to the substantive learning of this topic.

Keywords: Circuit analysis, Sociointeractionism, Didactic sequence, Electrodynamics, Experimentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Clássico experimento de Stephen Gray demonstrando as propriedades condutivas dos diferentes materiais.....	23
Figura 2 - Experimento de Franklin objetivando o estudo da natureza elétrica da matéria.....	24
Figura 3 - Garrafa de Leyden, um dos primeiros dispositivos idealizados para gerar corrente elétrica.....	26
Figura 4 - Pilha de Alessandro Volta, primeira utilização prática dos princípios físico-químicos no estudo da eletricidade.....	26
Figura 5 - Relação entre resistência, tensão e corrente descoberta por Georg Simon Ohm	27
Figura 6 - Experimento de Oersted comprovando a relação entre eletricidade e magnetismo.....	28
Figura 7 - Tubo de raios catódicos de Thomson usado para medir a relação carga-massa do elétron.....	29
Figura 8 - Análise do arranjo cristalino por difração de raios X.....	30
Figura 9 - Diodo de Fleming primeiramente desenvolvido como elemento retificador.....	31
Figura 10 - Rudolf Ernst Peierls, físico teórico.....	32
Figura 11 - A partir da esquerda, John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain.....	33
Figura 12 - Primeiro transistor funcional desenvolvido pelos laboratórios Bell.....	34
Figura 13 - Teoria de bandas eletrônicas.....	36
Figura 14 - Processo de formação de bandas eletrônicas em um sólido.....	36
Figura 15 - Semicondutores extrínsecos.....	38
Figura 16 - Diodo encapsulado e sua representação simbólica.....	38
Figura 17 - Distribuição de Fermi-Dirac como função da temperatura.....	40
Figura 18 - Esquema da conservação de portadores no semicondutor.....	43
Figura 19 - Modelo teórico para a dedução da equação da continuidade.....	43
Figura 20 - Polarização do diodo.....	45
Figura 21 - Zonas de depleção para as polarizações direta e inversa.....	45
Figura 22 - Curva característica para o diodo.....	46

Figura 23 - Simbologia e aspectos construtivos dos transistores.....	48
Figura 24 - Transistor em equilíbrio eletrostático.....	52
Figura 25 - Transistor NPN em polarização direta.....	49
Figura 26 - Transistor NPN em polarização reversa.....	49
Figura 27 - Transistor NPN em polarização direta-reversa.....	50
Figura 28 - Correntes de circulação nos transistores NPN e PNP.....	50
Figura 29 - Curva característica para o transistor BC548.....	51
Figura 30 - Diodo polarizado inversamente.....	80
Figura 31 - Diodo polarizado diretamente.....	80
Figura 32 - Circuito comutador.....	83
Figura 33 - Circuito controlador de potência.....	86
Figura 34 - Circuito amplificador de sinais.....	89
Figura 35 - Circuito medidor de nível de água.....	92

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - kits de componentes e materiais para execução das atividades.....	93
Imagem 2 - Estudantes do grupo 1 interagindo com o material instrucional da aula 1.....	111
Imagem 3 - Estudantes do grupo 2 interagindo com o material instrucional da aula 1.....	112
Imagem 4 - Resposta apresentada pelo estudante A na atividade experimental 1.....	114
Imagem 5 - Resposta apresentada pelo estudante B na atividade experimental 1.....	115
Imagem 6 - Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito comutador.....	117
Imagem 7 - Estudantes do grupo 3 respondendo às perguntas da atividade experimental.....	117
Imagem 8 - Resposta apresentada pelo estudante C na atividade experimental 2.....	120
Imagem 9 - Resposta apresentada pelo estudante D na atividade experimental 2.....	121
Imagem 10 - Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito controlador....	123
Imagem 11 - Estudantes do grupo 1 construindo e analisando um circuito controlador....	123
Imagem 12 - Resposta apresentada pelo estudante E na atividade experimental 3.....	126
Imagem 13 - Resposta apresentada pelo estudante F na atividade experimental 3.....	127
Imagem 14 - Estudantes do grupo 2 analisando um circuito amplificador.....	129
Imagem 15 - Resposta apresentada pelo estudante G na atividade experimental 4.....	132
Imagem 16 - Resposta apresentada pelo estudante H na atividade experimental 4.....	132
Imagem 17 - Estudantes do grupo 1 construindo e analisando um circuito controlador...	134
Imagem 18 - Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito controlador...	134
Imagem 19 - Estudantes do grupo 4 testando o funcionamento do circuito medidor.....	137
Imagem 20 - Estudantes do grupo 1 testando o funcionamento do circuito medidor.....	138
Imagem 21 - Estudantes do grupo 2 testando o funcionamento do circuito medidor.....	138
Imagem 22 - Estudantes do grupo 3 testando o funcionamento do circuito medidor.....	139
Imagem 23 - Resposta apresentada pelo estudante I na atividade experimental 5.....	140
Imagem 24 - Resposta apresentada pelo estudante J na atividade experimental 5.....	141
Imagem 25 - Resposta apresentada pelo estudante H na atividade experimental 5.....	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Organização pedagógica da aula 1.....	78
Quadro 2 - Materiais para a atividade experimental 1.....	80
Quadro 3 - Organização pedagógica da aula 2.....	81
Quadro 4 - Materiais para a atividade experimental 2.....	83
Quadro 5 - Organização pedagógica da aula 3.....	84
Quadro 6 - Materiais para a atividade experimental 3.....	86
Quadro 7 - Organização pedagógica da aula 4.....	87
Quadro 8 - Materiais para a atividade experimental 4.....	89
Quadro 9 - Organização pedagógica das aulas 5 e 6.....	90
Quadro 10 - Materiais para a atividade experimental 5.....	92
Quadro 11 - Parâmetros de desempenho da avaliação de conhecimentos prévios.....	108
Quadro 12 - Parâmetros de desempenho dos estudantes nas atividades experimentais.....	111
Quadro 13 - Análise e observações dos grupos na aula 1.....	112
Quadro 14 - Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 1.....	114
Quadro 15 - Análise e observação dos grupos na aula 2.....	118
Quadro 16 - Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 2.....	119
Quadro 17 - Análise e observação dos grupos na aula 3.....	124
Quadro 18 - Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 3.....	125
Quadro 19 - Análise e observação dos grupos na aula 4.....	129
Quadro 20 - Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 4.....	131
Quadro 21 - Análise e observação dos grupos nas aulas 5 e 6.....	135
Quadro 22 - Avaliação de desempenho dos estudantes nas aulas 5 e 6.....	136
Quadro 23 — Parâmetros de avaliação geral da aprendizagem.....	144

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Função de distribuição de Fermi - Dirac.....	39
Equação 2 - Limite da função de distribuição de Fermi - Dirac para x tendendo a infinito pela direita.....	40
Equação 3 - Limite da função de distribuição de Fermi - Dirac para x tendendo a infinito pela esquerda.....	40
Equação 4 - Comportamento analítico da função de distribuição de Fermi - Dirac.....	40
Equação 5 - Taxa de recombinação elétrons - lacuna.....	41
Equação 6 - Taxa efetiva de criação de pares elétron - lacuna.....	41
Equação 7 - Tempo de vida.....	42
Equação 8 - Taxa de aparição para os elétrons.....	42
Equação 9 - Variação do número de pares elétron - lacuna em relação ao tempo.....	42
Equação 10 - Número de portadores em função do tempo.....	42
Equação 11 - Taxa de portadores atravessando um elemento de espessura dx	43
Equação 12 - Equação da continuidade para os portadores de carga positiva.....	43
Equação 13 - Equação da continuidade para os portadores de carga negativa.....	43
Equação 14 - Equação de Poisson.....	44
Equação 15 - Relação entre as correntes I_B , I_E , e I_C para o transistor em equilíbrio.....	50
Equação 16 - Ganho de corrente I_C em relação a I_B	51
Equação 17 - Ganho de corrente I_C em relação a I_E	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Renda familiar dos estudantes.....	96
Gráfico 2 - Número de familiares residentes com os estudantes.....	96
Gráfico 3 - Número de estudantes que exercem atividade remunerada.....	97
Gráfico 4 - Grau de inclusão digital.....	97
Gráfico 5 - Número de estudantes com smartphone.....	98
Gráfico 6 - Nível de interesse dos estudantes por ciências.....	99
Gráfico 7 - Número de reprovações dos estudantes.....	99
Gráfico 8 - Número de estudantes que já abandonaram o ano letivo em curso.....	100
Gráfico 9 - Número de estudantes que consideram a escola um locus importante.....	100
Gráfico 10 - Nível de dificuldade enfrentado pelos estudantes para aprovação letiva.....	101
Gráfico 11 - Grau de assiduidade dos estudantes às aulas.....	101
Gráfico 12 - Experimentação como ferramenta estratégica de ensino.....	102
Gráfico 13 - Importância da experimentação nas aulas.....	103
Gráfico 14 - Participação em atividades experimentais.....	103
Gráfico 15 - Motivação dos estudantes na realização de experimentos.....	104
Gráfico 16 - Grau de entendimento da relação ciência/experimentação.....	104
Gráfico 17 - Grau de entendimento da relação ciência/experimentação.....	105
Gráfico 18 - Relação entre eletricidade e cotidiano.....	105
Gráfico 19 - Eletricidade e apropriação científica no dia a dia.....	106
Gráfico 20 - Circuitos eletrônicos como meio de resolução de problemas.....	106
Gráfico 21 - Distribuição de notas na avaliação de conhecimentos prévios.....	108
Gráfico 22 - Resultado geral da avaliação de conhecimentos prévios.....	109
Gráfico 23 - Distribuição de notas da atividade experimental 1.....	116
Gráfico 24 - Resultado geral da atividade experimental 1.....	116
Gráfico 25 - Distribuição de notas da atividade experimental 2.....	122
Gráfico 26 - Resultado geral da atividade experimental 2.....	122

Gráfico 27 - Distribuição de notas da atividade experimental 3.....	127
Gráfico 28 - Resultado geral da atividade experimental 3.....	128
Gráfico 29 - Distribuição de notas da atividade experimental 4.....	133
Gráfico 30 - Resultado geral da atividade experimental 4.....	133
Gráfico 31 - Distribuição de notas da atividade experimental 5.....	142
Gráfico 32 - Resultado geral da atividade experimental 5.....	142
Gráfico 33 - Análise geral do desempenho dos estudantes.....	143
Gráfico 34 - Distribuição de notas da avaliação de conhecimentos adquiridos.....	145
Gráfico 35 - Resultado geral.....	145

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 HISTÓRIA E FÍSICA DOS MATERIAIS SEMICONDUTORES	23
2.1 A Gênese da Eletricidade	23
2.2 Física dos materiais semicondutores	35
2.2.1 Considerações iniciais	36
2.2.1.1 Teoria de bandas	36
2.2.1.2 Tipos de semicondutores e o diodo	42
2.2.1.3 Distribuição de portadores de carga	44
2.2.1.4 Transporte de portadores e equação da continuidade	46
2.2.2 Diodo Semicondutor	49
2.2.3 Transistor	52
3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DA FÍSICA	57
3.1 Importância Pedagógica	57
3.2 Tipos de Atividades Experimentais	58
3.2.1 Atividades demonstrativas	58
3.2.2 Atividades com roteiro aberto	60
3.2.3 Atividades com roteiro fechado	61
3.3 Circuitos Eletrônicos como Estratégia Didática	63
3.3.1 Circuitos e resolução de problemas	67
4 TEORIAS COGNITIVISTAS DE AUSUBEL E VYGOTSKY	70
4.1 Ensino Baseado em Conceitos	70
4.1.1 Aprendizagem significativa	71
4.1.1.1 Tipos de aprendizagem significativa	72
4.1.2 Subsúncões e organizadores prévios	73
4.1.3 Materiais instrucionais potencialmente significativos	74
4.1.4 Experimentação e Ensino Significativo	75
4.2 Aprendizagem e Sociointeração	76
4.2.1 Atividades experimentais para Vygotsky	78
5 DESCREVENDO O PRODUTO EDUCACIONAL	81
5.1 Sequência Didática	81
5.2 Estrutura e Elementos Pedagógicos	83
5.2.1 Estrutura e desenvolvimento da aula 1	83
5.2.2 Estrutura e desenvolvimento da aula 2	86
5.2.3 Estrutura e desenvolvimento da aula 3	89
5.2.4 Estrutura e desenvolvimento da aula 4	92
5.2.5 Estrutura e desenvolvimento das aulas 5 e 6	95

6 APLICANDO O PRODUTO EDUCACIONAL	99
6.1 A Pesquisa em Educação	99
6.2 Questionário Sociopedagógico e Resultados	100
6.2.1 Aspectos socioeconômicos	100
6.2.2 Trajetória escolar	103
6.2.3 Grau de motivação	107
6.3 Avaliação de Conhecimentos Prévios e Resultados	112
6.4 Análise Aula a Aula	115
6.4.1 Aula 1	116
6.4.1.1 Execução e resultados	117
6.4.2 Aula 2	122
6.4.2.1 Execução e resultados	123
6.4.3 Aula 3	128
6.4.3.1 Execução e resultados	129
6.4.4 Aula 4	133
6.4.4.1 Execução e resultados	134
6.4.5 Aulas 5 e 6	139
6.4.5.1 Execução e resultados	140
6.5 Avaliação de Conhecimentos Adquiridos e Resultados	148
7 CONCLUSÃO	150
8 REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A	157
Produto Educacional	157
APÊNDICE B	158
Planos de Aula	158
APÊNDICE C	169
Questionário Sociopedagógico	169
APÊNDICE D	172
Avaliação de Conhecimentos Prévios	172
APÊNDICE E	177
Roteiros de Atividades Experimentais	177
APÊNDICE F	193
Avaliação de Conhecimentos Adquiridos	193
APÊNDICE G	197
Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)	197

1 INTRODUÇÃO

Vivemos numa sociedade cada vez mais dependente da tecnologia e de seus benefícios. Esta demanda tecnológica, por sua vez, tem obrigado professores e autores devotados à educação científica, a refletirem suas práticas pedagógicas e debaterem suas obras no campo do ensino a partir das novas concepções curriculares relacionadas ao ensino das ciências (OSTERMANN e MOREIRA, 2001, p. 1-2). Nesse sentido, existe a preocupação de elaborar livros e técnicas didáticas capazes de levar o estudante a inter-relacionar os conceitos físicos desenvolvidos nas aulas com os aspectos da vida cotidiana, tornando o estudante capaz de compreender e explicar os fenômenos físicos que o cercam (ANDRADE e MAIA, 2008, p. 2-3).

Dessa forma, qualquer autor busca determinar quais temas devem ser explorados de forma mais intensa em suas obras didáticas, com o objetivo de dar ao estudante subsídios mínimos curriculares para a disciplina, como também garantir uma base formativa que atenda aos constantes avanços tecnológicos que impactam nossas vidas (PEREIRA e LONDERO, 2019, p. 7-8). Não é tarefa fácil para um autor analisar suas obras didáticas com o objetivo de trazer ao universo do ensino obras completas que venham suprir as necessidades dos estudantes, mestres e instituições (GARCIA, 2012, p. 151). Diante desta dificuldade, um autor deve selecionar o que deve estar presente em sua obra seguindo rigorosamente o disposto no currículo da disciplina, ao mesmo tempo, determinando qual o grau de complexidade de exposição dos temas (GARCIA, 2012, p. 159).

Ao mesmo tempo, o professor deve estabelecer estratégias didáticas capazes de potencializar o ensino da física diante das mudanças curriculares, em função do aperfeiçoamento dos materiais instrucionais e dos métodos ativos (STUDART, 2019, p. 1). Diante do dilema vivido por autores e professores, face à necessidade de fornecer aos estudantes, inseridos numa sociedade predominantemente tecnológica, conhecimento capaz de torná-los cidadãos cientificamente instruídos, mostraremos neste trabalho a possibilidade de discutir a física dos materiais semicondutores no Ensino Médio; tema este suprimido nos livros didáticos por ser, precipitadamente, considerado complexo e apropriado para outros níveis de ensino (FILHO, 2019, p. 11).

Assim, buscamos sintetizar neste trabalho a possibilidade do ensino da física dos materiais semicondutores no 3^a ano do Ensino Médio destacando para o leitor que a supressão deste tema nos livros didáticos não está alinhada com a perspectiva tecnológica atual, que, por

exemplo, vem desconsiderando por décadas a teoria dos semicondutores do currículo escolar por um tratamento simples dos circuitos elétricos que aborda o funcionamento de resistências, capacitores, transformadores, bobinas e os vários circuitos formados por estes elementos, conhecidos como elementos passivos (OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p. 43). Traremos uma exposição didática da teoria dos chamados elementos ativos e dos circuitos formados por estes componentes com o objetivo de completar a exposição feita pela maioria dos livros didáticos de física que abordam o tema, circuitos elétricos, de forma restrita aos elementos passivos, como descrito anteriormente.

Mostraremos, por meio da elaboração e aplicação de uma sequência didática, baseada em atividades experimentais, composta por seis aulas, ministradas na Escola Estadual professor José Moacir Teófilo, localizada no município de Arapiraca, que o estudo dos circuitos elétricos compostos por elementos ativos, mostra-se positiva e consonante com a necessidade dos estudantes de entenderem as aplicações tecnológicas que envolvem os semicondutores (FILHO, 2019, p. 12). Ao mesmo tempo, verificaremos que este tema está associado a diversos outros conteúdos já aprendidos pelos estudantes na disciplina de química, por exemplo, permitindo o resgate significativo de importantes conceitos associados ao estudo dos semicondutores.

Nesse sentido, teoria e prática são aspectos indissociáveis neste trabalho de modo que o estudante não será condicionado à exposição teórica, de modo que, durante as aulas, serão solicitadas montagens de circuitos, a manipulação de ferramentas básicas e a demonstração de habilidades e competências próprias da análise de circuitos. Dessa forma, nosso objetivo didático é articular os aspectos funcionais dos circuitos analisados com as propriedades físicas dos materiais semicondutores, levando o estudante a entender como estas propriedades são determinantes para o seu funcionamento.

Inicialmente trataremos o conteúdo sob o prisma histórico levando o estudante a perceber que as conquistas científicas e tecnológicas não são atemporais e que estas estão atreladas a contextos históricos bem definidos levando à percepção que a ciência caminha junto com a sociedade e seus valores. Em seguida, será feita a conceituação precisa destes materiais destacando suas características químicas e físicas. No decurso da apresentação discutiremos a importância destes materiais, os imperativos que levaram ao seu desenvolvimento, seus principais tipos e suas principais aplicações. Será abordado o diodo clássico, seu funcionamento, suas características eletrodinâmicas e suas principais configurações em circuitos elétricos.

Durante esta etapa do trabalho, e concomitantemente à prática dos experimentos, serão introduzidos testes rápidos proporcionando aprendizado significativo e o monitoramento da aprendizagem dos conceitos envolvidos nas aulas. Na sequência abordaremos o transistor, que representa um dos mais importantes avanços na tecnologia dos materiais semicondutores. Nessa fase, também iremos propor testes capazes de ajudar os estudantes na fixação do tema. É importante frisar que o estudo dos transistores será limitado ao transistor clássico de junção de modo que outros tipos de transistores, mais complexos, não serão abordados neste trabalho por apresentarem alto grau de sofisticação, sendo estes de interesse da pesquisa avançada.

A metodologia está dividida em quatro etapas iniciando com a aplicação de um questionário sociopedagógico cujo objetivo é a caracterização do público alvo deste trabalho destacando aspectos socioeconômicos e motivacionais diante das atividades a serem desenvolvidas. Posteriormente é aplicada uma avaliação de conhecimentos prévios com objetivo de determinar o domínio conceitual dos estudantes, permitindo estabelecer estratégias de ensino baseadas nestes conhecimentos.

A terceira etapa metodológica consiste na análise do desempenho dos estudantes nas atividades experimentais que serão avaliadas segundo critérios específicos permitindo determinar o grau de aproveitamento destes. A última etapa do processo é a construção e interpretação funcional de um circuito medidor de nível de água utilizando todos os componentes eletrônicos conhecidos pelos estudantes até então. Nesta etapa, os estudantes serão indagados por meio de perguntas objetivas e discursivas sobre o seu funcionamento e como os diversos componentes interagem de forma eletrodinâmica destacando o funcionamento de diodos, leds e transistores.

Consolidando a pesquisa, traremos uma perspectiva didática baseada nas teorias cognitivistas de Ausubel e Vygotsky as quais permitem estabelecer estratégias de ensino que levam em conta os conhecimentos e experiências adquiridas pelo estudante durante sua vida escolar ao mesmo tempo aspectos interacionais que colaboram no processo de ensino, respectivamente. Escolhemos estas perspectivas de ensino uma vez que julgamos serem elas capazes de atender às necessidades deste projeto de ensino.

No capítulo 2 serão discutidos os aspectos históricos relacionados com a descoberta e desenvolvimento dos materiais semicondutores desde os primeiros indícios fenomenológicos na Grécia antiga até o desenvolvimento do transistor de junção nos anos quarenta. No mesmo capítulo, será desenvolvida, de forma rigorosa, a física dos semicondutores, iniciando com o diodo clássico e concluindo a exposição com o transistor. Nesta parte do trabalho serão

pontuados diversos resultados da física do estado sólido permitindo a compreensão do transporte de cargas elétricas nestes materiais.

No capítulo 3 discutimos a experimentação no ensino da física destacando suas origens, perspectivas didáticas e metodológicas. Nesta parte do trabalho abordamos as diferentes formas de atividades experimentais e quais suas características diante das possibilidades e dos atores envolvidos no processo de ensino.

No capítulo 4 serão desenvolvidas as teorias de Ausubel e Vygotsky. Será feito um estudo detalhado de cada teoria pontuando seus aspectos fundamentais e como estes fundamentam o trabalho desenvolvido nesta pesquisa. Mostraremos como a sequência didática desenvolvida neste trabalho está baseada nos princípios que norteiam a teoria de Ausubel da aquisição do conhecimento por subsunções e como o interacionismo de Vygotsky está associado às atividades experimentais propostas neste trabalho.

No capítulo 5 descrevemos o produto educacional, sua estrutura didática, elementos constituintes e seus objetivos como elemento instrucional. Será abordado seu emprego na sala de aula de forma a instruir o professor na forma adequada de aplicação. No capítulo 6 desenvolvemos os aspectos metodológicos que procuram avaliar os resultados obtidos na aplicação do produto educacional. Neste capítulo, destacamos as quatro etapas metodológicas do trabalho e os critérios de avaliação que serão utilizados para analisar o aproveitamento dos estudantes durante as atividades experimentais e durante a fase final que consiste na construção e análise de um circuito medidor de nível e água.

No capítulo 6 apresentamos para o leitor o processo de aplicação do produto educacional destacando todos os passos, resultados, discussões e análises que permitem inferir sobre a dinâmica do produto no contexto educacional. Neste capítulo, utilizaremos a pesquisa qualitativa interpretativa para desenvolver os resultados observados como também a pesquisa quantitativa por meio da organização e exposição de dados numéricos.

No capítulo 7 trazemos as conclusões do trabalho e as perspectivas futuras oriundas da pesquisa realizada de forma a subsidiar outros trabalhos baseados nesta temática. Dessa forma, acreditamos que esta pesquisa irá contribuir para o desenvolvimento de estratégias de ensino no campo da eletrodinâmica ao mesmo tempo produzir reflexões sobre o ensino de temas relevantes no contexto da educação científica.

2 HISTÓRIA E FÍSICA DOS MATERIAIS SEMICONDUTORES

Neste capítulo, traçamos a linha temporal do estudo fenomenológico da eletricidade partindo das primeiras observações na Grécia antiga, perpassando os avanços ocorridos na Europa, com destaque na segunda metade do século XIX onde os primeiros indícios do comportamento semicondutor foram observados por meio do estudo do PbS (sulfeto de chumbo), levando aos primeiros dispositivos semicondutores rudimentares. Neste contexto, apresentamos os imperativos tecnológicos que motivaram as pesquisas no campo do estado sólido, culminando com o desenvolvimento do diodo e do transistor de junção ainda na primeira metade do século XX.

Posteriormente à discussão histórica, será desenvolvida a física dos materiais semicondutores iniciando com a teoria de condução por bandas eletrônicas destacando as diferenças entre condutores, isolantes e semicondutores. Ao mesmo tempo serão discutidos os fenômenos associados ao transporte de cargas elétricas nos semicondutores considerando os resultados da mecânica quântica, da mecânica estatística e do estado sólido. Ao final do capítulo, o diodo semicondutor e o transistor são apresentados e analisados do ponto de vista funcional.

2.1 A Gênese da Eletricidade

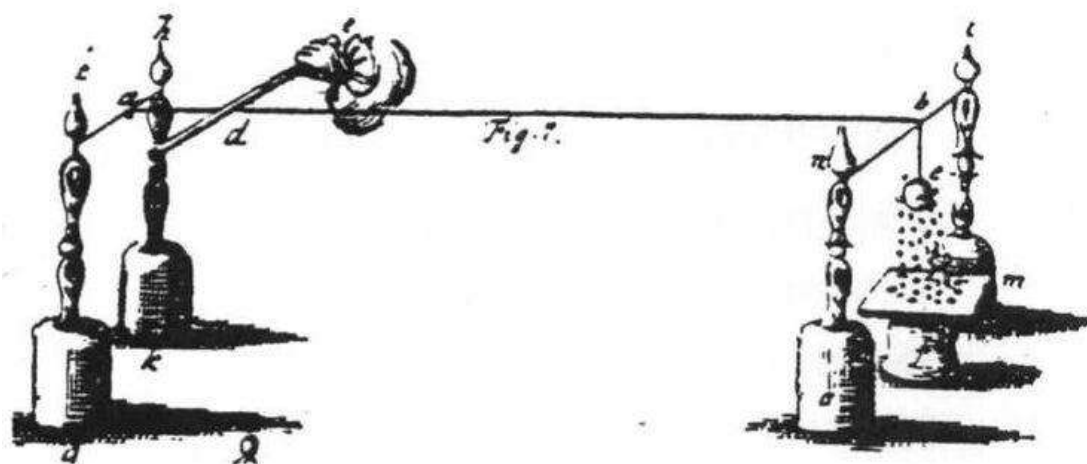
O estudo da eletricidade remonta os gregos antigos quando da observação dos primeiros fenômenos elétricos de forma empírica. Os gregos sabiam que ao atritar certas substâncias de naturezas diferentes, como por exemplo a lã ou pêlo de animais em bastões de âmbar (uma resina obtida a partir da seiva de árvores) podiam atrair com estes, pequenos fragmentos de palha. Nesse contexto, não haviam estudos sistematizados, de forma que os fenômenos observados eram descritos e interpretados de forma despreziosa (OKA, 2000, p. 1). Historicamente, as pesquisas em eletricidade apenas ganharam amplitude e importância a partir do século XVI com as pesquisas realizadas por William Gilbert que desenvolveu diversos estudos nos campos da eletricidade e magnetismo (GIBERT, 1982, p. 51).

Durante suas pesquisas, propôs que a Terra possuía em torno de si um campo magnético que podia interagir com outros elementos magnetizados. Também deve-se a Gilbert as primeiras tentativas de relacionar os fenômenos elétricos e magnéticos tornando estes interdependentes, sendo ele também responsável pelo termo eletricidade (OKA, 2000, p. 1). Deve-se a Gilbert também o aprofundamento do estudo dos processos de eletrização o que

permitiu entender que diversas outras substâncias diferentes do âmbar podiam sofrer eletrização ao serem atritadas por outras (GIBERT, 1982, p. 51).

Nos séculos seguintes, as pesquisas relacionadas à eletricidade seguiam de modo que Stephen Gray, em 1729, a partir de vários estudos e experimentos sobre a condução elétrica, observou que podia '*transferir eletricidade*' de um bastão de vidro para uma esfera de marfim suspensa por um barbante, (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1975, p. 48). Ao mesmo tempo, percebeu que quando o barbante era substituído por um fio metálico não ocorria a transferência de eletricidade concluindo assim que o '*fluido elétrico*' (antes da descoberta das propriedades corpusculares da matéria acreditava-se que a eletricidade era um fluido) do bastão percorria o fio metálico e desaparecia permitindo classificar os diferentes materiais em condutores e isolantes, como observado na figura 1 (GIBERT, 1982, p. 52).

Figura 1 — Clássico experimento de Stephen Gray demonstrando as propriedades condutivas dos diferentes materiais.



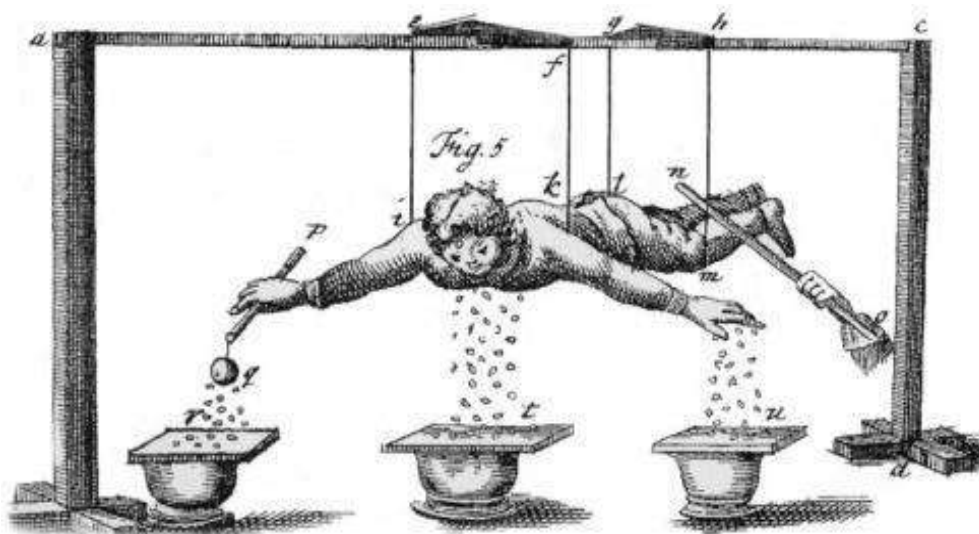
Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/24629129193170838/>.

Coube a Charles du Fay, em meados de 1733, desenvolver uma série de experimentos envolvendo eletrostática que permitiram estabelecer dois tipos diferentes de 'eletricidade'. Seu experimento consistia em suspender duas esferas de cortiça por meio de fios isolantes que posteriormente eram tocadas por um bastão de vidro e por uma flanela de lã previamente atritadas um sob o outro (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1975, p. 49). Ao tocar ambas as esferas com o bastão de vidro eletrizado, podia-se perceber que estas repeliam-se. Ao repetir o processo, agora com a flanela de lã, também era observado que as esferas repeliam-se. Por fim, tocando uma esfera com o bastão e a outra com a flanela, pode-se observar que as esferas atraíam-se (OKA, 2000, p. 1).

Dessa forma, du Fay pode concluir que a eletricidade era composta por dois tipos de ‘agentes’ distintos denominados por ele de vítreo, para a eletricidade proveniente do bastão e resinoso para a eletricidade presente na flanela, de modo que, ao atritar a flanela no bastão, conseguimos separar ambos os agentes. Também investigando os processos de eletrização, Benjamin Franklin, em 1750, diferentemente de du Fay, propôs que a eletricidade era composta por um único tipo de ‘fluido’, de modo que um corpo ao receber determinada quantidade deste fluido, adquire carga positiva, em oposição àqueles corpos que ao perderem este fluido adquirem carga negativa (GIBERT, 1982, p. 53).

A partir de seus experimentos, um deles ilustrado na figura 2, Franklin pode determinar que os fluidos por ele idealizados possuíam o mesmo caráter, diferindo apenas seus sinais. Franklin também foi capaz de estabelecer o princípio da conservação das cargas elétricas por meio das observações experimentais por ele conduzidas, permitindo inferir que cargas elétricas não podem ser criadas nem destruídas, mas apenas transferidas de um corpo para outro (GIBERT, 1982, p. 53). Por sua vez, em 1753, John Canton, também estudando fenômenos eletrostáticos observou que aproximando um bastão de vidro eletrizado de uma esfera metálica conectada a outra esfera, de modo que ambas podem trocar cargas elétricas, que as esferas, ao final do processo, adquiriam cargas elétricas de sinais opostos de modo que as cargas elétricas contidas nas esferas possuíam o mesmo valor. Este fenômeno foi chamado de indução eletrostática (OKA, 2000, p. 1).

Figura 2 — Experimento de Franklin objetivando o estudo da natureza elétrica da matéria.



Fonte: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num2/a06-low.pdf>.

Até então, todos os resultados aqui demonstrados possuem caráter qualitativo de modo que apenas durante a segunda metade do século XVIII houveram avanços no sentido de

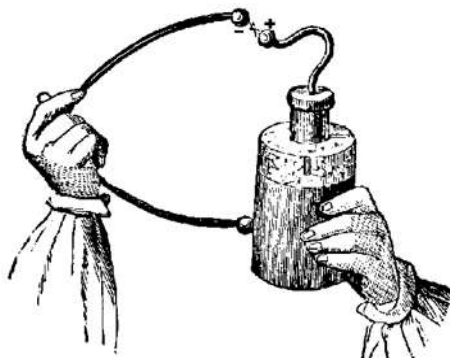
quantificar os fenômenos elétricos observados. O químico inglês Joseph Priestley, descobridor do oxigênio, foi um dos primeiros a concentrar seus estudos em dados analíticos, introduzindo interpretações e ferramentas matemáticas. Através de seus estudos analíticos, Priestley conseguiu deduzir, de forma preliminar, que a força elétrica existente entre duas partículas carregadas varia em módulo com o quadrado do inverso da distância (OKA, 2000, p. 1).

No entanto coube ao físico e engenheiro francês Charles Augustin de Coulomb a tarefa de comprovar tal observação. Para este fim, Coulomb desenvolveu um aparato experimental composto inicialmente por duas esferas feitas de seiva vegetal banhadas a ouro. Nesse contexto, já sabia-se, pelo princípio da conservação das cargas elétricas, que ao tocar um destas esferas com outra idêntica, carregada com carga Q , que ambas adquirem cargas equivalentes a $Q/2$ (OKA, 2000, p. 1). Sendo assim, Coulomb conseguiu obter diversos valores de carga elétrica permitindo, posteriormente, montar sua balança de torção na qual fixou uma das esferas numa haste isolante e uma segunda esfera por meio de um fio também isolante (GIBERT, 1982, p. 55).

Por meio de um conjunto de contrapesos e um dinamômetro conectado ao fio de seda, Coulomb conseguiu determinar com precisão que, mantendo os valores das cargas fixos, a força presente entre as partículas variava com o inverso do quadrado da distância entre elas. Da mesma forma, percebeu que, fixando o valor da distância entre as cargas, a força entre as partículas era proporcional ao produto do valor das cargas. Antes da realização deste experimento, a única força conhecida com tais características era a força gravitacional, de modo que surgia então uma nova força que ampliava o espectro dos fenômenos elétricos (GIBERT, 1982, p. 56).

A partir dos avanços alcançados até então, houve certa dificuldade em ampliar os estudos subsequentes no campo da eletricidade aplicada, pois, até o início do século XVIII não existiam equipamentos capazes de produzir corrente elétrica contínua, tão pouco, instrumentos capazes de dimensionar de modo preciso os fenômenos elétricos conhecidos na época. Diante desta dificuldade o estudo do potencial elétrico e da corrente elétrica, fundamentais para o desenvolvimento da eletrodinâmica, sofreu atrasos. Neste sentido, o único dispositivo empregado para a geração de corrente contínua era a garrafa de Leyden (1746), ilustrado na figura 3, que era capaz de fornecer pequenos valores de corrente elétrica, muitas vezes insuficientes para as pesquisas em andamento. Ao mesmo tempo, não era raro os estudiosos da época utilizarem seus próprios corpos e sentidos como instrumentos de detecção (OKA, 2000, p. 2).

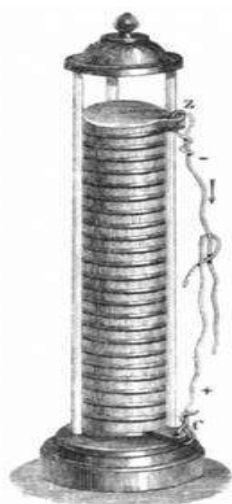
Figura 3 — Garrafa de Leyden, um dos primeiros dispositivos idealizados para gerar corrente elétrica.



Fonte: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/1366-garrafa-de-leyden.html>.

No entanto, este cenário estava prestes a mudar, em 1796, quando Alessandro Volta, então desenvolvendo diversos estudos relacionados com a eletricidade dos organismos vivos na Universidade de Pavia, descobriu que era possível produzir corrente elétrica a partir do contato entre lâminas metálicas e fluidos iônicos (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1975, p. 51). Inicialmente, Volta, utilizando lâminas de Zn e Cu, percebeu que ao manter os dois metais em contato podia estabelecer entre eles uma pequena corrente elétrica, que posteriormente, dependia da substância (eletrólito) colocada entre as lâminas. Diante dos resultados, Volta concluiu que a substância inserida entre os metais e a própria natureza dos metais determinavam a intensidade desta corrente (GIBERT, 1982, p. 56).

Figura 4 — Pilha de Alessandro Volta, primeira utilização prática dos princípios físico-químicos no estudo da eletricidade.



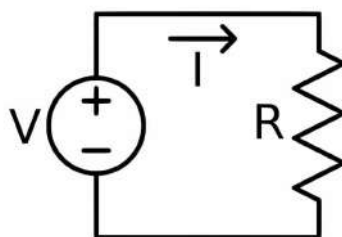
Fonte: https://www.notapositiva.com/old/pt/trbestbs/quimica/12_exploracao_mineira_e_pilhas.

Dessa forma, partindo da ideia de associar em série diversos pares de lâminas compostos por Zn e Cu, separados por papel embebido por soluções salinas, Volta conseguiu

amplificar o valor da corrente produzida permitindo encandecer fios metálicos e produzir centelhas (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1975, p. 51). Sendo assim, em 1799, Volta anuncia a invenção da pilha voltaica (figura 4), um dispositivo capaz de gerar eletricidade a partir de reações eletroquímicas. A partir do seu invento, foi possível aprimorar os estudos do comportamento eletrodinâmico de circuitos, uma vez que as pilhas fornecem corrente em regime contínuo. A invenção da pilha trouxe uma série de possibilidades técnicas que viabilizaram os estudos sobre o eletromagnetismo (OKA, 2000, p. 3).

A partir das recentes conquistas no campo da eletricidade, Georg Simon Ohm, em 1827, conseguiu provar que a diferença de potencial elétrica entre dois pontos de um circuito é proporcional à corrente elétrica que o atravessa, de modo que pôde estabelecer o que conhecemos hoje por lei de Ohm, que faz distinção entre condutores ôhmicos e não-ôhmicos. Sendo assim, o campo da análise de circuito começou a ganhar impulso em função dos diversos benefícios que já despertavam o interesse dos estudiosos e empreendedores que buscavam aplicações rentáveis para a sociedade da época (GIBERT, 1982, p. 66).

Figura 5 — Relação entre resistência, tensão e corrente descoberta por Georg Simon Ohm.



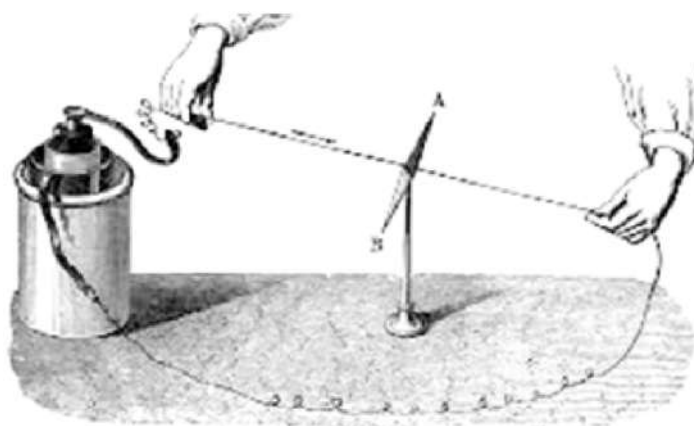
Fonte: <https://beduka.com/blog/materias/fisica/primeira-lei-de-ohm/>

Ao mesmo tempo que as pesquisas envolvendo a análise de circuitos ganhavam força, Hans Christian Oersted, em 1820, descobriu acidentalmente, durante os preparativos de uma aula, que a corrente elétrica que percorre um condutor era capaz de defletir a agulha magnética de uma bússola (figura 6) (RUTHERFORD, HOLTON e WATSON, 1975, p. 57). Também percebeu, posteriormente, que ao colocar um fio conduzindo corrente na presença de um campo magnético, este era submetido a uma força de origem magnética. Diante dos resultados observados por Oersted, Michael Faraday realizou uma série de medidas experimentais, o que permitiu a James Clerk Maxwell estabelecer a forma matemática das leis que regem o eletromagnetismo, as famosas leis de Maxwell (GIBERT, 1982, p. 57).

Neste contexto, uma das grandes contribuições de Maxwell foi sua interpretação acerca da natureza física da luz, estabelecendo que esta era uma onda eletromagnética cuja

velocidade podia ser determinada através de medidas elétricas e magnéticas (WALTER, 1984, p. 1). Posteriormente, em 1888, Heinrich Rudolf Hertz consegue demonstrar as previsões teóricas de Maxwell e escreve o artigo intitulado "*On Electromagnetic Waves in Air and Their Reflection*", onde detalha seus estudos e demonstrações. Quase dez anos antes, Edwin H. Hall, sob a orientação do professor Henry Roland, na Universidade Johns Hopkins, conseguiu efetuar as primeiras medidas daquilo que hoje conhecemos como efeito Hall (OKA, 2000, p. 3).

Figura 6 — Experimento de Oersted comprovando a relação entre eletricidade e magnetismo.



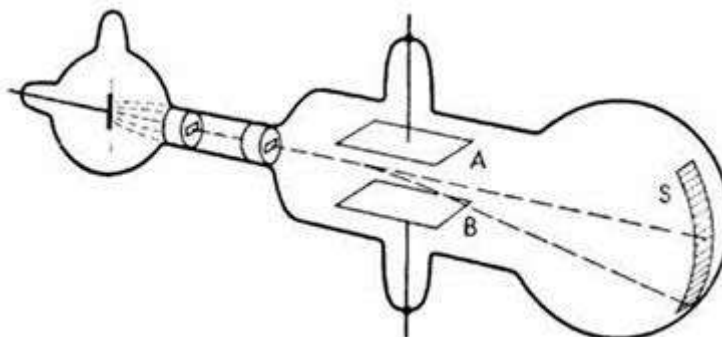
Fonte: <http://fisica-quimica-2eso.blogspot.com/2019/05/fuerza-magnetica-entre-iman.html>.

Ao mesmo tempo, determinou que a corrente elétrica num metal deve-se ao deslocamento de um 'fluido' com carga negativa, também provou que, diferente do que acreditava Oersted, um condutor percorrido por corrente não fica submetido à força originária de um campo magnético e sim o 'fluido' elétrico que o percorre, conhecida como força de Laplace (BASTOS, 2004, p. 285). Após estas descobertas, iniciava-se a era das pesquisas espectroscópicas, em meados de 1860, quando gases submetidos a baixas pressões eram expostos a grandes diferenças de potencial permitindo a descoberta dos raios catódicos e suas propriedades. Neste cenário de descobertas, Joseph John Thomson trabalhando com raios catódicos, em 1897, na Universidade de Cambridge, investigava o elétron, até então conhecido como 'corpúsculo' (GIBERT, 1982, p. 67).

Durante suas pesquisas, Thomson observou que os raios catódicos emitidos pelo seu aparato experimental (o famoso tubo de raios catódicos, ilustrado na figura 7) podiam ser defletidos devido à presença de um campo elétrico. Este resultado pode ser observado devido à qualidade dos processos de geração de vácuo utilizados por Thomson em seus trabalhos. A partir de pesquisas subsequentes, Thomson conseguiu determinar a relação carga-massa q/m

para o corpúsculo utilizando diversos tipos de gases, percebendo que o valor era sempre o mesmo (GIBERT, 1982, p. 68).

Figura 7 — Tubo de raios catódicos de Thomson usado para medir a relação carga-massa do elétron.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/descoberta-eletron.htm>.

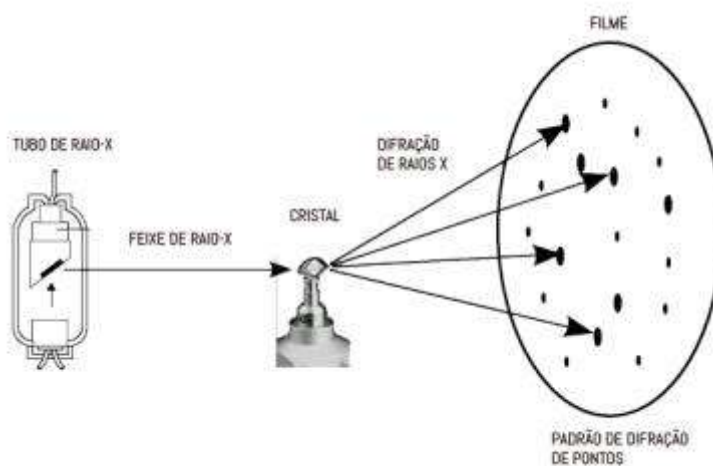
Este resultado levou Thomson a concluir que o corpúsculo possuía 1000 vezes menos massa que o íon H^+ . Dessa forma, davam-se os primeiros passos em direção à interpretação corpuscular da matéria numa época em que a teoria atômica ainda causava discussões e recusas. Nesse contexto, o elétron foi descoberto e deu-se início à era da eletrônica. Os avanços seguintes levaram à formulação do modelo atômico que inicialmente apoiava-se nas ideias de Thomson, que, em 1897, descrevia o átomo como uma estrutura contínua na qual as partículas estavam dispersas como um pudim passas (OKA, 2000, p. 4).

Avançando um pouco na linha histórica e entrando no século XX, esta concepção atômica não durou muito, pois, em 1911, Ernest Rutherford, depois da realização do seu famoso experimento com partículas alfa e películas de ouro, formulou o modelo atômico baseado na distinção entre núcleo e eletrosfera, onde o núcleo concentrava praticamente toda a massa do átomo e era circundado pelos elétrons (EISBERG e RESNICK, 1979, p. 127). Nesse contexto, seu discípulo, Niels Bohr, em 1913, introduz no modelo de Rutherford o caráter quântico, demonstrando analiticamente que as órbitas ocupadas pelos elétrons ao redor do núcleo são quantizadas e que o raio das órbitas são múltiplos de $2\pi h$, onde h representa a constante de Planck. Dessa forma, Bohr consegue explicar os espectros atômicos inicialmente estudados no século passado (OKA, 2000, p. 4).

Impulsionados pelos recentes estudos desenvolvidos por Bohr, William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg, em 1913, deram os primeiros passos que permitiram, por meio da aplicação de técnicas de raio X (figura 8), entender o arranjo atômico dos sólidos (FLINT, 1981, p. 11-12). Nascia então a cristalografia, que permitiu explicar por que alguns sólidos apresentam estrutura molecular tridimensional e periódica. Nesse contexto, os sólidos

iônicos foram extensivamente estudados levando ao conceito de potencial periódico descrevendo como um elétron se comporta neste potencial. Isso levou à formulação do teorema de Bloch que estabelece que um elétron submetido a um potencial periódico pode apresentar energias dentro de determinadas faixas, ou seja, prevê a existência de bandas permitidas, como as bandas de condução e valência, ao mesmo tempo bandas proibidas localizadas entre estas (GIBERT, 1982, p. 74-75).

Figura 8 — Análise do arranjo cristalino por difração de raios X.



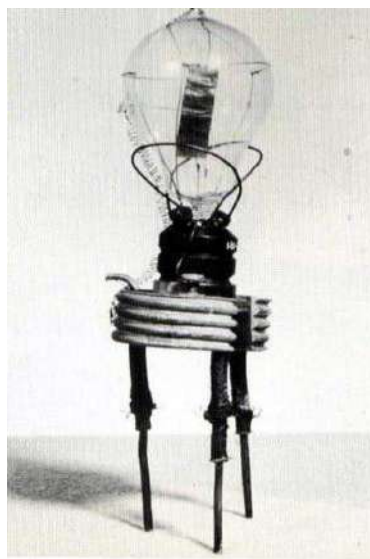
Fonte: <https://cristais2014.wordpress.com/o-que-e-a-cristalografia/>

O estudo da condutividade elétrica, como descrito no parágrafo anterior, considerou o elétron um pacote de onda e não uma partícula permitindo prever a existência de '*lacunas*', ou espaços vazios, no processo condutivo, como será detalhado nas subseções seguintes deste capítulo (ASHCROFT e MERMIN, 2011, p. 234-235). Apesar dos avanços na descrição do modelo atômico e descoberta do elétron, o comportamento semicondutor já vinha despertando a atenção de alguns pesquisadores na segunda metade do século XIX. Dentre alguns nomes, o físico alemão Ferdinand Braun, em 1874, estudando o comportamento elétrico de substâncias eletrolíticas e cristais, percebeu que o cristal de galena, sulfeto de chumbo (PbS), ao ser percorrido por corrente elétrica, conduzia apenas em uma direção (OKA, 2000, p. 4).

Braun exibiu o cristal e sua funcionalidade para uma plateia em Leipzig, na Alemanha, em 1876, no entanto sua demonstração apenas gerou a curiosidade do público, sendo pouco visível a aplicação tecnológica do cristal. Apenas em 1900, com o surgimento do rádio, o cristal de galena foi utilizado como detector de sinais em aparelhos de '*rádio de cristal*' (OKA, 2000, p. 5). Anos mais tarde, trabalhando no laboratório de Thomas Edison, em 1883, William J. Hammer, ao adicionar um terceiro filamento aquecido a uma lâmpada, conseguiu

observar o efeito retificador. Em 1904, John Fleming patenteou uma válvula de oscilação, ilustrada na figura 9, baseada no efeito retificador detectado por Hammer que permitia retificar correntes alternadas de sinais de rádio em sinais contínuos. Dessa forma, a válvula de Fleming foi a primeiro dispositivo retificador com aplicação, sendo o primeiro diodo desenvolvido. Vale destacar que a válvula de Fleming utiliza propriedades termiônicas, diferentemente do retificador de Braun que utiliza as propriedades físico-químicas do sulfeto de chumbo (OKA, 2000, p. 5).

Figura 9 — Diodo de Fleming primeiramente desenvolvido como elemento retificador.



Fonte: <http://www.fazano.pro.br/port03.html>.

Com o início da Primeira Guerra mundial, as pesquisas envolvendo substâncias semicondutoras perderam intensidade de modo que só em meados de 1924 Gudden e Pohl publicam os resultados de suas pesquisas sobre a condutividade de substâncias cristalinas, excetuando-se os metais (FREITAS, 2013, p. 21). Seis anos mais tarde, Gudden, ainda trabalhando com substâncias semicondutoras e por meio de resultados experimentais, pode afirmar que as substâncias puras não possuem comportamento semicondutor, mas que tal comportamento deve-se à presença de impurezas nestes materiais (FREITAS, 2013, p. 21 *apud* BUSCH, 1989).

A década de 1920 vivenciou o ressurgimento das pesquisas no campo dos semicondutores principalmente devido ao interesse tecnológico nos diodos de barreira, capazes de operar em elevadas faixas de tensão, levando a aplicação dos semicondutores ao campo industrial. Esta variedade de semicondutores também encontrou inúmeras aplicações no nosso dia a dia, equipando carregadores de bateria, sensores de luminosidade, em equipamentos fotográficos e circuitos não-lineares (FREITAS, 2013, p. 21). Ao mesmo tempo

que o campo técnico era beneficiado pelos recentes trabalhos, o campo da física teórica apresentou expressivos avanços, principalmente em função dos resultados trazidos pela mecânica quântica que ampliou a compreensão acerca da condução elétrica em metais, tornando possível estender as pesquisas para os semicondutores.

No início da década de 1930 Rudolf Ernst Peierls, físico teuto-britânico (figura 10), apresentou o conceito de banda proibida (ou, de forma usual, *gap*), conceito imediatamente utilizado por Brillouin em seus estudos cristalográficos. Nesse sentido, uma das primeiras tentativas de determinar a diferença entre condutores, isolantes e semicondutores foi realizada Alan Wilson que conseguiu explicar de forma satisfatória, por meio dos resultados obtidos por Peierls, o comportamento elétrico destes materiais considerando a ideia de bandas eletrônicas preenchidas, semipreenchidas ou vazias (FREITAS, 2013, p. 22).

Figura 10 — Rudolf Ernst Peierls, físico teórico.



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/428334614538506771/>

Na mesma década, Wilson apresenta à comunidade científica seus trabalhos trazendo os conceitos de semicondutor extrínseco e intrínseco, explicando o comportamento das impurezas doadoras e receptoras no retículo cristalino destes materiais. Sua contribuição foi de extrema relevância para a compreensão dos efeitos da temperatura nos materiais semicondutores permitindo concluir que o número de portadores e carga nestes materiais cresce exponencialmente com o aumento da temperatura (FREITAS, 2013, p. 22). Também deve-se a Wilson a ideia de ‘buracos’ ou lacunas, na descrição do comportamento eletrodinâmico dos semicondutores, ideia esta confirmada por Werner Heisenberg por meio de seus estudos teóricos .

Nos anos seguintes, diversos foram os trabalhos envolvendo o comportamento elétrico de compostos binários, principalmente óxidos, sulfetos e carbonetos. Tais pesquisas revelaram resultados contraditórios para trabalhos desenvolvidos por pesquisadores independentes, devido às diferenças estequiométricas dos compostos analisados. Dessa forma, para autores distintos, por exemplo, o Cu_2O possuía de 6 a 7 vezes mais condutividade elétrica, revelando extrema discrepância nos resultados (FREITAS, 2013, p. 23). Solucionado este problema, Carl Wagner em 1933 foi o primeiro a utilizar a terminologia material tipo P e material tipo N, para designar materiais com *'falta'* ou *'excesso'* de elétrons, respectivamente.

Dentro deste contexto, as pesquisas envolvendo semicondutores ganharam extensa importância a partir das diversas possibilidades tecnológicas que surgiam, principalmente no campo militar, com o desenvolvimento do radar, a possibilidade de compactação de equipamentos, o desenvolvimento de sistemas eletrônicos mais eficientes, dentre outros. Assim, as pesquisas voltaram-se para um substituto da válvula eletrônica levando William Shockley na década de 40 a iniciar suas pesquisas, reunindo seus colaboradores na Bell Telephone Laboratories.

Demonstradas algumas aplicações dos primeiros modelos de dispositivos semicondutores, seguiram-se diversas pesquisas que levaram ao aperfeiçoamento do diodo permitindo diversificar o componente em termos funcionais abrindo as portas para o transistor. Seguiu-se então diversos aperfeiçoamentos, principalmente motivados pelos resultados da mecânica quântica, permitindo, finalmente, em 1947, o desenvolvimento do transistor nos laboratórios Bell, por Bardeen, Brattain e Shockley (figura 11). Nas décadas seguintes, observou-se uma grande evolução dos dispositivos semicondutores de estado sólido, levando ao desenvolvimento de diversos outros tipos de transistores como o MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field*) cuja função precípua é amplificação de sinais elétricos de baixa intensidade e o chaveamento de circuitos (figura 12) (OKA, 2000, p. 4).

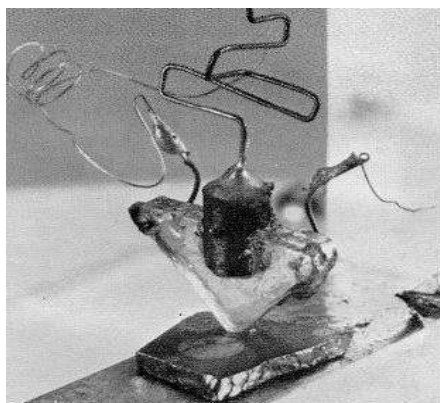
Figura 11 — A partir da esquerda, John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain.



Fonte: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2017/11/23/premio-nobel-em-fisica-1956/>

Tal evolução, por conseguinte, levou ao desenvolvimento dos circuitos integrados, pequenos chips de materiais semicondutores nos quais são *‘escritos’* diversos componentes miniaturizados capazes de reunir centenas de milhares de transistores, diodos e outros componentes. Diante deste cenário e inovação, na década de 60, Gordon Moore, engenheiro e fundador da Intel, previu que o número de transistores presentes num chip dobraria a cada dois anos, tendo em vista que o chip mais moderno na época desta previsão continha 30 transistores, seguindo esta *‘lei’*, que nada mais é do que uma progressão geométrica de razão 2, hoje, os chips contém números da ordem de bilhões de transistores (SANTOS, C. 2010, p. 1).

Figura 12 — Primeiro transistor funcional desenvolvido pelos laboratórios Bell.



Fonte: <https://www.researchgate.net/figure/>

2.2 Física dos materiais semicondutores

O domínio da física do estado sólido permitiu a compreensão dos mecanismos de condução elétrica nos diferentes materiais. Esta compreensão permite descrever o comportamento elétrico levando em conta a natureza corpuscular da matéria e suas propriedades ondulatórias. Classicamente podemos dividir os materiais em isolantes, semicondutores e condutores a partir do grau de mobilidade dos elétrons no retículo cristalino de cada um destes materiais. Nesse sentido, sabemos que os isolantes possuem reduzido grau de mobilidade eletrônica, os semicondutores, objeto de estudo deste capítulo, grau intermediário e os condutores elevado grau de mobilidade, sendo os metais seus maiores representantes.

Sendo assim, considerando o objetivo do produto educacional, centrado no estudo da física dos semicondutores, apresentamos a seguir os elementos que descrevem a fenomenologia elétrica destes materiais destacando os principais resultados da mecânica quântica e da física estatística como meios para a compreensão de suas propriedades.

2.2.1 Considerações iniciais

Começamos esta subseção apresentando importantes conceitos relacionados com o comportamento elétrico dos semicondutores. Tais conceitos estão intimamente relacionados com a teoria quântica desenvolvida na primeira metade do século XX, permitindo o avanço da eletrônica em seus diversos campos de aplicação. Nesse contexto, a teoria de bandas eletrônicas permite explicar de forma satisfatória os fenômenos de transporte elétrico na rede cristalina dos materiais, sejam eles condutores, isolantes ou semicondutores.

2.2.1.1 Teoria de bandas

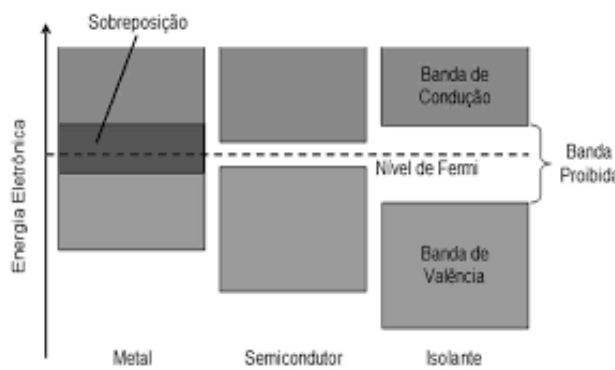
Para descrevermos o processo de deslocamento de cargas elétricas nos materiais, devemos compreender como as bandas eletrônicas destes materiais configuram-se espacialmente e qual a diferença de energia presente entre a banda de condução, onde ocorre efetivamente o deslocamento de cargas, e a banda de valência, onde ocorre a interação interatômica dos átomos por meio de ligações químicas. A diferença de energia entre as bandas de valência e condução permite classificar o material como condutor, isolante ou semicondutor, de modo que é comum denominarmos a região entre estas duas bandas de banda '*proibida*' e a correspondente diferença de energia de gap.

Dessa forma, como representado na figura 13, os metais, por apresentarem superposições entre as bandas de condução e valência, permitem mais facilmente o deslocamento de elétrons entre estas duas bandas, tornando os metais bons condutores de calor e eletricidade devido ao maior número de elétrons passíveis de deslocamento. Já os semicondutores não possuem tais superposições de forma que entre as bandas de condução e valência existe um gap (em geral menor que 3eV), ou banda proibida, onde os elétrons não podem transitar. Sendo assim, para os semicondutores o número de elétrons localizados na banda de condução é menor, quando comparado aos metais, conferindo a estes propriedades elétricas intermediárias. Sendo assim, para os semicondutores, os elétrons da banda de valência devem receber energia maior ou equivalente ao gap entre as bandas para atingirem a banda de condução.

Para os isolantes o gap de energia (em geral maior que 3eV) entre as bandas de valência e condução é o maior dentre os três tipos de materiais, de modo que para estas substâncias a condução elétrica é extremamente dificultada considerando a elevada energia necessária para deslocar os elétrons da banda de valência até a banda de condução. Sendo assim, para que um isolante ou semicondutor exibam comportamento condutor estes devem

receber energia suficiente permitindo o rompimento de ligações químicas na banda de valência e posterior migração destes elétrons (elétrons livres) para a banda de condução.

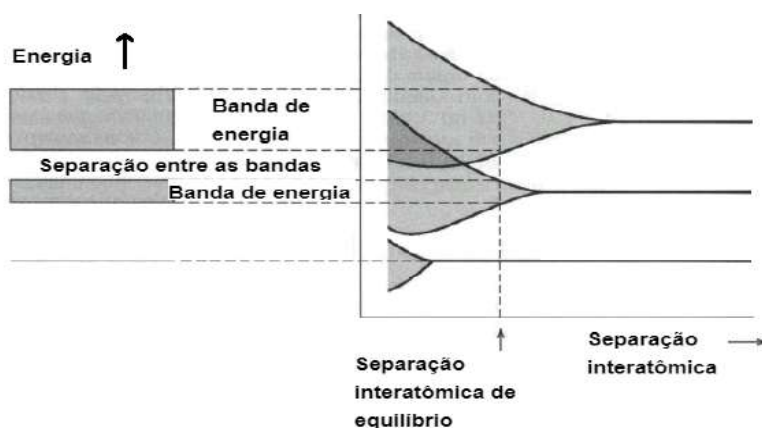
Figura 13 — Teoria de bandas eletrônicas.



Fonte: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16334/16334_3.PDF

Sendo o objeto principal deste trabalho o estudo dos semicondutores, é importante considerar, para tal, sua estrutura cristalina e as diversas interações entre seus átomos. Dessa forma, sabemos que quando dois átomos aproximam-se para formar uma ligação química, suas funções de onda sobrepõem-se, de modo que, para satisfazer ao princípio da exclusão de Pauli, os elétrons da ligação devem possuir energias ligeiramente diferentes daquelas exibidas pelos átomos quando isolados (PANKOVE, 1971, p.1). Dessa forma, para N átomos formando ligações, $2N$ elétrons do mesmo orbital, podem ocupar $2N$ estados distintos formando uma banda de estados ao invés de níveis discretos como observado nos átomos isolados (PANKOVE, 1971, p. 1). É importante destacar que a estrutura de bandas eletrônicas depende da distância entre os átomos considerados. Na figura 14 pode-se observar como ocorre a formação de bandas para os subníveis 1s e 2s.

Figura 14 — Processo de formação de bandas eletrônicas em um sólido.



Fonte: <https://sites.ifi.unicamp.br/soares/files/2018/03/Teoria-Semicondutor-Diodo.pdf>.

Sendo assim, os elétrons podem ocupar estados permitidos de energia de modo que estes estados estão relacionados com seu momento linear, permitindo compreender fenômenos específicos da natureza semicondutora, como por exemplo, os fenômenos relacionados à transição óptica em semicondutores, muito frequente em fotodiodos.

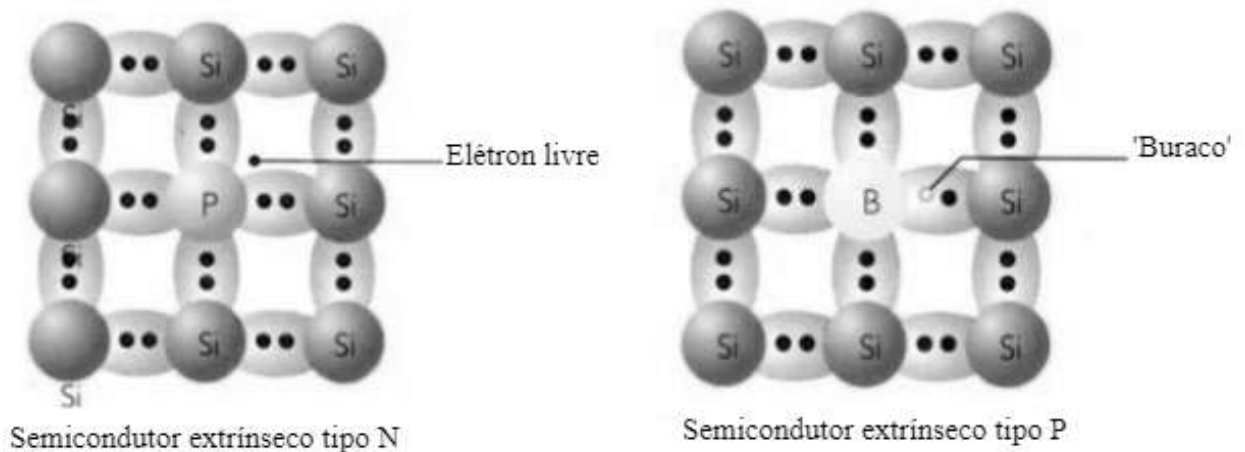
2.2.1.2 Tipos de semicondutores e o diodo

Os materiais semicondutores podem ser classificados em dois tipos básicos, semicondutores intrínsecos ou extrínsecos, considerando sua natureza. Denomina-se semicondutor, intrínseco o material que possui propriedades semicondutoras provenientes de sua própria origem químico-física, requerendo apenas técnicas de refinamento para o seu uso tecnológico. Já os semicondutores extrínsecos são aqueles obtidos por meio de processos que modificam ou aprimoram suas propriedades elétricas tornando-os adequados para determinadas aplicações tecnológicas (GRAY e SEARLE, 1977, p. 48).

A principal técnica usada para a obtenção de semicondutores extrínsecos é a dopagem por meio de impurezas doadoras ou receptoras de elétrons. Neste processo, são inseridos átomos de diferentes elementos químicos no retículo cristalino do material semicondutor de modo que é possível aumentar ou diminuir o número de elétrons livres no material, permitindo assim obter materiais do tipo N (com '*excesso*' de elétrons) ou materiais do tipo P (com '*falta*' de elétrons) (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2013, p. 5). Por meio desta técnica é possível controlar a densidade de portadores no semicondutor, permitindo gerar componentes cada vez mais refinados, ampliando a aplicabilidade destes materiais.

Dentre os elementos químicos mais usados no processo de dopagem, podemos destacar o fósforo (P_4), como elemento '*doador*' de elétrons e o boro (B) como elemento '*receptor*' de elétrons. Sendo o material base o silício (Si), a figura 15 ilustra, de forma simplificada, o processo de dopagem descrito anteriormente. De forma semelhante, o germânio (Ge), elemento químico conhecido desde os anos 30, apresentando características semimetálicas, foi frequentemente empregado na obtenção de dispositivos semicondutores, como transistores amplificadores, seguindo os mesmos processos de dopagem descritos anteriormente. Vale destacar que no início dos anos 60, com o desenvolvimento da microeletrônica a indústria requeria materiais cada vez mais sofisticados levando à substituição do germânio pelo silício, uma vez que o germânio requer elevado grau de pureza. A partir das possibilidades tecnológicas trazidas pelo silício a miniaturização alcançou níveis impressionantes, sendo possível hoje um circuito conter milhões de componentes eletrônicos em um pequeno chip da ordem de menos de 1mm^2 .

Figura 15 — Semicondutores extrínsecos.

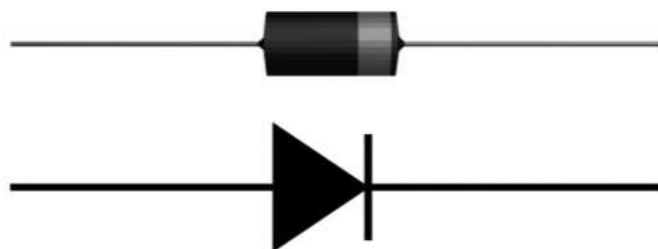


Fonte: <https://www.coladaweb.com/fisica/electricidade/semicondutores>.

Observando a figura 15, podemos perceber que o fósforo gera um elétron livre, após realizar quatro ligações covalentes com quatro átomos de silício circundantes. Por sua vez, cada átomo de boro, após formar quatro ligações covalentes com quatro átomos de silício circundantes, 'extrair' um elétron, gerando assim uma '*lacuna*' ou um '*buraco*' na camada de valência, em função do seu número insuficiente de elétrons. Dessa forma, tomando os dois materiais, tipo N e tipo P por meio de uma junção, denominada junção semicondutora, é possível, por meio da aplicação de uma tensão externa, deslocar os portadores de cargas característicos dos dois materiais (CASSIGNOL, 1981, p. 7). Tal possibilidade torna possível a construção de dispositivos eletrônicos capazes de conduzir corrente elétrica num único sentido, devido às propriedades físico-químicas do material resultante.

Diante desta possibilidade, o diodo semicondutor representa o mais notável produto deste processo. O diodo é composto por duas camadas semicondutoras do tipo N e P, cuja funcionalidade como elemento de circuito tem revolucionado a eletrônica. Na figura 16 temos o diodo encapsulado e sua representação simbólica, respectivamente.

Figura 16 — Diodo encapsulado e sua representação simbólica.



Fonte: <https://vfgengenharia.com/diodo-retificador-com-exemplos-de-uso/>

Usualmente, chamamos o material '*rico*' em elétrons de cátodo, uma vez que a corrente elétrica, origina-se nesta região do diodo e o material '*pobre*' em elétrons de ânodo, uma vez que este recebe os elétrons provenientes do cátodo. Tal deslocamento de portadores segue uma dinâmica específica que depende diretamente da temperatura do material semiconductor e das diferentes formas e valores com que a tensão é aplicada ao dispositivo. Neste sentido é importante destacar que o mecanismo anteriormente mencionado obedece a parâmetros probabilísticos de modo que para a efetiva compreensão dos fenômenos de transporte nos semicondutores faz-se necessário o estudo da função de distribuição de Fermi-Dirac que permite calcular a probabilidade de encontrarmos um elétron em um nível de energia específico a uma dada temperatura, ou seja, de que um dado estado de energia esteja ocupado por um elétron. Tal resultado será apresentado na subseção seguinte, como também sua interpretação física.

2.2.1.3 Distribuição de portadores de carga

No material semiconductor, os fenômenos relacionados ao transporte de cargas podem ser descritos inicialmente pela função de distribuição de Fermi-Dirac. Tal função é representada pela equação (1).

$$f(W, T) = \frac{1}{1 + e^{\frac{W - W_F}{kT}}} \quad (1)$$

Onde:

W_F = Energia do nível de Fermi (medida em eV).

W = Energia do elétron (medida em eV).

k = Constante de Boltzmann ($1,38064852 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$).

T = Temperatura absoluta.

Com o objetivo de facilitar a análise matemática da função e consequentemente obter seu significado físico, é comum fazermos a seguinte substituição:

$$x = \frac{W - W_F}{kT} \quad (1.1)$$

$$f(W, T) = f(x) = \frac{1}{1 + e^x} \quad (1.2)$$

Dessa forma, considerando a equação (1.2) e o valor hipotético de $T \rightarrow 0\text{K}$, temos:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{1 + e^x} = 0 \quad (2)$$

De forma semelhante:

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{1}{1 + e^x} = 1 \quad (3)$$

Sendo assim, podemos concluir que:

$$f(x) = 1, \text{ temos } W < W_F$$

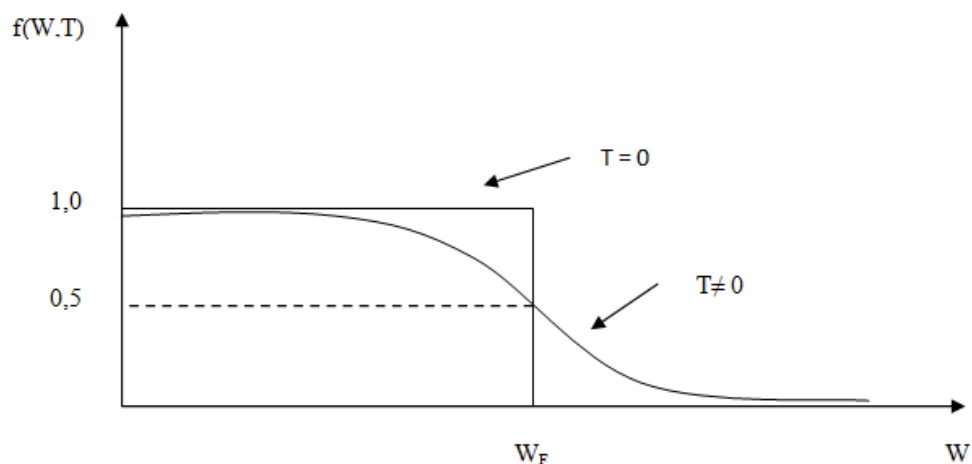
$$f(x) = 0, \text{ temos } W > W_F$$

Dos resultados anteriores podemos observar que a 0K que todos os elétrons disponíveis preenchem os níveis energéticos abaixo do nível de Fermi ao mesmo tempo que nenhum está acima deste nível. É possível observar também que, para um valor qualquer de T diferente do zero absoluto, é válida a relação (4).

$$1 - f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = f(-x) \quad (4)$$

Consequentemente, o lugar geométrico da função $f(W,T)$, representa uma curva simétrica em relação ao ponto de ordenada 0,5 como disposto na figura 17. É possível observar que para dois níveis energéticos W' e W'' , ambos respectivamente abaixo e acima do nível de Fermi, a probabilidade de encontrarmos uma lacuna no nível W' é a mesma de encontrarmos um elétron no nível W'' .

Figura 17 — Distribuição de Fermi-Dirac como função da temperatura.



Como resultado, para um semicondutor intrínseco, o número de elétrons localizados na banda de condução é o mesmo para o número de lacunas localizadas na banda de valência, estando o nível de Fermi localizado no meio da banda proibida. Dessa forma, considerando um semicondutor do tipo N, os níveis de energia dos átomos de impurezas doadoras situam-se na banda proibida, ligeiramente abaixo da banda de condução.

Nesse sentido, conhecendo-se o número de estados quânticos permitidos num intervalo de energia dw , a função de distribuição de Fermi-Dirac permite analisar de forma quantitativa o comportamento dos semicondutores intrínsecos e extrínsecos. Compreender o regime de deslocamento dos portadores de carga nestes materiais permite analisar de forma precisa as diferentes configurações de funcionamento do diodo e outros componentes baseados em semicondutores.

2.2.1.4 Transporte de portadores e equação da continuidade

Durante o processo de condução elétrica no semicondutor é frequente o processo de geração de pares elétron-lacuna e seu correspondente processo inverso, lacuna-elétron. Tal processo verifica-se de forma mais evidente quando o elétron passa da banda de valência para a banda de condução. Dessa forma, verifica-se que o número de recombinações entre elétrons e lacunas por unidade de tempo e volume é proporcional à concentração de elétrons n e de lacunas, é possível escrever a equação (5).

$$\Theta = rnp \quad (5)$$

Onde:

r = Coeficiente de recombinação (medido em cm^3/s).

n = Número de elétrons.

p = Número de lacunas.

Sendo assim, denotando por g a taxa de criação de pares elétron-lacuna e Θ a taxa de recombinação, temos que, a taxa efetiva T de criação de pares equivale a:

$$T = g - rnp \quad (6)$$

Para a situação limite onde $g = rnp$, temos que o semicondutor encontra-se em equilíbrio, de modo que $T = 0$. Nesse contexto, considerando o número p de lacunas presentes num material tipo N, define-se como '*tempo de vida*' a quantidade representada pela equação (6).

$$\epsilon_p = \frac{1}{rn_o} = \frac{p_o}{g} \quad (7)$$

Onde:

ϵ_p = tempo de vida (medido em segundos)

n_o = número de lacunas no estado de equilíbrio.

p_o = número de elétrons no estado de equilíbrio.

Considerando a equação (7), o tempo de vida dos portadores situa-se entre alguns milissegundos e alguns microsegundos. Vale destacar que estes intervalos de tempo são relativamente longos quando consideramos o tempo de colisão entre os portadores de carga. Ao mesmo tempo, é possível determinar a taxa de ‘*aparicação*’ dos pares elétron-lacuna, para um material tipo N, por meio da equação (8).

$$T = \frac{p_o - p}{\epsilon_p} \quad (8)$$

De forma análoga, para um material tipo P:

$$T = \frac{n_o - n}{\epsilon_p} \quad (8.1)$$

O tempo de vida pode ser interpretado fisicamente como sendo a variação do número de portadores de carga (elétrons ou lacunas) no tempo, ou seja:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{p - p_o}{\epsilon_p} \quad (9)$$

Integrando a equação (9) e aplicando as condições iniciais $p = p'$, para $t = 0$, temos:

$$p - p_o = (p' - p_o) \exp\left(\frac{-t}{\epsilon_p}\right) \quad (10)$$

A partir dos resultados anteriormente discutidos, é possível determinar a equação da continuidade que descreve o comportamento do semiconductor ligeiramente fora de suas condições de equilíbrio, o que permite, por conseguinte, derivar as condições de equilíbrio dinâmico para os portadores de carga. Considerando a figura 19, onde $I_p(x)$ representa a corrente de portadores (neste caso consideramos lacunas como portadores) atravessando uma seção dx , retangular, do material semiconductor, onde q denota o módulo da carga do portador,

percebemos que o número de portadores contidos neste elemento de volume, durante um tempo dt é igual à variação devido aos fenômenos internos e externos, relacionados à taxa de produção e perda de portadores. De forma esquemática, observando a figura 18, temos:

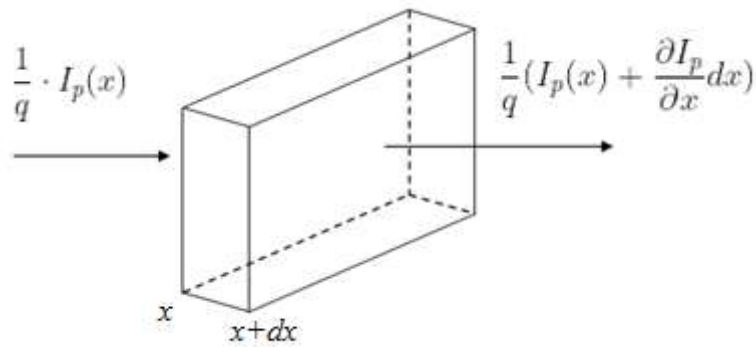
Figura 18 — Esquema da conservação de portadores no semiconductor.



Fonte: (CASSIGNOL, 1981, p. 35).

A partir do esquema da figura 18, é possível estabelecer o modelo teórico da figura 19.

Figura 19 — Modelo teórico para a dedução da equação da continuidade.



Fonte: (CASSIGNOL, 1981, p. 35).

Sabendo que a variação do número de portadores é dada por:

$$\frac{\partial p}{\partial t} \quad (11)$$

Considerando a equação (11) e a figura 23, que determina a taxa de portadores perdidos, podemos escrever a equação da continuidade como sendo:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{p_o - p}{\varepsilon_p} - \frac{1}{q} \cdot \frac{\partial I_p}{\partial x} \quad (12)$$

Para os elétrons, a equação da continuidade é análoga.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_o - p}{\varepsilon_n} - \frac{1}{q} \cdot \frac{\partial I_n}{\partial x} \quad (13)$$

Dessa forma, é possível prever o deslocamento de cargas no material semiconductor considerando sua natureza físico-química e parâmetros intervenientes como a temperatura e a densidade de portadores do material. Nesse contexto, a equação de Poisson, representada pela equação (14) permite calcular a diferença de potencial gerada pela distribuição espacial de portadores no material.

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{-\rho}{\varepsilon} \quad (14)$$

Para o cálculo da carga espacial deve ser levado em conta não somente os elétrons móveis e as lacunas, mas também os átomos da rede cristalina, que, à temperatura ambiente, encontram-se ionizados.

2.2.2 Diodo Semiconductor

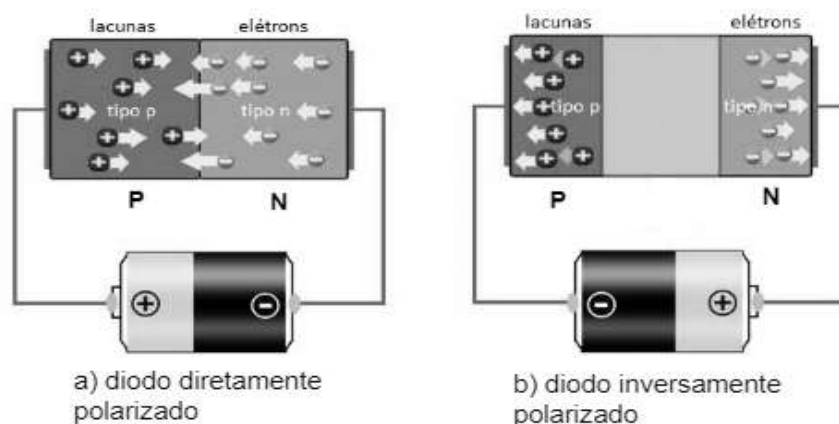
O diodo semiconductor clássico é um componente de fluxo elétrico unidirecional utilizado em circuitos retificadores de corrente, como elemento de controle em circuitos lógicos digitais e elemento de proteção, evitando o retorno de corrente em circuitos constituídos por diversas fontes de tensão. Essencialmente, como discutido na subseção 2.2.1.2, o diodo é formado pela junção de dois materiais semicondutores dos tipos N e P, possibilitando o fluxo de corrente do material N para o material P, ou seja, do cátodo para o ânodo. Considerando o diodo 1N4001¹, temos que a tensão de operação deste diodo equivale a 0,7V, sendo assim, para tensões abaixo deste valor, o diodo não apresenta condução elétrica.

Funcionalmente, o diodo pode ser submetido a um regime de polarização direta ou reversa, neste caso, respectivamente, será observado que o diodo entrará em funcionamento ou bloqueará a passagem da corrente, caso não haja aumento contínuo da tensão aplicada de modo reverso. A figura 24 ilustra a disposição dos portadores de carga no diodo considerando as diferentes polarizações do diodo. No item a) da figura, percebe-se que os portadores de carga concentram-se próximos à junção entre os dois materiais estando o componente na iminência do funcionamento. Esta configuração deve-se à influência do campo elétrico gerado pela fonte de tensão que favorece o deslocamento dos portadores de carga através da junção semicondutora. Em oposição, o item b) ilustra a distribuição dos portadores de carga estando o diodo inversamente polarizado. Nesta configuração, percebe-se que os portadores de carga

¹ Tal terminologia técnica designa um diodo de silício da família 1N400X, onde X varia de 1 a 7, representando a tensão máxima de funcionamento, que, para o diodo 1N4001, equivale a 50V.

afastam-se da junção buscando os pólos da fonte de tensão. Neste caso, não há passagem de corrente elétrica.

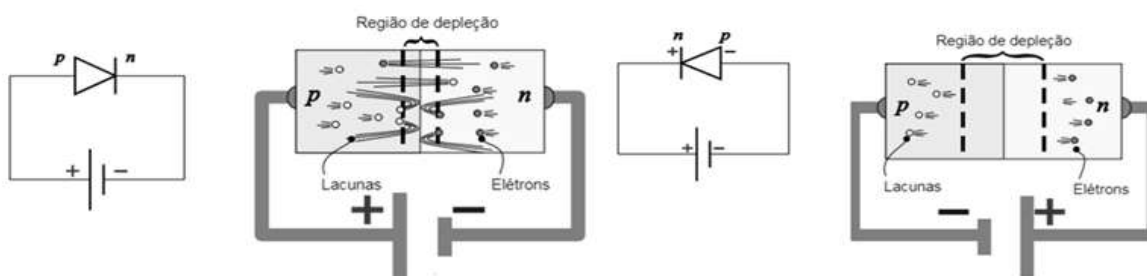
Figura 20 — Polarização do diodo.



Fonte: <https://eletronicaemcasa.blogspot.com/2013/02/como-funciona-o-diodo.html>

Ainda analisando a figura 20, observa-se uma região localizada próxima à junção semicondutora que aumenta ou diminui, dependendo do tipo de polarização aplicada como também do valor da tensão e da temperatura (STUPELMAN e FILARETOV, 1976, p. 41). Esta região é denominada zona ou camada de depleção e está intimamente relacionada com a dinâmica de funcionamento do diodo. Verifica-se na prática que a largura da zona de depleção também depende do nível de dopagem do material semicondutor, de modo que quanto menor a dopagem maior será a largura da zona de depleção, levando à aplicação de valores maiores para a tensão de funcionamento (GRAY e SEARLE, 1977, p. 108). Nesse contexto, a zona de depleção pode ser interpretada fisicamente como uma zona de resistência ao fluxo elétrico na qual os portadores de carga devem possuir energia mínima para atravessar. A figura 21 ilustra de forma detalhada as zonas de depleção para os regimes de polarização inversa e direta, respectivamente.

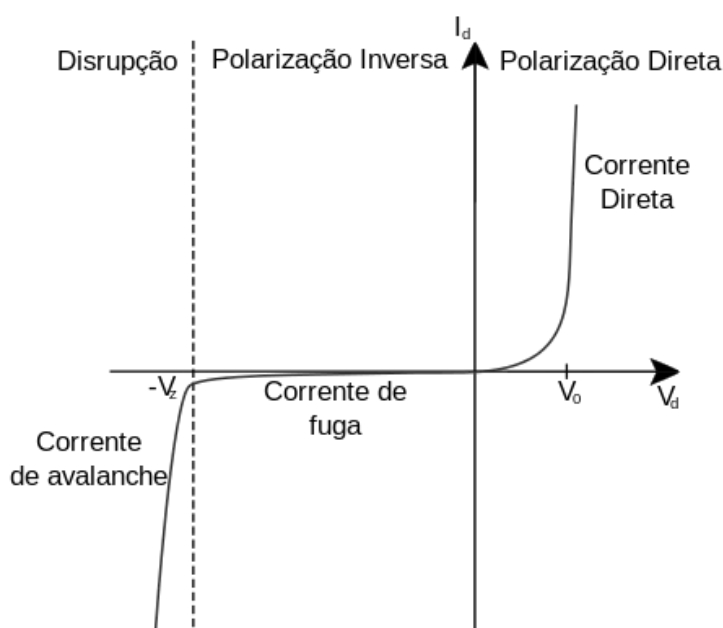
Figura 21 — Zonas de depleção para as polarizações direta e inversa.



Fonte: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletr%C3%B4nica_Geral_1_-_T%C3%A9cnico

Considerando a necessidade de reunir informações suficientes para determinar as características de funcionamento do diodo, é comum que estas informações sejam reunidas num gráfico corrente versus tensão, usualmente chamado de curva característica do diodo. Esta curva, em geral descreve os regimes de polarização direta e inversa, permitindo prever e determinar o comportamento do componente durante seu funcionamento. A figura 22 ilustra a curva característica para o diodo de silício.

Figura 22 — Curva característica para o diodo.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Curva_caracter%C3%ADstica_corrente-tens%C3%A3o

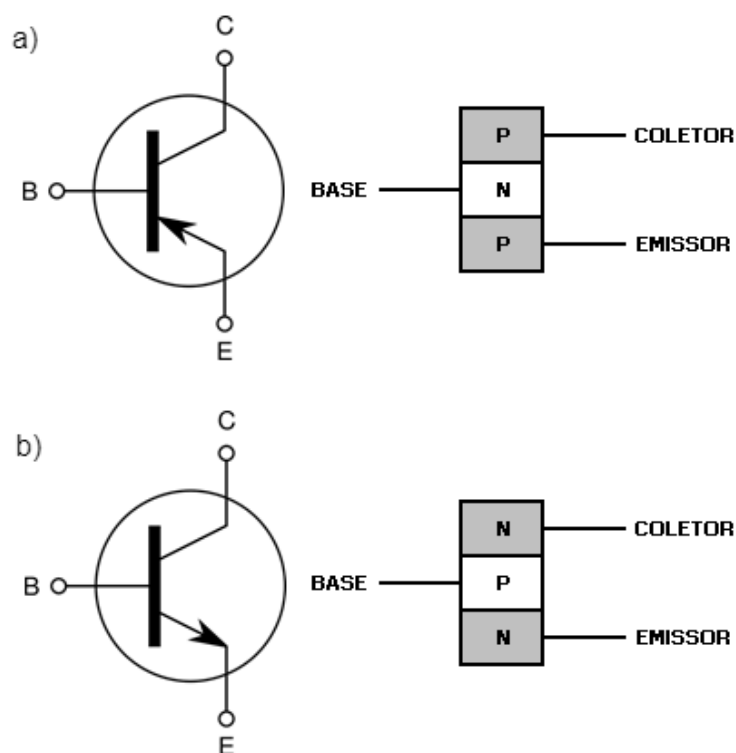
A curva característica é formada por duas regiões, a região do primeiro quadrante que apresenta o comportamento do diodo no regime de polarização direta e a região composta pelo segundo e terceiro quadrantes, correspondendo ao regime de polarização inversa. Analisando o comportamento do diodo polarizado diretamente, é possível concluir que o componente atinge rapidamente a tensão de funcionamento, denotada por V_o (usualmente denominada de tensão de 'joelho') sendo percorrido por correntes cada vez maiores a partir de pequenas variações de tensão (MALVINO, 1987, p. 39). Este aumento abrupto da corrente deve-se à diminuição da zona de depleção que oferece menos resistência a partir do aumento da tensão. Já o lado esquerdo da curva apresenta o comportamento do diodo em polarização inversa. Nesta configuração, o diodo praticamente bloqueia a corrente no sentido reverso, no entanto, observa-se o surgimento de uma pequena corrente, denominada corrente de 'fuga', quando a tensão aplicada aumenta de forma progressiva. Com o aumento da tensão reversa, atinge-se a tensão de 'ruptura', denotada por V_Z , na qual o diodo é forçado a conduzir no

sentido reverso (MALVINO, 1987, p. 39). A partir deste valor, qualquer variação positiva na tensão induz o rápido aumento dos valores da corrente reversa. Tal configuração de funcionamento pode levar à deterioração do componente caso este seja submetido a esta condição por elevado período.

2.2.3 Transistor

Com as possibilidades tecnológicas trazidas pelo diodo, logo foi possível o desenvolvimento de novos componentes eletrônicos de estado sólido. Um destes componentes é o transistor, resultado direto do aperfeiçoamento do diodo. O transistor é um dispositivo formado por cristais semicondutores dos tipos P e N, justapostos em três camadas. Por meio da combinação destes materiais é possível obter os transistores clássicos NPN e PNP. A figura 23 ilustra a simbologia destes dispositivos.

Figura 23 — Simbologia e aspectos construtivos dos transistores.



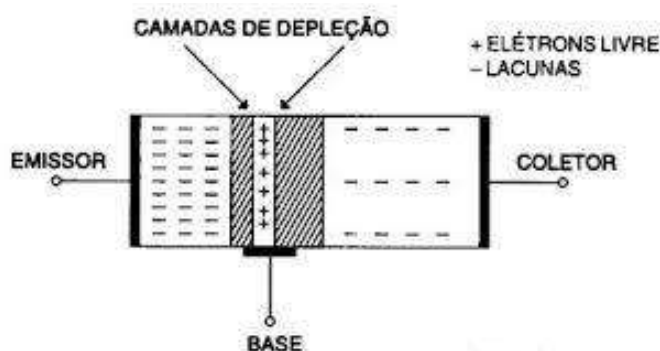
Fonte: <https://aprendendoeletrica.com/o-que-e-e-para-que-serve-um-transistor/>

O transistor foi concebido em virtude das novas técnicas de dopagem e controle de portadores de carga, tornando possível efeitos eletrodinâmicos antes possíveis apenas por meio de válvulas termiônicas, em geral robustas, requerendo aquecimento para

funcionamento. Com o advento do transistor de estado sólido, foi possível reduzir espaço e diminuir o tempo de acionamento dos equipamentos eletrônicos, além de aumentar a eficiência dos sistemas. O transistor é composto por três terminais denominados base (terminal localizado no centro do dispositivo), emissor (localizado à esquerda) e coletor (localizado à direita). Cada cristal que compõe o transistor possui determinado grau de dopagem, permitindo diversas configurações diferentes de funcionamento a partir das possibilidades de polarização do componente. Sendo assim, em geral, observa-se que a cristal que forma a base do transistor é levemente dopada, possuindo espessura muito fina.

Já o cristal emissor, possui alto nível de dopagem sendo o terminal percorrido pela maior concentração de portadores durante o funcionamento do transistor. Por conseguinte, o terminal coletor possui dopagem média, sendo aquele que recebe os portadores provenientes do terminal emissor. Dessa forma, o transistor pode ser interpretado como a junção de dois diodos, geralmente denominados diodo emissor e diodo coletor, respectivamente. A figura 24 ilustra um transistor NPN² não polarizado em equilíbrio eletrostático.

Figura 24 — Transistor em equilíbrio eletrostático.



Fonte: http://joinville.ifsc.edu.br/~bruno.martins/ELG/Transistores%20TBJ_Senai.pdf

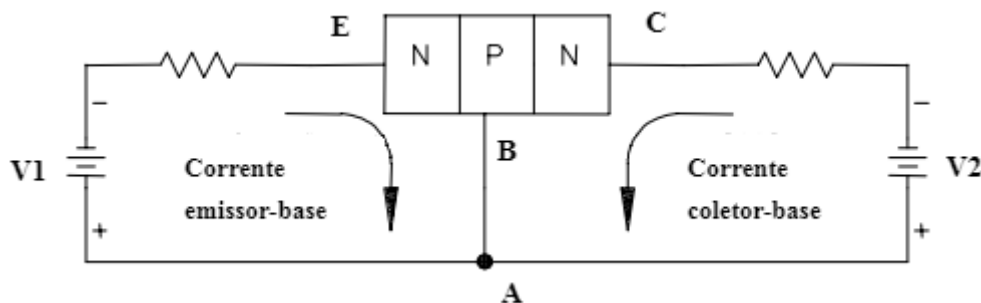
Observando a figura 24 é possível identificar duas regiões de depleção, uma para cada junção semicondutora. É possível perceber que estas camadas diferem de espessura, uma vez que os cristais semicondutores apresentam níveis de dopagem diferenciados. Semelhantemente ao diodo, temos condução de corrente a partir de 0,7V, em polarização direta, para o silício. Também é possível observar que a largura das camadas dependem da temperatura, possuindo menor extensão a temperaturas mais altas. Do ponto de vista funcional, o transistor pode ser polarizado segundo três diferentes maneiras. Para cada

² Para o transistor PNP a configuração eletrostática de equilíbrio é análoga, diferindo apenas a natureza dos portadores de carga nos cristais, que neste caso possuem sinais opostos.

configuração, o transistor pode ser utilizado para atender certa demanda de funcionamento, sendo este frequentemente utilizado como amplificador de sinais em polarização direta-reversa. Para as diferentes configurações de polarização para o transistor NPN (a análise para o diodo PNP é análoga, diferindo apenas o sentido das correntes), temos:

1. **Polarização direta:** Nesta configuração o terminal emissor tipo N está conectado ao pólo negativo de uma fonte externa de tensão, ao mesmo tempo que o terminal coletor tipo N está também conectado. Nesta configuração as correntes I_{EB} (emissor-base) e I_{CB} (coletor-base) encontram-se no nó A ambas retornando para as fontes de tensão.

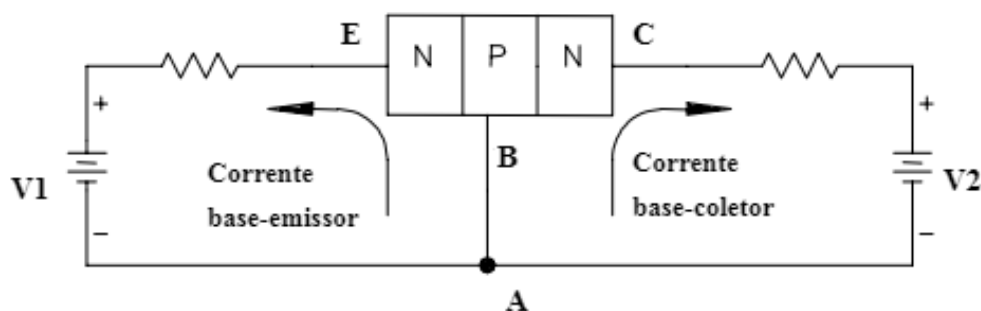
Figura 25 — Transistor NPN em polarização direta.



Fonte: Autor, 2022.

2. **Polarização reversa:** Na polarização reversa os terminais emissor e coletor estão ambos reversamente polarizados. Nesta configuração não é observada a circulação efetiva de corrente, apenas um fluxo mínimo de cargas denominado corrente de fuga. Nesta configuração, de forma análoga aos diodos, aumentando de forma contínua o valores de V_1 e V_2 , os diodos coletor e emissor atingem a tensão de ruptura passando a conduzir em modo reverso.

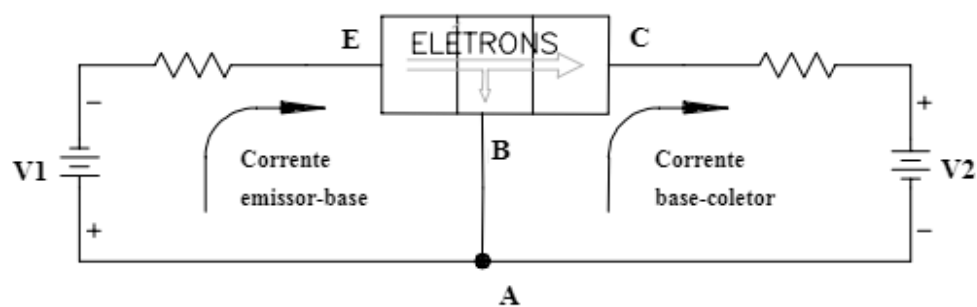
Figura 26 — Transistor NPN em polarização reversa.



Fonte: Autor, 2022.

3. Polarização direta-reversa: Nesta montagem o diodo emissor encontra-se diretamente polarizado e o diodo coletor reversamente polarizado. Sendo assim, é possível afirmar que a corrente I_{EB} seja alta e que a corrente I_{CB} seja baixa, no entanto, na prática, verifica-se que ambas as correntes são altas devido à injeção de portadores de carga que atravessa a junção base-coletor levando ao incremento da corrente I_{CB} . Esta possibilidade permite que o transistor seja utilizado como dispositivo de amplificação de sinais.

Figura 27 — Transistor NPN em polarização direta-reversa.

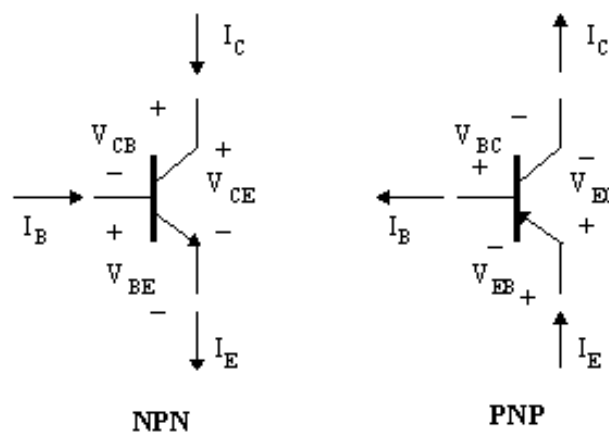


Fonte: Autor, 2022.

Considerando as diferentes polarizações do transistor, podemos, esquematicamente, segundo a figura 28, ilustrar as correntes que percorrem o transistor, destacando as variedades NPN e PNP. É fácil ver que a diferença básica de funcionamento entre os dois tipos reside no sentido da corrente de operação. Dessa forma, observando as diferentes correntes que percorrem os terminais do transistor e aplicando as leis de Kirchhoff, chega-se ao resultado da equação (15).

$$I_E = I_C + I_B \quad (15)$$

Figura 28 — Correntes de circulação nos transistores NPN e PNP.



Fonte: <https://www.marciocunha.eti.br/tensao-e-corrente-em-um-transistor/>

Onde I_E , I_C , e I_B representam, respectivamente, as correntes no terminal emissor, coletor e base. Devemos destacar que esta relação independe do tipo de polarização do transistor. Diante deste resultado é possível definir o ganho de corrente relacionado aos terminais base e coletor. Tal grandeza, denotada por β_{cc} , demonstra o grau de incremento de corrente no terminal coletor em relação à base. É definida de acordo com a equação (16).

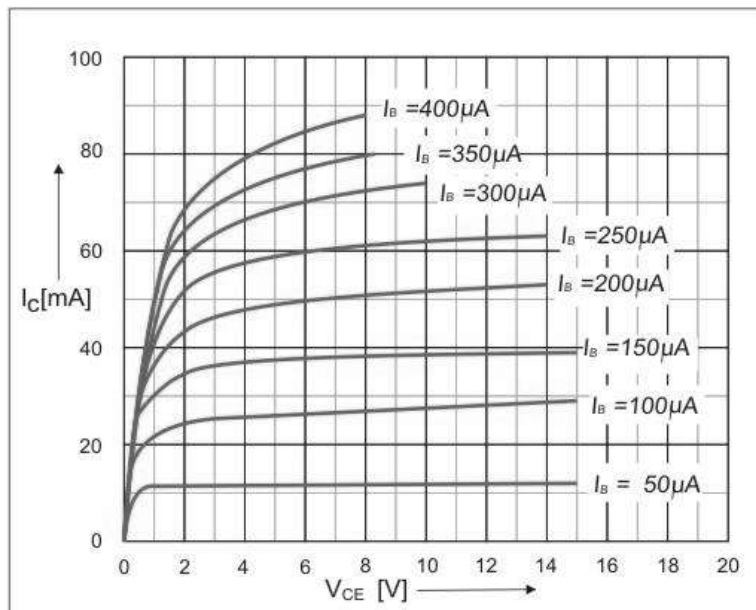
$$\beta_{cc} = \frac{I_C}{I_B} \quad (16)$$

De forma análoga é possível definir o ganho para os terminais coletor e emissor através da relação (17) que demonstra o incremento da corrente do terminal coletor em relação à corrente do emissor. Este parâmetro é geralmente denotado por α_{cc} .

$$\alpha_{cc} = \frac{I_C}{I_E} \quad (17)$$

Verifica-se que a tensão entre a base e o emissor, denotada por V_{BE} , controla o valor da corrente no terminal base, que por sua vez controla a corrente no terminal coletor. Analisando a tensão V_{CB} e o valor da corrente no coletor é possível perceber que I_C é diretamente proporcional a I_B , levando à relação (17). Na figura 29 podemos observar a variação dos valores das correntes I_C e I_B a partir dos possíveis valores de V_{CB} para o transistor BC548³.

Figura 29 — Curva característica para o transistor BC548.



Fonte: <https://bitismyth.wordpress.com/2016/07/07/toyos-o-transistor-bipolar-de-juncao/>

³ Esta terminologia designa um transistor de silício do tipo NPN de uso geral de baixa potência.

3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DA FÍSICA

Apresentamos neste capítulo os fundamentos pedagógicos que tornam a experimentação no ensino da eletricidade uma opção didática capaz de consolidar o aprendizado da física dos semicondutores, por meio da construção e análise de circuitos. Destacamos as diversas modalidades experimentais atualmente desenvolvidas no campo do ensino das ciências e suas aplicações nos diversos contextos de ensino. Discutiremos como a experimentação está relacionada com o produto educacional, destacando a perspectiva baseada em atividades com roteiro fechado como meio estratégico facilitador do processo de ensino e aprendizagem.

3.1 Importância Pedagógica

O ensino das ciências requer estratégias didáticas capazes de materializar a teoria por meio da prática (SIQUEIRA, 2021, p. 33). Nesse contexto, a física, como ciência voltada para a observação e estudo dos fenômenos naturais, apropria-se de métodos e técnicas que permitem a construção do conhecimento por meio da validação experimental (SIQUEIRA, 2021, p. 33 *apud* SOUZA, R. 2013, p. 57). Dessa forma, a experimentação torna-se um elemento indissociável no estudo da física sendo diversas as modalidades didáticas direcionadas para este fim. Nesse contexto, Giani (2010) afirma *“a teoria e a prática passam a ser vistas como um processo único que possibilita a aprendizagem de conceitos científicos”* (GIANI, 2010, p. 19). Sendo assim, as atividades experimentais no ensino da física ganham destaque por sua abrangência e aplicabilidade, sendo capazes de reproduzir desde fenômenos simples ligados às propriedades termoscópicas da matéria, fenômenos ondulatórios, ópticos, elétricos e magnéticos até fenômenos impossíveis de serem realizados em laboratórios de ensino por meio da utilização de recursos computacionais.

Dessa forma, a experimentação, como elemento didático, pode ser dividida inicialmente em experimentação convencional, baseada no emprego de materiais alternativos, de baixo custo, ou especificamente desenvolvidos para esta finalidade e a experimentação baseada em ferramentas computacionais (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 177). Nesta pesquisa, desenvolvemos atividades experimentais baseadas na construção e análise de circuitos eletrônicos, de forma que serão empregadas técnicas de montagem específicas por meio da utilização de ferramentas manuais, instrumentos de medição (multímetro) e dispositivos

eletrônicos (resistores, capacitores, diodos, leds, transistores e pilhas), dentre outros materiais apropriados para o desenvolvimento destas atividades.

Associada a esta possibilidade, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino da física destacam que a experimentação deve ser introduzida de modo a subsidiar o desenvolvimento teórico, permitindo que o estudante desenvolva as competências necessárias para a compreensão dos diferentes fenômenos naturais privilegiando o fazer, o agir e o operacionalizar por meio das ideias e concepções do método científico. Sendo assim:

[...] a experimentação permite ainda ao aluno a tomada de dados significativos, com os quais possa verificar ou propor hipóteses explicativas e, preferencialmente, fazer previsões sobre outras experiências não realizadas" (BRASIL, 1998, p. 53).

Beneficiado por estratégia didática, o estudante tem a chance de construir, juntamente com o professor, que assume o papel de mediador do processo, o conhecimento por meio da resolução de problemas, simulações, observações fenomenológicas e outras possibilidades oriundas das atividades experimentais (OLIVEIRA, N. 2010, p. 3).

No entanto, para a efetivação desta proposta destacamos inicialmente os principais tipos de atividades experimentais presentes no campo do ensino das ciências de modo a refletir sobre suas potencialidades didáticas e aplicações nos diferentes cenários do ensino. De forma geral, podemos dividir as atividades experimentais em (1) atividades com roteiro fechado, (2) atividades com roteiro aberto e (3) atividades baseadas em demonstrações (OLIVEIRA, N. 2010, p. 2-3). A seguir, iremos discorrer sobre cada uma destas propostas didáticas enfatizando as atividades com roteiro fechado como estratégia de ensino fundamental do produto educacional aplicado. É importante destacar que neste trabalho elencamos apenas os principais tipos de propostas experimentais de modo que não pretendemos esgotar as diversas estratégias de ensino baseadas na experimentação.

3.2 Tipos de Atividades Experimentais

3.2.1 Atividades demonstrativas

As atividades experimentais, de forma geral, devem priorizar o desenvolvimento do senso crítico do estudante por meio da apropriação correta da teoria desenvolvida na sala de aula através da manipulação de instrumentos, materiais, ferramentas ou dispositivos capazes de relacionar a teoria com a prática (COSTA, F. 2018, p. 15). Dessa forma, o professor deve refletir sobre qual proposta experimental desenvolver com seus estudantes, levando em conta seu planejamento, o tempo disponível, os materiais a serem empregados e qual tipo de

experimento mais adequado para a consolidação da aprendizagem além de ser incentivador da prática. Nesse contexto, Paula afirma:

Neste sentido, percebe-se que o papel do professor nesta prática deve ir além de simples demonstrações/ilustrações, mas que possam agregar um conjunto maior de funções e possibilitando uma aprendizagem mais fácil, agradável, menos abstrata, enfim, mais significativa (PAULA, 2016, p. 23).

Por meio desta reflexão, o professor pode estabelecer qual o melhor tipo de roteiro a ser explorado. Dentro desta perspectiva, o professor pode trabalhar atividades demonstrativas, nas quais o estudante pode acompanhar, na maioria das vezes no interior de laboratórios de ensino ou mesmo no interior da sala de aula a reprodução de experimentos clássicos ou simulações que envolvam a confirmação de determinada lei ou princípio físico (PAULA, 2016, p. 23). Dessa forma, o estudante observa como a teoria discutida na sala de aula materializa-se por meio da experimentação. Nesta modalidade, o estudante é um expectador passivo no processo didático, de modo que não manipula ou toma parte ativa na execução dos experimentos (COSTA F. , 2018, p. 15).

Alguns autores e analistas educacionais discordam acerca dos benefícios didáticos da experimentação baseada na demonstração, pois alegam que neste processo o protagonismo do estudante é suprimido dando lugar à mecanização das ideias baseada na ‘ciência acabada’(CHAVES e HUNSCHE, 2014, p. 5). Além disso, destacam que o construtivismo deve ser priorizado de modo que o estudante esteja envolvido na atividade experimental, propondo ideias, soluções, debatendo aspectos teóricos, aprendendo com seus colegas e redescobrimo a física por meio da materialização. Para Silva (2015) *et al*:

Para um melhor entendimento consideramos o construtivismo como uma teoria associada à ideia de que a rigor não existe nada que esteja pronto e acabado, e que o conhecimento não é dado em nenhuma instância como algo terminado, mas sim como um processo que se desenvolve juntamente com a espécie humana (SILVA, 2015, p. 440).

Ao mesmo tempo, alguns autores destacam a importância da demonstração como elemento de impacto no processo de ensino, oportunizando ao estudante a verificação de fenômenos que, muitas vezes, limitam-se aos livros didáticos levando ao aprendizado significativo. Nesse sentido, segundo Paula:

[...] o uso das atividades experimentais de demonstração em sala reforça a aproximação de diferentes saberes em uma única atividade, dentre eles os conhecimentos afins na área de ciências naturais, proporcionando uma formação científica sólida e, sobretudo, uma aprendizagem significativa (PAULA, 2016, p. 26).

Sendo assim, a experimentação baseada em atividades demonstrativas possui aplicabilidade e importância dentro de determinados contextos, permitindo a diversificação das aulas expositivas, a visualização de fenômenos e a comprovação de leis, constituindo-se numa estratégia visual que permite transpor a impossibilidade de aplicar outras modalidades experimentais devido à inexistência de recursos materiais. Para Chaves e Hunsche (2014) *“atividades experimentais demonstrativas são por vezes atividades mais rápidas de serem realizadas, uma vez que o aluno assume um papel de observador”* (CHAVES e HUNSCHE, 2014, p. 15). Dessa forma, por meio da demonstração, o professor pode ilustrar de forma concreta para seus estudantes como as leis e princípios físicos agem no universo material de forma controlada despertando a curiosidade dos educandos.

3.2.2 Atividades com roteiro aberto

Outra importante proposta didática são os experimentos baseados em roteiros abertos. Neste tipo de atividade, o professor, em geral, propõe um problema a ser resolvido por meio da aplicação correta de um conjunto de leis e princípios físicos, a partir da utilização racional e coordenada de instrumentos e materiais selecionados, que podem ser alternativos ou de baixo custo (SIQUEIRA, 2021, p. 37). Nesse tipo de atividade não há ingerência do professor, que passa a assumir o papel de mediador do processo, levando os estudantes a percorrerem o melhor caminho para a solução do problema inicialmente proposto. Segundo Lunardi e Terrazan:

[...] o roteiro aberto se caracteriza como uma atividade de investigação, sendo que o professor faz parte da elaboração ou reestruturação do roteiro dessas atividades, tendo o papel de mediar no primeiro momento as discussões/questionamentos, através de observações/previsões dos alunos sobre o observado para que sejam lançadas hipóteses. Para que no segundo momento, os próprios alunos façam a realização/formalização da atividade. E no terceiro momento, auxiliados pelo professor descrevam a comparação/análise do que ocorreu durante o desenvolvimento da atividade (LUNARDI e TERRAZZAN, 2003, p. 2).

Este tipo de atividade vem ganhando cada vez mais espaço e aceitação nos diversos níveis de ensino, sendo uma proposta que corrobora com os Parâmetros Curriculares Nacionais, que, no tocante ao ensino da física, buscam desenvolver no estudante os rudimentos do método científico, que considera a construção do saber baseado na observação, na formulação de problemas, no desenvolvimento e teste de hipóteses. Segundo Silva (2015) *“a experimentação é uma possibilidade de ensino e as aulas experimentais são boas ferramentas para a construção do conhecimento científico o que as tornam extremamente importantes para o Ensino de Ciências”* (SILVA, et al, 2015, p. 438).

Nesse sentido, a experimentação com roteiro aberto potencializa o construtivismo, proposta educacional baseada no protagonismo do estudante que torna-se elemento ativo e responsável pela sua aprendizagem. Assim, corroboramos com Catelan e Rinaldi (2018):

Quando o professor utiliza atividades experimentais a aprendizagem dos conteúdos concretiza-se por meio da constatação da necessidade de aprender, desencadeada por situações desafiadoras. Estas possibilitam aos aprendizes agirem como mediadores do seu próprio conhecimento. Portanto, o professor que desenvolve atividades experimentais, permite aos educandos serem protagonistas na aprendizagem, pois passam a ser condutores no debate de ideias e permite o desenvolvimento no aprendiz da capacidade de argumentação que subjaz o pensar (CATELAN e RINALDI, 2018, p. 312).

Vale destacar que a experimentação com roteiro aberto também requer planejamento de modo que o professor deve dimensionar a viabilidade desta proposta considerando o tempo disponível, os materiais a serem utilizados, o nível de engajamento dos estudantes e o domínio teórico destes com vistas à solução do problema. Nesse contexto, segundo Borges (2002), o professor deve contrapor:

[...] a falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção (BORGES, 2002, p. 294).

Nesse sentido, destacamos que esta proposta didática, apesar de ser a mais adequada, considerando os atuais Parâmetros Curriculares de ensino e seus benefícios, promovendo a participação ativa do estudante no seu próprio processo de aprendizagem, não suprime outras possibilidades e estratégias de ensino baseadas em experimentos sendo cada proposta aplicável em função das possibilidades apresentadas (SIQUEIRA, 2021, p. 34).

3.2.3 Atividades com roteiro fechado

Outra atividade experimental bastante aplicada nos diferentes níveis de ensino é a experimentação baseada em roteiros fechados. Nesta modalidade, o professor propõe um problema a ser resolvido ou a simulação de determinado fenômeno por meio das orientações contidas num roteiro de atividades (SIQUEIRA, 2021, p. 50 *apud* BORGES, 2002, p. 299). Neste roteiro devem constar os objetivos do experimento, o problema ser solucionado ou a simulação a ser realizada, além dos materiais necessários e os procedimentos a serem realizados de forma coordenada.

Neste tipo de atividade experimental, o estudante deve ser capaz de utilizar os materiais listados de forma adequada por meio da utilização de instrumentos e técnicas específicas, ao mesmo tempo deve ser capaz de conduzir o experimento proposto analisando e

respondendo às indagações do professor. Segundo Catelan e Rinaldi (2018), existe o consenso que, independente na modalidade experimental adotada:

[...] o conhecimento construído tem demonstrado que as intervenções docentes quando trabalhadas com atividades experimentais no ensino de ciências naturais resultam em um melhor aprendizado (CATELAN e RINALDI, 2018, 311).

Constituindo-se numa opção didática, as atividades experimentais com roteiro fechado desenvolvem a teoria de forma coordenada e objetiva, mediando o processo de ensino. Tal atividade também requer do estudante capacidade de realizar medições, coletar e organizar dados, permitindo obter conclusões assertivas acerca do experimento realizado. Sendo assim, o roteiro torna-se um elemento importante no contexto experimental não apenas como um guia rígido, mas como material instrucional capaz de auxiliar o estudante no processo de aprendizagem. Nesse contexto, corroboramos com Catelan e Rinaldi (2018):

As atividades experimentais não devem estar prioritariamente associadas a grandes demonstrações, com equipamentos sofisticados. Muitas vezes, experimentos simples podem ser realizados em casa, no pátio da escola, ou na sala de aula, com materiais do dia-a-dia, levando a descobertas importantes. É dessa experimentação que devemos promover (CATELAN e RINALDI, 2018, p. 314).

A partir das potencialidades destacadas no parágrafo anterior, optamos pela utilização do roteiro fechado como ferramenta para o desenvolvimento das atividades baseadas na construção de circuitos eletrônicos. Sendo assim, buscamos com esta estratégia, racionalizar o tempo das atividades, tornar o processo de aprendizagem objetivo ao mesmo tempo tornar os roteiros elementos instrucionais de aprendizagem significativa.

Por meio das atividades experimentais com roteiro fechado, propostas no produto educacional, objeto deste trabalho, será demonstrada a importância, ao mesmo tempo, a viabilidade didática deste método, provando ser esta uma opção para o ensino da física mediada por experimentos. Sendo assim, segundo Siqueira (2021) *apud* Borges (2002) sobre as atividades com roteiro fechado:

Não se pode deixar de reconhecer alguns méritos nesse tipo de atividade: por exemplo, a recomendação de se trabalhar em pequenos grupos, o que possibilita a cada aluno a oportunidade de interagir com as montagens e instrumentos específicos, enquanto divide responsabilidades e idéias sobre o que devem fazer e como fazê-lo; outro é o caráter mais informal do laboratório, em contraposição à formalidade das demais aulas (SIQUEIRA, 2021, p. 48-49 *apud* BORGES, 2002, pág. 6).

É importante destacar que as diferentes propostas de ensino baseadas em experimentos devem contemplar a realidade na qual estudantes e professores estão inseridos, de modo que o

professor, por meio do mapeamento desta realidade, pode optar por uma das três metodologias apresentadas anteriormente, adequando sua prática didática. Sendo assim, corroboramos com os autores que consideram as diversas potencialidades das diferentes modalidades experimentais onde, nessa abordagem, segundo Costa (2018) “*geralmente aplicada em pequenos grupos, os alunos realizam o experimento de forma ativa, fazendo as medidas e manuseando os equipamentos, porém, de forma sistemática*” (COSTA F. , 2018, p. 15).

3.3 Circuitos Eletrônicos como Estratégia Didática

A experimentação representa uma estratégia indissociável no ensino da física, através da qual, a teoria revela seu alcance e validade (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 177). Nesse sentido, o ensino da eletrodinâmica utiliza como métodos principais de ensino o dimensionamento e a montagem de circuitos elétricos com o objetivo de demonstrar ou desenvolver de forma construtivista os princípios físicos fundamentais que governam as cargas elétricas em movimento (COSTA G. *et al*, 2019, p. 1). Dessa forma, por meio da utilização de componentes elétricos básicos, disponíveis em comércios especializados e com custo relativamente baixo, o professor têm a chance de desenvolver princípios abstratos que, considerando o senso comum, não apresentam evidências macroscópicas observáveis de forma direta, como outros fenômenos físicos facilmente perceptíveis. Segundo Neves (2019):

Um dos objetivos atuais das pesquisas em Ensino de Física é tornar essa modalidade de ensino mais atraente e próxima da realidade dos alunos. Nesse intuito, um caminho frequentemente apontado na literatura é o relacionamento da Física com a tecnologia atual, principalmente aquela do cotidiano dos alunos (NEVES, 2019, p. 42).

De maneira estratégica, é fundamental desenvolver circuitos elétricos que revelem os fenômenos associados à eletrodinâmica permitindo que o estudante relacione, de forma concreta, os aspectos funcionais com os fenômenos observados (COSTA G. *et al*, 2019, p. 1). Nesse contexto, o estudante deve ser capaz de dimensionar, selecionar os diferentes componentes eletrônicos e solucionar problemas propostos apropriando-se do ferramental teórico. Sendo assim, segundo Barreto (2019) *apud* Galianzi e Gonçalves (2004):

[...] quando instigados a pesquisar e propor hipóteses para a solução de problemas ou a pensar e fornecer explicações para os fenômenos observados nos experimentos, os alunos são estimulados a tomar decisões e expressar suas ideias para outras pessoas (BARRETO, 2019, p. 24-25 *apud* GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

Considerando o atual currículo proposto para o Ensino Médio, suas competências e habilidades previstas pela Base Nacional Comum Curricular, o estudante deve ser capaz de dominar os princípios da eletrodinâmica dos componentes resistivos, capacitivos, geradores, receptores elétricos e o manuseio de instrumentos de medição elétrica (multímetro). Nesse sentido, para Neves (2019) *apud* Schivani, Luciano e Romero (2017):

Ainda que não haja uma familiaridade de muitos estudantes e professores do Ensino Médio com os componentes eletroeletrônicos simples, estes podem ser considerados bons mediadores entre a ciência presente nos equipamentos tecnológicos e o conhecimento aprendido nas aulas de Física (NEVES, 2019, p. 43 *apud* SCHIVANI; LUCIANO; ROMERO, 2017).

Para este fim, são desenvolvidos circuitos elétricos constituídos por uma malha ou por múltiplas malhas com o objetivo de compreender as leis de Ohm, as diferentes associações de resistores, capacitores, geradores, receptores, as leis de Kirchhoff e o emprego correto do multímetro (COSTA, G. 2019, p. 14). Dessa forma, o estudante é capaz de transcender o universo teórico percebendo como a eletrodinâmica é fundamental para a construção de circuitos eletrônicos complexos que estruturam sistemas dos mais variados tipos. Esta perspectiva corrobora com a Base Nacional Comum Curricular que destaca a importância do estudante possuir habilidade para *“analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos”* (BRASIL, 2014, p. 545). Esta compreensão leva o estudante a reconhecer a utilização da eletricidade nos diversos campos da tecnologia, computação, mecatrônica, processos de geração e distribuição de eletricidade, comunicação, dentre outros.

No entanto, o estudo da eletricidade não resume-se à montagem e análise de circuitos passivos, sendo estes apenas elementos básicos para a construção de circuitos mais elaborados (BROPHY, 1972, p. 156). Nesse sentido, o estudo dos componentes semicondutores torna-se fundamental para que o estudante consiga entender a arquitetura dos circuitos eletrônicos utilizados nos diversos equipamentos e sistemas elétricos presentes no seu dia-a-dia. Dessa forma, sendo o estudante capaz de dominar os rudimentos básicos da eletrodinâmica, propomos um estudo extensivo dos componentes semicondutores por meio do desenvolvimento de novos conceitos e propriedades relativas a estes materiais ou mesmo tempo, como estratégia de ensino, construir a analisar circuitos elétricos específicos cujas funções demonstram as importantes propriedades dos componentes semicondutores. Nesse sentido, corroboramos com Barreto (2019) *apud* Fabro e Martins (2017).

O Ensino Médio deverá estruturar-se em consonância com o avanço do conhecimento científico e tecnológico, fazendo da cultura um componente da formação geral, articulada com trabalho produtivo. Isso pressupõe a vinculação dos conhecimentos científicos com a prática relacionada à contextualização dos fenômenos físicos, químicos, biológicos e sociais, bem como a superação das dicotomias entre humanismo e tecnologia e entre a formação teórica geral e a técnico-instrumental (BARRETO, 2019, *apud*, FABRO; MARTINS, 2017, p. 17).

Sob o prisma didático, é fundamental o desenvolvimento de atividades experimentais preliminares que levem o estudante a compreender os principais aspectos funcionais dos componentes semicondutores a serem estudados, o diodo e o transistor. É importante destacar que estes componentes eletrônicos não esgotam a expressiva variedade de dispositivos semicondutores hoje disponíveis no campo da pesquisa eletrônica. No entanto, neste trabalho, julgamos ser suficiente para o estudante desenvolver seus estudos objetivando estes dois componentes, sendo os demais variedades próprias da pesquisa avançada.

Sendo assim, a experimentação baseada em circuitos ativos deve revelar para o estudante as diferentes possibilidades funcionais dos circuitos convencionais, baseados em resistores e capacitores, daqueles constituídos por componentes semicondutores, de modo que o estudante perceba a sofisticação dos materiais utilizados na confecção destes componentes, fator fundamental no contexto de aprendizagem (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 44). Outro detalhe importante reside na esquematização de circuitos cujas funções demonstram sua importância para a solução de problemas tecnológicos do cotidiano do estudante, permitindo a contextualização de problemas estimulando a criatividade do estudante. Nesse contexto, Mendonça e Januário (2011) afirmam que:

[...] é relevante considerar que as atividades experimentais que envolvem a Mecatrônica e a eletrônica instiga e motiva o aluno, que passa a ter uma participação mais ativa no processo de aprendizagem; o professor fica mais motivado e as suas aulas mais interessantes (MENDONÇA e JANUÁRIO, 2011, p. 18).

Assim, a física dos materiais semicondutores e, por conseguinte os circuitos construídos e analisados, devem mostrar para o estudante, considerando inicialmente o diodo, sua principal propriedade que é a condução da corrente elétrica apenas em um sentido por meio da junção de dois materiais semicondutores com propriedades⁴ físico-químicas distintas (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 45). Neste contexto, é fundamental a construção de circuitos simples que ilustram esta propriedade destacando para o estudante a primeira diferença entre os elementos passivos, que conduzem corrente elétrica em ambos os sentidos, dos elementos

⁴ Estas propriedades são discutidas de forma detalhada no produto educacional.

ativos que comportam-se de forma específica em função da polaridade aplicada em seus terminais (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 45-46).

Posteriormente o transistor é apresentado também por meio da construção de circuitos simples que demonstram sua capacidade de amplificação de sinais, propriedade importante que o distingue de todos os componentes eletrônicos analisados pelo estudante até então. Dessa forma, o estudante tem contato com o primeiro componente de três terminais rompendo a percepção inicial centrada nos componentes de dois acessos (resistores, capacitores, geradores e receptores) permitindo ampliar de forma complexa os conceitos anteriormente desenvolvidos no estudo do diodo (BROPHY, 1972, p. 208). Nesse momento deve ser introduzida a terminologia que identifica os terminais do transistor destacando as diferentes configurações e os tipos de transistores e suas aplicações imediatas (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 62).

Nesse contexto, é importante que o estudante construa e analise circuitos que possibilitem a verificação das propriedades eletrodinâmicas do transistor por meio da utilização do multímetro, permitindo observar as correntes dos terminais base, coletor e emissor do componente (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 62). Dessa forma, o estudante deve chegar à conclusão de que a corrente do terminal emissor equivale à soma das correntes dos terminais base e coletor reafirmando assim a lei da conservação das cargas elétricas inicialmente abordada no estudo da eletrostática (HOROWITZ e HILL, 1998, p. 63). Ao final destes experimentos iniciais, de verificação das propriedades estudadas de forma teórica, o estudante deve ser capaz de relacionar o comportamento elétrico dos semicondutores com os princípios da eletrodinâmica, concluindo que estes são válidos tanto para componentes ativos quanto passivos.

Ao mesmo tempo que o estudante operacionaliza os circuitos, deve ser levado a responder perguntas conceituais e pequenos problemas que envolvem a medição direta de determinadas quantidades elétricas com o objetivo de desenvolver e relacionar as diversas competências e habilidades necessárias (BROPHY, 1972, p. 370). Sendo assim, por meio da execução preliminar de experimentos, é possível reunir os conceitos assimilados pelo estudante de modo a desenvolver atividades experimentais com maior grau de complexidade permitindo a consolidação da aprendizagem ao mesmo tempo a sua significação, uma vez que o estudante, nessa perspectiva, deverá construir um circuito funcional para solucionar um determinado problema. Desse modo, o estudante é levado ao aprendizado por meio da mudança conceitual, que, segundo Araújo e Abib (2003):

Essas mudanças conceituais podem ser alcançadas por alunos submetidos a atividades com enfoque construtivista, realizadas através de experimentos qualitativos baseados em sequências de ensino que envolvem uma problematização inicial, a montagem e execução do experimento, uma organização dos conhecimentos adquiridos e, finalmente, a aplicação destes conhecimentos a outras situações diferentes das que foram propostas inicialmente (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 185).

Tendo em vista o produto educacional idealizado, a estratégia de experimentação desenvolvida nesta pesquisa envolve dois momentos distintos, no primeiro, o estudante é direcionado a construir e analisar (responder perguntas e solucionar problemas por meio do ferramental matemático e físico) pequenos circuitos⁵ cujo objetivo é a consolidação dos elementos teóricos abordados nas aulas. O segundo momento, constitui-se na construção de um circuito complexo (medidor de nível de água) reunindo todos os elementos teóricos sobre a física dos semicondutores, desenvolvidos nas aulas, como também os rudimentos básicos da eletrodinâmica que antecedem o estudo dos semicondutores. Dessa forma, o processo experimental torna-se uma prática didática baseada na construção hierarquizada do conhecimento levando o estudante ao aprendizado por meio da análise e descoberta das diferentes propriedades dos semicondutores.

3.3.1 Circuitos e resolução de problemas

A função principal dos sistemas eletrônicos, objeto de estudo dos projetistas de circuitos, é a solução de problemas dos mais variados tipos envolvendo os mais diferentes contextos tecnológicos (MENDONÇA e JANUÁRIO, 2011, p. 4-5). Desta forma, um circuito eletrônico deve desempenhar determinada função solucionando certa demanda, o que necessariamente envolve a aplicação de diversos princípios físicos e matemáticos. Assim sendo, ao propor uma atividade experimental no contexto do ensino estamos levando o estudante a solucionar problemas contextualizados envolvendo diferentes áreas do conhecimento. Não obstante, tais atividades, para sua realização, envolvem o desenvolvimento de habilidades manuais específicas, ampliando assim o espectro de aprendizado. Para Neves (2019) *apud* Pozo e Crespo (1998):

A ciência para todos justifica-se parcialmente na medida em que se consiga fazer com que os alunos e futuros cidadãos sejam capazes de aplicar parte de sua aprendizagem escolar para entender não somente os fenômenos naturais que os cercam, mas também os projetos tecnológicos gerados pela ciência, que têm, muitas vezes, consequências sociais relevantes (NEVES, 2019, p. 44 *apud* POZO e CRESPO, 1998, p. 67).

⁵ Estes circuitos são apresentados e discutidos de forma detalhada no produto educacional.

Considerando a atividade experimental de integralização desenvolvida no produto educacional, que consiste na montagem e análise de funcionamento de um circuito medidor de nível de água, levamos o estudante a transpor a resolução tradicional de problemas propostos no livro didático para a resolução de problemas reais por meio do dimensionamento de circuitos eletrônicos. Dessa forma, o circuito de medição proposto no produto educacional deve solucionar o problema da medição do nível de água num reservatório por meio da montagem de um circuito transistorizado ligado a pequenos leds cujas cores indicam os diferentes níveis do reservatório. Nesse sentido, corroboramos com Clement, Terrazzan e Nascimento (2009):

A atividade de solucionar problemas envolve um grande grau de criatividade, pois, cada solucionador utilizará suas experiências, conhecimentos e interpretações para resolver a situação-problema em jogo. Isto exigirá a elaboração de hipóteses, estratégias ou planos a serem seguidos de forma consciente, culminando, por vezes, em resultados que necessitam de análises cuidadosas (CLEMENT, TERRAZZAN e NASCIMENTO, 2009, 4).

Assim sendo, o estudante deve dominar os diversos conceitos desenvolvidos até então com o objetivo de construir e compreender os diversos estágios de funcionamento do circuito, prevendo anomalias, falhas, ou erros de dimensionamento que levam ao colapso do circuito. Ao mesmo tempo, segundo a BNCC, o estudante deve ser capaz de:

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica (BRASIL, 2014, 545).

Tal capacidade configura o nível de aprendizado do estudante, que, além disso, deve ser capaz de responder e solucionar problemas propostos por meio da coleta e análise de dados por meio de medições elétricas. Sendo assim, a resolução de problemas por meio da construção de circuitos pode ser estendida para as diversas áreas da física constituindo-se numa estratégia didática diretamente relacionada com o emprego de recursos computacionais como softwares, aplicativos e interfaces de coleta e análise de dados (NEVES, 2019, p. 127). Dessa forma, a resolução de problemas baseados no dimensionamento e análise de circuitos eletrônicos constitui-se num elemento de transposição didática corroborando com as modernas ferramentas de ensino hoje utilizadas no campo do ensino da física. Desse modo, Clement, Terrazzan e Nascimento (2009) afirmam:

Neste sentido, ao solicitar dos alunos a elaboração prévia de estratégias de resolução, aposta-se na necessidade de realizar o equivalente do que se faz num trabalho científico de carácter experimental, a elaboração do plano de execução do experimento, ou seja, se insiste na necessidade de ter uma visão clara do que se tenta resolver e de como fazê-lo, sem cair em mimetismos sem reflexão ou em práticas de puro "ensaio e erro"(CLEMENT, TERRAZZAN e NASCIMENTO, 2009, 6).

Considerando o exposto, a experimentação baseada na construção de circuitos constitui-se numa estratégia que rompe com os paradigmas do ensino expositivo, tornando-se instrumento ativo no processo de ensino no qual o estudante é responsável pelo seu percurso de aprendizagem desenvolvendo competências e habilidades importantes no contexto das atividades.

4 TEORIAS COGNITIVISTAS DE AUSUBEL E VYGOTSKY

Neste capítulo destacamos os principais aspectos da teoria cognitivista de David Ausubel e os conceitos fundamentais do sociointeracionismo de Lev Vygotsky que são base teórico-pedagógica do produto educacional desenvolvido nesta pesquisa. Será discutido o mecanismo da aprendizagem significativa baseada em conceitos, demonstrando como as novas ideias agregam-se à estrutura cognitiva do aprendiz no processo de aprendizado. Nesse sentido, elencamos os principais subsunçores necessários para o ensino da física dos semicondutores e como estes devem ser apresentados ao estudante, por meio de atividades experimentais, de modo a configurar a aprendizagem significativa proposta por Ausubel.

Em seguida, os paradigmas do sociointeracionismo de Lev Vygotsky são analisados de forma a subsidiar a aplicação do produto educacional, baseado na construção coletiva do conhecimento e na interação. É discutido como a realização de atividades em grupo corrobora para a troca de experiências e saberes entre os próprios estudantes, potencializando o processo de ensino e aprendizagem. Também será destacada importância das atividades experimentais como elemento de transposição didática segundo a teoria vygotskyana.

4.1 Ensino Baseado em Conceitos

O ato de ensinar, sugere, dentre outras coisas, um planejamento efetivo pautado num conjunto metodológico bem definido, complementado por estratégias embasadas nas principais teorias da aprendizagem (SIQUEIRA, 2021, p. 46). Dessa forma, o professor deve, dentre outras coisas, delimitar qual ou quais teorias serão as norteadoras do seu trabalho, podendo também ajustar seus métodos em função dos resultados obtidos durante a execução de suas aulas (CAMPOS, 1987, 68). Toda esta organização tem como objetivo permitir o aprendizado dos estudantes de forma lúcida, ou seja, produzir no educando aprendizagem significativa, conduzindo-o no caminho da razão e do protagonismo.

Nessa perspectiva, a teoria cognitivista de David Ausubel representa uma opção que procura desenvolver os conhecimentos prévios do estudante com o objetivo de viabilizar o processo de aprendizagem. Esse mecanismo permite o resgate dos conceitos ancorados na estrutura cognitiva do aprendiz de modo que o professor, por meio da aplicação de materiais instrucionais potencialmente significativos, emprega técnicas e meios didáticos adequados para desenvolver os conteúdos (AUSUBEL, 2003, p. 171). Nesse sentido, é fundamental determinar uma estratégia, ou elementos facilitadores da aprendizagem, capazes de interligar

a estrutura cognitiva do aprendiz com aquilo que é ensinado. Neste trabalho de pesquisa, o elemento facilitador da aprendizagem são as atividades experimentais presentes no produto educacional nas quais os estudantes serão levados à construção e análise de circuitos eletrônicos básicos. Dessa forma, para Rihs e Almeida (2017):

[...] com base nessas premissas, compreender os referenciais teóricos da aprendizagem significativa — e colocá-los em prática — pode ser essencial para os processos educativos em diferentes níveis, incluindo-se a formação científica (RIHS e ALMEIDA, 2017, p. 49).

É importante destacar que, além da exposição teórica dos conceitos relativos aos materiais semicondutores, realizada de forma dialógica através de materiais instrucionais potencialmente significativos, são empregadas atividades experimentais nas quais os conceitos apresentados devem ser aplicados de forma prática, de modo que o estudante desenvolve os conceitos já presentes em sua estrutura cognitiva levando à assimilação de novos conceitos por meio da aprendizagem significativa (RIHS e ALMEIDA, 2017, p. 49). Assim, é importante definir alguns aspectos fundamentais da teoria cognitivista de David Ausubel importantes para este trabalho.

4.1.1 Aprendizagem significativa

A aprendizagem envolve três dimensões fundamentais, a dimensão cognitiva, que está associada ao armazenamento e organização do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz, a dimensão afetiva, na qual o aprendiz relaciona seu aprendizado às diferentes manifestações da experiência humana, destacando o prazer e a dor como elementos condicionantes para o aprendizado (MOREIRA, 1999, p. 151-152), a qual, ainda segundo Moreira, apresenta determinado grau de aprendizagem cognitiva. Por último, a aprendizagem psicomotora representa a aprendizagem baseada no condicionamento físico por meio da prática sistêmica e regular de estímulos físicos (MOREIRA, 1999, p. 152). Vale destacar que até esta última requer certo grau de aprendizagem cognitiva para sua efetivação.

Para Ausubel, a dimensão cognitiva é de profundo interesse sendo ela o centro de sua teoria. Orbitando o elemento cognitivo, a teoria cognitivista de Ausubel procura inicialmente diferenciar dois processos de aprendizagem fundamentais, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica (RIHS e ALMEIDA, 2017, p. 49). A diferença fundamental entre estes dois tipos, reside no fato que na aprendizagem mecânica o aprendiz é levado a depositar na sua estrutura cognitiva determinada informação de modo que não há assimilação de

conceitos, ou, o que é mais importante, a combinação de conceitos preexistentes na estrutura cognitiva com aqueles a serem aprendidos (RIHS e ALMEIDA, 2017, p. 49).

Podemos determinar a aprendizagem significativa como sendo um processo no qual o aprendiz amplia seus conceitos prévios por meio da assimilação de novos conceitos, ou seja, sua estrutura cognitiva é reorganizada de modo a ampliar sua compreensão acerca de determinado objeto de aprendizagem. Nesse contexto, Ausubel destaca o importante papel dos subsunçores no processo de aprendizagem significativa sendo estes fundamentais para a organização e planejamento da atividade de ensino (AUSUBEL, 2003, p. 153). De forma geral, os subsunçores são as ideias e conceitos prévios presentes na estrutura cognitiva do aprendiz que devem ser dimensionados previamente com vistas à preparação de materiais instrucionais e processos didáticos (RIHS e ALMEIDA, 2017, p. 50). De forma esquemática, podemos ilustrar o processo de aprendizagem significativa por meio da seguinte representação:

$$a + A' \rightarrow aA'$$

Onde:

$a \rightarrow$ representa o conceito prévio ou subsunçor

$A' \rightarrow$ representa o novo conceito a ser aprendido

$aA' \rightarrow$ representa o conceito resultante da interação dos dois conceitos

É possível observar que na aprendizagem significativa não há substituição de um subsunçor por um novo conceito, mas a reestruturação deste por meio da assimilação significativa. Sendo assim, como destacado anteriormente, na aprendizagem mecânica não há interação de conceitos ou qualquer forma de aprendizado que leve à reorganização cognitiva do aprendiz.

4.1.1.1 Tipos de aprendizagem significativa

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa pode ser dividida em três tipos fundamentais, cada qual apresentando determinado alcance no processo de ensino e aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 2-3). Assim, destacamos a aprendizagem representacional, a aprendizagem por conceitos e a aprendizagem baseada em proposições por serem fundamentais no processo de transposição didática necessário para o desenvolvimento da física dos materiais semicondutores, objeto do produto educacional.

Nesse contexto, a aprendizagem representacional está relacionada com a capacidade do aprendiz de inter-relacionar figuras concretas ou abstratas às suas respectivos significados ou terminologias. Dessa forma, quando o aprendiz, por exemplo, relaciona as diversas partes, ou peças constituintes, de uma bicicleta com suas diferentes funções ou terminologias está demonstrando determinado grau de aprendizagem representacional. Outro exemplo, segundo Siqueira (2021):

[...] seriam as associações que um estudante faz quando relaciona as diferentes partículas subatômicas que compõem um átomo com a localização destas no próprio átomo (núcleo para os prótons e nêutrons e eletrosfera para os elétrons (SIQUEIRA, 2021, p. 47).

A aprendizagem por conceitos, baseia-se na assimilação dos diversos conceitos relacionados àquilo que se deseja aprender. Segundo Moreira, possui clara ligação com o mecanismo de aprendizagem representacional, uma vez que é possível associar conceitos aos diferentes elementos, abstratos ou concretos, no espectro da aprendizagem (MOREIRA, 1999, p. 157). De modo progressivo, o aprendiz é capaz de, não apenas associar terminologias, mas de dar significação conceitual àquilo que está identificando. Este tipo de aprendizagem leva a mecanismos mais elaborados onde os conceitos são agrupados formando um constructo no qual ideias mais complexas são desenvolvidas e agregadas à estrutura cognitiva do aprendiz.

Na aprendizagem proposicional observamos a complexificação do processo de aprendizagem onde a capacidade de associar terminologias e conceitos a elementos constituintes do processo de ensino, permite a formulação de proposições capazes de construir ideias mais profundas por meio dos conceitos inicialmente propostos (MOREIRA, 1999, p. 157). Por meio deste mecanismo, o aprendiz é levado a concatenar determinado grupo de conceitos formando uma ideia geral, ampliando e adensando o processo de aprendizagem, uma vez que o significado associado às ideias assim formadas possui maior amplitude que os conceitos originais.

4.1.2 Subsunoçores e organizadores prévios

No domínio da teoria cognitivista de Ausubel o conceito de subsunçor ganha destaque por sua importância no processo de aprendizagem que leva em consideração as experiências, ideias e conhecimentos prévios do aprendiz como base didática e pedagógica do processo de ensino. Segundo Ausubel, os conhecimentos prévios do aprendiz estão organizados de forma hierárquica em sua estrutura cognitiva, de modo que, durante o processo de ensino, tais conhecimentos podem ser explorados de modo a subsidiar o objeto de aprendizado (AUSUBEL, 2003, p. 166). Sendo assim, para a efetivação da aprendizagem significativa é

preponderante, determinar quais os subsunçores necessários para a materialização do processo de ensino.

Sendo assim, considerando o objetivo do produto educacional desenvolvido nesta pesquisa, elencamos, como subsunçores para o desenvolvimento da física dos materiais semicondutores, os conceitos ligados à (1) teoria atômica da matéria, (2) carga elétrica, (3) força elétrica, (4) íons positivos e negativos, (5) forças interatômicas, (6) forças intermoleculares (7) processos de eletrização, (8) campo elétrico, e (9) corrente elétrica. Além destes subsunçores básicos, que o estudante aprende não apenas no 3º ano do Ensino Médio, mas durante o 1º ano, na disciplina de química, onde são desenvolvidos os conceitos de átomo, divisibilidade atômica, e como a natureza corpuscular da matéria está associada às suas propriedades macroscópicas, destacamos também a importância dos conceitos ligados à eletrodinâmica, parte integrante do currículo do 3º ano do Ensino Médio, desenvolvida previamente.

Para tal, é importante determinar se o aprendiz possui os subsunçores mínimos necessários para a efetivação do aprendizado. Sendo assim, é comum a aplicação de exames ou avaliações diagnósticas capazes de identificar a presença ou não destes subsunçores. Tal procedimento foi adotado neste trabalho de pesquisa e constitui uma das fases do processo metodológico desenvolvido. Concluindo-se que o aprendiz não possui os subsunçores mínimos necessários, deve-se fornecer ao aprendiz organizadores prévios capazes de viabilizar o processo de ensino. Os organizadores prévios representam ideias e conceitos básicos que permitem ao aprendiz desenvolver o objeto de aprendizagem, levando progressivamente à construção de conceitos e proposições que facilitem o processo de aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 170).

4.1.3 Materiais instrucionais potencialmente significativos

Segundo Moreira, os materiais instrucionais desenvolvidos ao longo do processo de ensino devem possuir relação direta com os conceitos presentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 1999, p. 155-156). Dessa forma, a aprendizagem significativa, além de basear-se nos conhecimentos prévios do aprendiz, considera a utilização de materiais instrucionais que resgatem estes conhecimentos, levando à construção de proposições, ampliando a compreensão do aprendiz no processo de aprendizagem. Materiais com esta propriedade utilizam-se dos mais variados meios para a ativação dos subsunçores necessários para o aprendizado, imagens, gráficos, tabelas, esquemas, diagramas e mapas são alguns exemplos que ilustram recursos, que quando bem explorados, tornam o material adequado.

Outrossim, destacamos a motivação do aprendiz em participar de forma substantiva do processo de ensino, desenvolvendo os materiais instrucionais de forma a evitar excesso de memorização, inviabilizando tanto o processo didático quanto a aprendizagem (MOREIRA, 1999, 156). Dessa forma, o material instrucional cumpre papel importante na aprendizagem significativa, porém o aprendiz deve extrair ao máximo as potencialidades destes materiais viabilizando o processo.

4.1.4 Experimentação e Ensino Significativo

Como apresentado anteriormente, a teoria cognitivista de Ausubel baseia-se no encadeamento lógico e na inter-relação dos conceitos prévios presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, de modo que o objeto de aprendizado deve ser estruturado a partir de materiais instrucionais potencialmente significativos. Nesse contexto, é necessário que o professor elabore uma estratégia de transposição didática capaz de relacionar os conceitos previamente existentes com aqueles a serem desenvolvidos. No âmbito desta pesquisa, adotamos a execução de atividades experimentais como estratégia de transposição didática cujo objetivo é resgatar os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa ao mesmo tempo romper com o tradicional ensino verbalizado. Segundo Siqueira:

A física é caracterizada por um conjunto de leis e teorias capazes de explicar, de modo satisfatório, e dentro de certos limites, os fenômenos naturais que governam nosso mundo e o próprio universo. Muitas destas leis e teorias possuem um caráter rebuscado, difícil de serem compreendidas pela maioria dos estudantes do Ensino Médio que estão acostumados ao ensino de ciências verbalizado, restrito à resolução de problemas clássicos ou limitado pela utilização de materiais impressos (SIQUEIRA, 2021, p. 53).

Assim, o aprendiz, além de desenvolver os diversos materiais instrucionais abordados na sala de aula, terá a chance de construir e analisar o funcionamento de circuitos elétricos básicos, resgatando diversos conceitos aprendidos em séries anteriores, como também aqueles da série atual. Sendo assim, a experimentação, como ferramenta de materialização do conhecimento, funciona como elemento facilitador da aprendizagem. Nesse contexto, as atividades experimentais idealizadas no produto educacional permitem que o aprendiz desenvolva os novos conceitos relacionados com a física dos materiais semicondutores de modo a integralizar as propriedades elétricas dos componentes passivos com aquelas observadas nos componentes ativos, ao mesmo tempo romper a dicotomia presente no ensino das ciências que leva o estudante a acreditar que teoria e prática experimental são elementos dissociados (SIQUEIRA, 2021, p. 54).

Tal integralização, além de estar de acordo com os pressupostos da teoria ausubeliana, permite que o aprendiz compreenda as principais diferenças funcionais dos circuitos elétricos constituídos por elementos ativos, ampliando a percepção do aprendiz acerca das aplicações tecnológicas da eletricidade, limitada à análise de circuitos resistivos e capacitivos. Nesse sentido, o estudante deverá ser capaz de apropriar-se dos diversos conceitos apresentados ao longo da aplicação do produto educacional para construir um circuito medidor de nível de água, sendo capaz de analisar, sugerir melhorias e responder perguntas discursivas sobre o seu funcionamento.

Devemos destacar que as atividades experimentais idealizadas no produto educacional baseiam-se em roteiros fechados, de modo que o aprendiz terá à sua disposição um guia capaz de relacionar os componentes eletrônicos, os objetivos básicos do experimento ao mesmo tempo resgatar os conceitos fundamentais necessários para a análise funcional do circuito (SIQUEIRA, 2021, p. 50 *apud* BORGES, 2002, p. 298). Sendo assim, o roteiro será estruturado como material instrucional potencialmente significativo permitindo que o aprendiz, além de ser instruído em seus objetivos, resgate os conceitos prévios e subsequentes para a efetivação da atividade. Nesse sentido, Siqueira destaca:

Dentro desta perspectiva instrucional baseada na experimentação como mecanismo auxiliar de materialização dos conceitos apresentados aos estudantes, buscamos suprimir os aspectos relacionados à mera e simples memorização do conhecimento, valorizando a retenção significativa dos conteúdos desenvolvidos” (SIQUEIRA, 2021, p. 49).

4.2 Aprendizagem e Sociointeração

Segundo Lev Vygotsky, a aprendizagem efetiva-se a partir das diferentes relações sociais, culturais, históricas e afetivas nas quais o aprendiz está inserido (MOREIRA, 1999, p. 109). Dessa forma, segundo esta perspectiva, o mecanismo de aprendizado não depende apenas dos aspectos biológicos ou das diferentes fases de desenvolvimento do indivíduo, mas está relacionado à forma como o aprendiz relaciona-se com seu meio de convivência. Nesse contexto, destaca-se a importância das relações sociais para o desenvolvimento dos processos mentais superiores do aprendiz (MOREIRA, 1999, p. 110 *apud* Driscoll, 1995, p. 229). Segundo Evangelista:

[...]pode-se dizer que a perspectiva sociocultural que faz relações com o funcionamento mental humano nas questões culturais, históricas e cotidianas que o rodeia. Logo, essa perspectiva tem como base a ideia de que a aprendizagem ocorre principalmente em processos de relações sociais, com a ajuda de pessoas mais experientes, podendo ser um aluno mais experiente, um professor ou até mesmo um engenheiro, médico, programador entre

outros, conforme a necessidade pedagógica (EVANGELISTA e CHAVES, 2019, p. 180).

É importante destacar que a sociointeração deve estar relacionada a mecanismos de mediação, pelos quais, por meio da apresentação de símbolos, o aprendiz desenvolve sua estrutura cognitiva, levando à estruturação de suas funções mentais superiores. Dessa forma, Vygotsky destaca como símbolos *indicadores*, relacionados à ideia de causa e efeito, *icônicos*, que representam fielmente aquilo que fazem referência e *simbólicos*, relacionados a conceitos abstratos (MOREIRA, 199, p. 111). Sendo assim, o produto educacional desenvolvido neste trabalho, apropriou-se dos paradigmas desenvolvidos por Vygotsky como estratégia de aprendizagem baseada no conceito de símbolos.

Nesse contexto, as atividades experimentais idealizadas priorizam a interação e a troca de experiências entre os estudantes que, em geral, apresentam diferentes níveis de aprendizado, histórias e trajetórias educacionais. Sendo assim, cada atividade será realizada por um grupo de estudantes que dividirá tarefas ao longo da execução da atividade objetivando a troca de conhecimento potencializando as relações propostas por Vygotsky. Destacamos que a utilização de instrumentos para interação do aprendiz com os signos é fundamental para a efetivação do processo de aprendizagem, sendo estes potencializados nos materiais instrucionais e nos roteiros de atividades. Para Evangelista e Chaves (2019):

Para que a mediação seja uma boa ferramenta no desenvolvimento do sujeito, é necessário o uso de conectores que sirvam como ponte entre o indivíduo e o meio em que ele vive. O professor como o sujeito mais capaz auxilia no uso das atividades experimentais, colocando os instrumentos e auxiliando na explicação dos signos vinculados à estes. Para tanto, se permitiu a organização em pequenos grupos na sala de aula, onde o docente apenas auxiliava na explicação de algumas dúvidas que surgiam do diálogo entre os discentes (EVANGELISTA e CHAVES, 2019, p. 181).

Ao longo da sua história, a humanidade utilizou-se dos mais diversos tipos de instrumentos, símbolos e sistemas de símbolos (MOREIRA, 1999, p. 111), o que tem impulsionado a pesquisas no campo da aprendizagem, buscado, na teoria de Vygotsky, elementos cada vez mais profundos, permitindo o desenvolvimento de técnicas didáticas que potencializam o aprendizado baseado no sociointeracionismo. Diferente de Ausubel, que focaliza o indivíduo como elemento de análise, Vygotsky procura compreender o contexto no qual o indivíduo está inserido e a própria dinâmica do indivíduo neste contexto. Dessa forma, o produto educacional desenvolve ambas as perspectivas com o objetivo de consolidar a aprendizagem.

4.2.1 Atividades experimentais para Vygotsky

Semelhantemente à teoria ausubeliana, Vygotsky destaca a importância da formação de conceitos no processo de aprendizagem. Por meio de seus estudos, realizados com indivíduos de todas as faixas etárias, pode concluir que a formação de conceitos de forma organizada, ocorre no início da puberdade, de modo que antes desta fase do desenvolvimento humano, o indivíduo apresenta os primeiros traços, ou funções mentais, daquilo que permitirá no futuro a construção e organização de conceitos (MOREIRA, 1999, p. 118).

Sendo assim, a puberdade marca o início da formação de conceitos, hierarquização e amadurecimento das funções mentais. Por essa razão, considerando o público alvo desta pesquisa, o desenvolvimento da física dos semicondutores sob o prisma do sociointeracionismo reverbera os pressupostos teóricos da teoria de Ausubel, levando à complementação das teorias. Dessa forma, além de potencializarmos a formação dos conceitos necessários para a aprendizagem da física dos semicondutores, por meio da retenção significativa, utilizaremos o contexto social para ampliar essa possibilidade. Para Evangelista e Chaves (2019):

[...] o ensino de ciências, mais do que reproduzir experimentos ou copiar práticas, é uma aproximação do mundo real (contexto, cotidiano e teoria), analisando os fenômenos, integrando e interagindo para produzir conceitos (EVANGELISTA e CHAVES, 2019, p. 195).

Corroborando com os autores citados, as atividades experimentais direcionadas pelo produto educacional aplicado neste trabalho tem por objetivo desenvolver, potencializar e organizar os conceitos associados à física dos materiais semicondutores tornando o estudante capaz de apropriar-se do ferramental teórico para a análise funcional de circuitos a diodos e transistores. Essa perspectiva de aprendizagem permite que o estudante não reproduza apenas as informações contidas no roteiro de atividade, ou que seja um mero expectador no processo de aprendizagem, mas que interaja ativamente tornando-se protagonista neste processo. Além disso, segundo Santos (2018):

As atividades experimentais na perspectiva teórica de Vygotsky têm duas importantes vantagens em relação a outras práticas pedagógicas relativas à abordagem dos conteúdos, sendo as principais a possibilidade de seleção de experimentos que surpreendam os alunos e a priorização dos conteúdos cuja concretização é de maior utilidade (SANTOS, 2018, p. 17).

Nesse sentido, a construção e análise de circuitos eletrônicos corrobora com o pensamento de Vygotsky que destaca a importância da relação entre a teoria a ser aprendida, o processo experimental, o tipo de atividade a ser desenvolvida, o sentido prático que esta atividade desempenha no dia a dia do aprendiz, a viabilidade da atividade, que congrega a

possibilidade de reunir materiais adequados e o tempo necessário para a efetivação das atividades (SANTOS, 2018, p. 17). Dessa forma, as atividades experimentais desenvolvidas nesta pesquisa incorporam o pensamento da teoria vygotskyana, sendo um meio estratégico para a consolidação da aprendizagem.

Além de configurar uma estratégia de aprendizagem, a construção de circuitos eletrônicos representa um mecanismo pelo qual o aprendiz, inicialmente localizado na zona de desenvolvimento proximal, pode resolver problemas de forma autônoma, ou seja, sem o auxílio do professor ou dos colegas de grupo. Ao mesmo tempo, à medida que as atividades tornam-se mais complexas, exigindo maior interação do aprendiz com seus colegas de atividade e com o professor, torna-se possível transpor a zona proximal, levando ao desenvolvimento real do aprendiz. Nesse contexto, de forma concomitante o papel mediador do professor é constante, reforçando os conceitos necessários para a aprendizagem. Segundo Santos (2018):

A aprendizagem não acontece de forma instantânea no momento em que os novos conceitos são expostos ao indivíduo. É necessário que estes novos conceitos sejam explorados e trabalhados de forma constante e em interação social através do mediador (neste caso o professor) que é o parceiro mais capaz (SANTOS, 2018, p. 16).

Considerando os objetivos desta pesquisa, a realização das atividades experimentais ocorrem com constante reforço conceitual onde a teoria será abordada por meio da interação existente entre o professor e os membros do grupo, valorizando o desenvolvimento da zona proximal levando o aprendiz a desenvolver suas potencialidades e habilidades tornando seu aprendizado duradouro e natural (SANTOS, 2018, p. 15-16). Ao mesmo tempo, por meio das atividades propostas, e do reforço conceitual, será incentivada a criatividade do aprendiz com o objetivo de desenvolver os métodos e aplicações do conhecimento científico para a solução de problemas.

Para Barbosa e Batista (2018) é importante destacar que *“no âmbito escolar e disciplinar, a criatividade do estudante, quando requerida, também depende do modo de ver e pensar da Ciência bem como de sua linguagem”* (BARBOSA e BATISTA, 2018, p. 7). Nesse sentido, considerando as características do fazer científico próprios da física, seus signos e significados, as atividades realizadas nesta pesquisa são de criatividade-reprodutora, uma vez que o aprendiz deve apropriar-se dos signos e significados presentes na física dos semicondutores com o objetivo de construir, analisar e inferir soluções durante as atividades experimentais. Sendo assim, priorizamos a criatividade reprodutora do aprendiz, que segundo Barboza e Batista (2018):

Assim, essa expressão que reproduz, mas que também cria, resulta da apreensão significativa dos conceitos e ideias da Física, contexto em que o estudante é capaz de aplicar tais conhecimentos a outros contextos ou situações e/ou quando utiliza a própria linguagem para explicar um aspecto físico presente em determinado objeto de estudo (BARBOZA e BATISTA, 2018, p. 8).

Sendo assim, o estímulo à criatividade proposta neste trabalho, além de corroborar com os princípios vygotskianos permite ao aprendiz transitar entre a realidade concreta, por meio da sua capacidade de abstrair problemas, situações ou contextos a partir do objeto de aprendizagem e o universo conceitual. Para a criatividade-reprodutora, Barboza e Batista (2018) destacam:

Essa dimensão é criativa porque no nível intrapsicológico ocorre um processo em que o estudante se distancia da realidade concreta por meio da abstração proporcionada pelo pensamento em conceitos, ao mesmo tempo em que a imaginação combina diversos elementos da experiência concreta de uma forma criativa, o que resulta em novas estruturas (BARBOZA e BATISTA, 2018, p. 8).

A partir dos paradigmas presentes nas teorias de Ausubel e Vygotsky o produto educacional, alvo desta pesquisa, cumpre seu objetivo de desenvolver as diversas potencialidades do aprendiz tornando-o capaz de entender, analisar e localizar os diferentes componentes semicondutores no campo da aplicação tecnológica.

5 DESCRREVENDO O PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo, descrevemos o produto educacional, seus objetivos como instrumento de ensino, seus elementos constituintes e como este deve ser aplicado segundo a perspectiva do autor. Será destacada a organização pedagógica de cada aula, a aplicação das atividades experimentais como meio estratégico e discutidos os textos de apoio didático que visam fornecer para o docente os elementos teóricos necessários para o desenvolvimento da física dos semicondutores.

5.1 Sequência Didática

A sequência didática representa um dos mais tradicionais e importantes recursos didáticos utilizados no campo educacional. Representa um meio pelo qual o professor desenvolve seu trabalho de forma planejada e coordenada com vistas a alcançar seus objetivos instrucionais desenvolvendo nos estudantes competências e habilidades específicas. De forma geral a sequência didática apoia-se na tríade planejamento, aplicação e avaliação (UGALDE e ROWEDER, 2020, p. 3 *apud* ZABALA, 1998, p. 54). A fase de planejamento envolve a organização dos conteúdos, as formas de aplicá-los, as estratégias dialógicas entre professor e estudante, as atividades a serem desenvolvidas e o tempo gasto em cada etapa de aplicação.

Por sua vez, a fase de aplicação envolve a realização das etapas planejadas de forma sistêmica obedecendo à ordem à qual se apresentam. Esta etapa exige do professor atenção e capacidade para transpor eventuais dificuldades. É nesta fase que o professor coleta dados e informações que permitirão, ao final do processo, determinar se os objetivos anteriormente estabelecidos foram alcançados. É importante destacar que nesta fase o professor deve intervir de forma dialógica, não impositiva, de modo que as atividades possam fluir de modo natural, permitindo que a sequência didática cumpra seu papel como elemento instrucional-didático e não como um manual rígido.

Por fim, a fase avaliativa constitui-se no momento que o professor, por meio de seus instrumentos avaliativos previamente escolhidos na fase de planejamento, dimensiona o aprendizado dos estudantes permitindo assim concluir o êxito da proposta educacional. Essa fase permite incitar reflexões acerca da estrutura, conteúdos e atividades aplicadas, permitindo ao professor aprimorar sua sequência didática, suprimindo práticas, repensando atividades ou redefinindo objetivos. A avaliação, baseada nas atividades desenvolvidas e nos conteúdos,

deve ser um elemento potencializador da aprendizagem sendo um instrumento capaz de contribuir para novas práticas. Para Ugalde e Roweder (2020).

As atividades organizadas em sequência didática, se bem planejadas, trazem propostas ricas para se desenvolver em sala de aula, possibilitando ao professor apreender o conhecimento prévio do aluno, seu desempenho, além de visualizar o que ainda precisa ser trabalhado para que se concretize a aprendizagem (UGALDE e ROWEDER, 2020, p. 11) .

Para Ugalde e Roweder (2020) a sequência didática constitui-se num ‘minicurso’ o que difere este instrumento dos já conhecidos planos de ensino em virtude de sua complexidade e extensão não sendo apenas um documento, mas um material didático. Nesse contexto, é importante destacar o valioso papel das sequências didáticas no aprendizado dos estudantes tornando-o mais efetivo, ao mesmo tempo atendendo às suas necessidades (CASTRO, 1976, p. 55). De forma essencial, uma sequência didática deve contemplar, de forma estruturada, os conteúdos a serem desenvolvidos, levando o estudante ao aprendizado de forma fluida e contínua.

Outra questão importante, que deve ser considerada na preparação de uma sequência didática, é a problematização em torno do conteúdo central da sequência. Ou seja, não basta apenas elencar conteúdos e planejar sua exposição, é necessário contextualizar estes conteúdos por meio de atividades que instiguem, ‘provoquem’ e estimulem o estudante tornando-o cada vez mais envolvido no processo de aprendizagem. Nessa perspectiva, a sequência didática mostra-se como poderoso produto permitindo um grande espectro de aplicações nos mais diferentes níveis de ensino. Segundo Ugalde e Roweder (2020):

[...] a sequência didática além de contribuir para a reflexão da prática do cotidiano da sala de aula, por meio da observação do seu desenvolvimento e da interação professor-aluno, aluno-aluno, é um instrumento que deve ser desenvolvido, considerando a perspectiva do ensino de conteúdos por meio de atividades sequenciadas, organizadas, com objetivos bem delimitados e explicados para professores e alunos. Tais atividades devem auxiliar no processo de ensino-aprendizagem e na construção de novos saberes e conhecimento (UGALDE e ROWEDER, 2020, p. 10 *apud* ZABALA, 1998 e OLIVEIRA, 2013).

Nesse sentido, optamos pela construção de uma sequência didática como produto educacional considerando as potencialidades anteriormente discutidas. Nas seções subsequentes deste capítulo será detalhada a sequência didática, alvo desta pesquisa, com ênfase à sua constituição, organização pedagógica e aplicação.

5.2 Estrutura e Elementos Pedagógicos

A sequência didática aplicada nesta pesquisa está dividida em seis aulas com duração de 60 minutos, cada qual desenvolvendo elementos importantes do conteúdo que é apresentado de forma dialógica mediado por atividades experimentais baseadas na construção de circuitos eletrônicos. Cada aula é composta pelo planejamento pedagógico, que organiza e orienta a prática docente, por um texto didático de apoio para o professor, que tem por objetivo garantir ao docente elementos teóricos básicos da teoria dos semicondutores em virtude da supressão deste tema nos livros didáticos e por uma atividade experimental que concentra os conceitos desenvolvidos na aula. A seguir, analisamos cada uma das aulas que compõem o produto educacional detalhando sua organização e aspectos didáticos.

5.2.1 Estrutura e desenvolvimento da aula 1

- Aspectos pedagógicos

Quadro 1 — Organização pedagógica da aula 1.

Elementos pedagógicos	Descrição
Apresentação do tema	Nesta etapa inicial da aula consideramos importante que o professor instigue o estudante recordando as principais diferenças entre os materiais condutores, semicondutores e isolantes. Ao mesmo tempo, o professor deve destacar o curioso comportamento dos semicondutores que apresentam propriedades intermediárias entre condutores e isolantes.
Conteúdo	Propriedades elétricas dos materiais.
Duração	A aula terá duração de 60 minutos.
Objetivo	Nesta aula, o professor deve-se discutir as diferentes propriedades elétricas dos materiais com ênfase no comportamento dos semicondutores levando a estudantes a compreender suas implicações tecnológicas.
Recursos	Projutor, quadro branco, mídias digitais.
	Consideramos importante que o professor exponha, através

Desenvolvimento	das diferenças existentes entre os componentes semicondutores e os componentes passivos (resistores, capacitores e etc) as características únicas dos semicondutores considerando os tipos de materiais usados na confecção de semicondutores e suas principais características funcionais.
Local de realização	Sala de aula
Habilidades (BNCC)	(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e como estas se relacionam com os fenômenos eletrostáticos.
Organização da sala	Formar grupos com até 6 estudantes.

Fonte: Autor, 2021.

- Texto de apoio para o professor

O texto apresentado tem por objetivo fornecer para o professor uma pequena revisão acerca das propriedades básicas dos materiais condutores, isolantes e semicondutores considerando apenas aspectos qualitativos. A discussão proporcionada pelo texto pode ser encontrada em livros didáticos, porém adicionamos elementos que permitem discussões específicas como o desenvolvimento de componentes eletrônicos levando à sofisticação da indústria e surgimento de novas tecnologias. Consideramos importante esta discussão, pois constitui-se num elemento motivador para o estudo da física dos semicondutores considerando a perspectiva desta pesquisa.

- Atividade experimental

Para a consolidação da aprendizagem propomos a construção de dois circuitos simples compostos por uma malha cada um, com o objetivo de mostrar para os estudantes o comportamento do diodo nas suas duas configurações, ou seja, polarizado direta e inversamente. Dessa forma, os estudantes perceberão que o diodo apenas conduz corrente elétrica quando diretamente polarizado. É importante destacar que os conceitos de polarização direta e inversa apenas serão discutidos na aula subsequente, de modo que o professor deve apenas mencionar a polarização do diodo de forma introdutória. O objetivo desta atividade experimental é analisar o funcionamento dos circuitos por meio do comportamento do diodo e

da lâmpada conectada ao circuito. A partir das observações feitas, os estudantes deverão responder, de forma concomitante ao experimento, o teste de conhecimentos conceituais e as perguntas discursivas presentes no roteiro de atividade. No quadro 2 listamos os materiais necessários para a efetivação da atividade experimental.

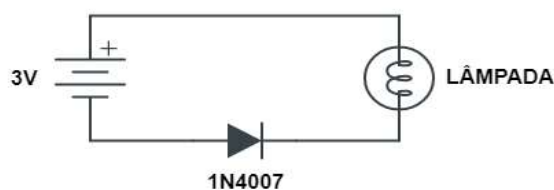
Quadro 2 — Materiais para a atividade experimental 1.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	01
Lampada pingo d'água	01
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02

Fonte: Autor, 2021.

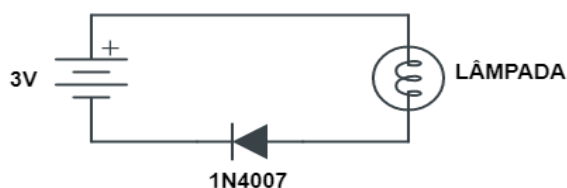
Os estudantes devem ser capazes de construir os circuitos das figuras 30 e 31, demonstrando habilidade para escolher os componentes, inter-conectá-los de forma correta e analisar seu funcionamento por meio da utilização correta do multímetro e dos princípios básicos da eletrodinâmica.

Figura 30 — Diodo polarizado inversamente.



Fonte: Gerado pelo próprio autor.

Figura 31 — Diodo polarizado diretamente.



Fonte: Autor, 2022.

5.2.2 Estrutura e desenvolvimento da aula 2

- Aspectos pedagógicos

Quadro 3 — Organização pedagógica da aula 2.

Elementos pedagógicos	Descrição
Apresentação do tema	Considerando a importância do contexto histórico no desenvolvimento científico e suas potencialidades associadas ao ensino das ciências, orientamos o professor a iniciar este momento destacando a história da eletricidade e dos semicondutores revelando como a obtenção destes materiais possibilitou a revolução da eletrônica. Ao mesmo tempo é importante introduzir os conceitos de semicondutor intrínseco e extrínseco discutindo o processo de dopagem e como este relaciona-se com a polarização inversa e direta do diodo.
Conteúdo	História dos semicondutores, propriedades e métodos de dopagem, conceitos de semicondutor intrínseco e extrínseco, polarização direta e inversa.
Duração	A aula terá duração de 60 minutos.
Objetivo	Revelar a história dos materiais semicondutores como um marco no desenvolvimento da ciência oriundo da contribuição de diversos atores como reflexo da busca por novas formas de tecnologias.
Recursos	Projektor, quadro branco, mídias digitais.
Desenvolvimento	Consideramos importante a construção de um ambiente dialógico no qual o professor e seus estudantes desenvolvam reflexões acerca da evolução científica no contexto histórico desmistificando a ideia de genialidade. Nesse sentido, a história deve ser abordada com ênfase em seus atores, problemas tecnológicos e descobertas concatenadas. Ao mesmo tempo, é importante desenvolver os conceitos de

	semicondutor intrínseco e extrínseco destacando como o semicondutor, por meio da diferença de portadores de carga tipo N (negativa) e P (positivas ou lacunas) permite o transporte destas cargas no material.
Local de realização	Sala de aula
Habilidades (BNCC)	(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e como estas se relacionam com os fenômenos eletrostáticos.
Organização da sala	Formar grupos com até 6 estudantes

Fonte: Autor, 2021.

- Texto de apoio para o professor

Neste texto de apoio encontram-se diversos elementos históricos acerca do estudo da eletricidade e dos semicondutores. Consideramos importante para o professor a reflexão sobre a construção histórica e fenomenológica da eletricidade uma vez que a maioria dos livros didáticos suprimem ou tratam esta temática de forma superficial. Foi elaborada uma linha temporal que inicia-se na Grécia antiga, passando pela idade média, idade moderna, terminado no início da segunda metade do século XX com o advento do transistor. Este texto não esgota as diversas fontes bibliográficas especializadas no tema, de modo que o professor pode enriquecer suas discussões adensando suas reflexões por meio de outras referências.

O texto segue conceituando semicondutores extrínsecos e intrínsecos destacando o processo de dopagem como técnica básica para a obtenção de materiais semicondutores. São ilustrados os processos de dopagem por meio da injeção de impurezas no silício, gerando excesso de cargas negativas (elétrons) para a dopagem por arsênico e cargas positivas (lacunas) para a dopagem com índio.

- Atividade experimental

A atividade experimental desenvolvida nesta aula tem como objetivo mostrar para o estudante a possibilidade de utilização do diodo como válvula direcional, capaz de atuar de forma lógica permitindo comandar o acionamento de diferentes componentes elétricos num mesmo circuito. Sendo assim, os estudantes devem ser capazes de construir e interpretar o

circuito da figura 32, ao mesmo tempo responder ao teste de conhecimentos conceituais e às perguntas discursivas propostas.

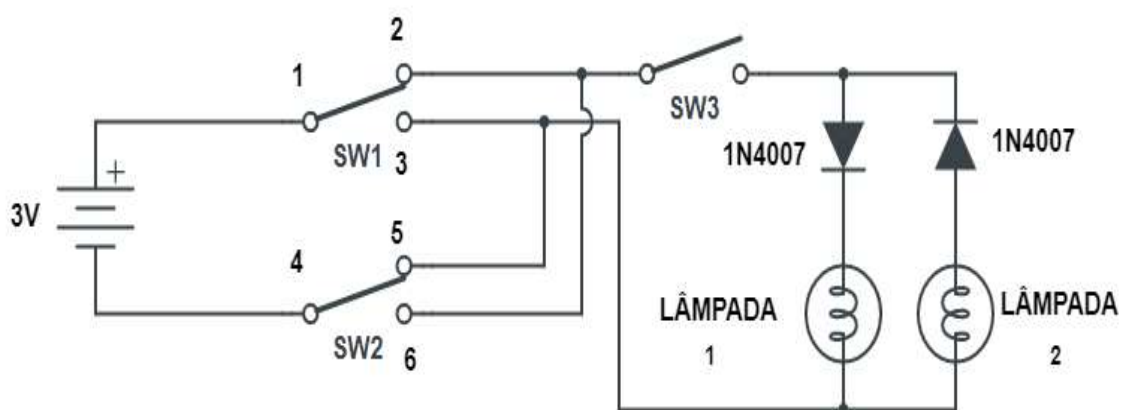
Quadro 4 — Materiais para a atividade experimental 2.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02
Lampada pingo d'água	02
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02
Chave gangorra liga/desliga	01
Chave comutadora	02

Fonte: Autor, 2021.

Os estudantes devem apropriar-se de forma correta dos componentes eletrônicos disponibilizados e instrumentos analisando o funcionamento do circuito. Este circuito representa a primeira utilização combinada de diodos que permite estender a capacidade de aplicação dos componentes semicondutores.

Figura 32 — Circuito comutador.



Fonte: Autor, 2022.

5.2.3 Estrutura e desenvolvimento da aula 3

- Aspectos pedagógicos

Quadro 5 — Organização pedagógica da aula 3.

Elementos pedagógicos	Descrição
Apresentação do tema	Orientamos o professor a enfatizar os mecanismos de condução nos semicondutores destacando o comportamento dos portadores de carga próximos à junção do semicondutor de modo a subsidiar, ao longo do desenvolvimento da aula, questionamentos relacionados com a teoria de bandas eletrônicas e com o conceito de zona de depleção.
Conteúdo	Fluxo de portadores de cargas no diodo, zona de depleção, condução elétrica e teoria de bandas eletrônicas.
Duração	A aula terá duração de 60 minutos.
Objetivo	Levar o estudante a entender o comportamento da zona de depleção considerando o fluxo de portadores de carga no diodo, relacionando com a polarização do diodo e com a teoria de bandas eletrônicas.
Recursos	Projektor, quadro branco, mídias digitais.
Desenvolvimento	O professor deve desenvolver o conceito de fluxo de portadores de carga resgatando os princípios elementares da eletrostática partindo dos fenômenos de atração e repulsão de cargas. Este é o ponto de partida para desenvolver a noção de camada ou zona de depleção, fundamental para o estudante compreender os fenômenos de transporte associados à polarização direta e inversa do diodo. Considerando a dinâmica da zona de depleção e como esta explica a condução elétrica no diodo, orientamos o professor a discutir, de forma subsequente, a teoria de bandas eletrônicas ressignificando o conceito ideal de corrente elétrica.

Local de realização	Sala de aula
Habilidades (BNCC)	(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e como estas se relacionam com os fenômenos eletrostáticos.
Organização da sala	Formar grupos com até 6 estudantes

Fonte: Autor, 2021.

- Texto de apoio para o professor

O texto apresentado destaca o diodo semicondutor como componente eletrônico ideal composto por duas camadas semicondutoras, ao mesmo tempo enfatiza o mecanismo de condução elétrica baseado no conceito de camada, ou zona de depleção, conceito importante que permite relacionar as diferentes polarizações do diodo com o seu comportamento elétrico. O texto desenvolve, de forma didática, a teoria de bandas eletrônicas permitindo ao professor explorar este conceito de forma objetiva levando o estudante a compreender o mecanismo de condução elétrica a partir do deslocamento de cargas elétricas entre as camadas e subcamadas atômicas permitindo explicar as principais diferenças entre os condutores, semicondutores e isolantes.

- Atividade experimental

Nesta atividade, propomos a construção e análise de um circuito controlador de potência com o objetivo de mostrar para o estudante as diferentes possibilidades funcionais do diodo, que pode ser utilizado para controlar e proteger o funcionamento de receptores elétricos, no caso, um motor de corrente contínua. O estudante deve ser capaz de construir o circuito da figura 4, ao mesmo tempo compreender como a potência do motor é modificada por meio do acionamento das chaves SW1 e SW2.

O estudante também deve responder corretamente às perguntas objetivas e discursivas presentes no roteiro de atividade, empregando de forma correta os componentes e instrumentos disponibilizados. Esta atividade encerra o estudo do diodo clássico permitindo ampliar o estudo dos semicondutores, destacando o transistor bipolar de junção por meio dos conceitos até então discutidos.

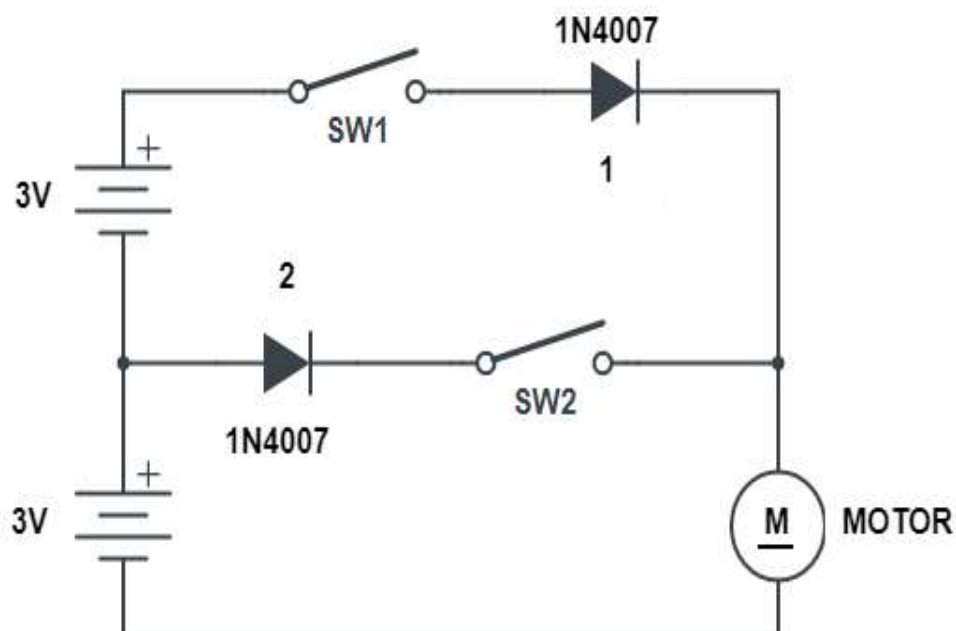
Quadro 6 — Materiais para a atividade experimental 3.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02
Motor de corrente contínua	01
Suporte para pilhas	02
Pilhas alcalinas de 1,5V	04
Chave gangorra liga/desliga	02

Fonte: Autor, 2021.

O circuito da figura 33 permite exemplificar como o diodo pode ser utilizado para construir redes lógicas de funcionamento, possibilidade não demonstrada por outros componentes mais simples, como o resistor. Dessa forma, o estudante pode verificar a importância do diodo na construção e funcionamento de sistemas de operações lógico-programáveis.

Figura 33 — Circuito controlador de potência.



Fonte: Autor, 2022.

5.2.4 Estrutura e desenvolvimento da aula 4

- Aspectos pedagógicos

Quadro 7 — Organização pedagógica da aula 4.

Elementos pedagógicos	Descrição
Apresentação do tema	Consideramos importante que o professor inicie sua exposição indagando os estudantes sobre a possibilidade de existirem outros tipos de componentes semicondutores. Em seguida deve responder à pergunta e apresentar o transistor considerando que sua estrutura e funcionamento derivam do diodo clássico permitindo que os estudantes resgatem os conceitos anteriormente estudados. O professor deve fazer uma revisão apresentando a curva característica do diodo e como esta curva demonstra o funcionamento do diodo em suas diferentes polarizações.
Conteúdo	Curva característica do diodo, Transistor bipolar de junção, Tipos de transistor e polarização, Funcionamento e aplicações do transistor.
Duração	A aula terá duração de 60 minutos.
Objetivo	Levar o estudante a compreender o funcionamento do transistor através dos conceitos e propriedades do diodo clássico, permitindo analisar o processo de amplificação de sinais, característico do transistor.
Recursos	Projektor, quadro branco, mídias digitais.
Desenvolvimento	Recomendamos que o professor inicie sua discussão por meio da apresentação da curva característica do diodo, permitindo assim acumular os diversos conceitos relacionados ao diodo e seu funcionamento. Em seguida orientamos o professor a apresentar a transistor bipolar por meio da analogia que considera o transistor uma junção formada por dois diodos

	com o objetivo de subsidiar o entendimento, ao mesmo tempo destacando os terminais do transistor, suas localizações e terminologias. Em seguida, o professor deve explicar os mecanismos de condução elétrica presentes no transistor com ênfase na capacidade do componente de amplificar sinais elétricos. É importante que o professor considere as diferentes possibilidades de polarização dos terminais base, coletor e emissor do transistor.
Local de realização	Sala de aula
Habilidades (BNCC)	(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e como estas se relacionam com os fenômenos eletrostáticos.
Organização da sala	Formar grupos com até 6 estudantes

Fonte: Autor, 2021.

- Texto de apoio para o professor

Considerando a inexistência de livros didáticos que abordem o estudo do transistor, elaboramos um texto capaz de suprir a demanda apresentada pelo produto educacional destacando a teoria de funcionamento do transistor com ênfase na utilização do componente como amplificador de sinais. Desta forma, apresentamos o transistor como componente obtido através da combinação de dois diodos como estratégia didática, ao mesmo tempo destacamos o transistor como componente de três acessos analisando seu comportamento funcional por meio das diferentes polaridades entre seus terminais, base, coletor e emissor. O transporte de cargas é abordado por meio das leis de Kirchhoff considerando os dois tipos de transistores clássicos NPN e PNP.

- Atividade experimental

Nesta atividade os estudantes devem construir o circuito da figura 34 que permite simular um pequeno circuito de chaveamento no qual cada lâmpada será acionada por meio das diferentes polaridades apresentadas pelos terminais do transistor. O estudante deverá, de forma concomitante, responder às perguntas discursivas durante a construção do circuito.

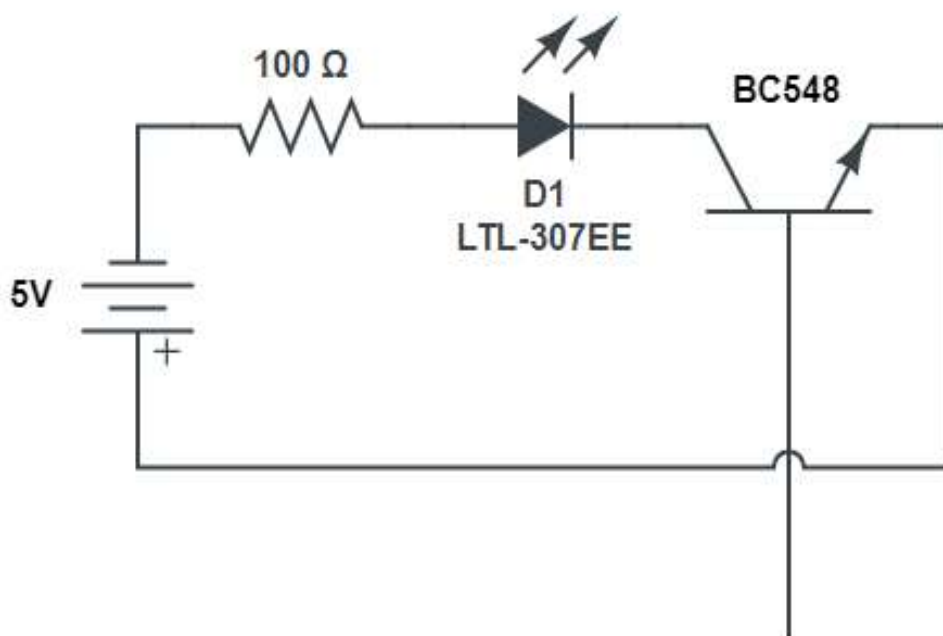
Quadro 8 — Materiais para a atividade experimental 4.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Resistor	02
Transistor	01
Lampada pingo d'água	02
Case para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02
Chave gangorra liga/desliga	01

Fonte: Autor, 2021.

O estudante deve verificar que ao acionarmos a chave SW1 a lâmpada irá acender enquanto a lâmpada 2, inicialmente ligada devido à própria configuração do circuito, apagará em função da polaridade estabelecida entre os terminais coletor e emissor do transistor que passam a conduzir corrente a partir da tensão estabelecida no terminal base.

Figura 34 — Circuito amplificador de sinais.



Fonte: Autor, 2022.

5.2.5 Estrutura e desenvolvimento das aulas 5 e 6

- Aspectos pedagógicos

Quadro 9 — Organização pedagógica das aulas 5 e 6.

Elementos pedagógicos	Descrição
Apresentação do tema	Recomendamos que o professor inicie a temática da aula destacando a importância de construir circuitos para resolver problemas tecnológicos. Nesse contexto o professor deve problematizar a situação a ser resolvida na aula, que consiste no dimensionamento, montagem e análise de um circuito medidor de nível de água por meio da utilização de resistores, diodos leds, fios e transistores, ligados a uma fonte geradora de tensão.
Conteúdo	Construção e análise de um circuito medidor de nível de água.
Duração	A aula terá duração de 120 minutos.
Objetivo	Levar o estudante a dimensionar, construir e analisar um circuito medidor de nível de água como instrumento de monitoramento do nível de água de reservatórios, integralizando todos os conceitos estudados até então.
Recursos	Projector, quadro branco, mídias digitais.
Desenvolvimento	Orientamos o professor a problematizar o monitoramento do nível de líquido numa caixa d' água destacando os problemas relacionados à falta ou extravasamento da água devido ao não monitoramento. O professor deve entregar os kits contendo os componentes e instrumentos necessários para a montagem do circuito. Ao mesmo tempo deve entregar o roteiro de atividades para os estudantes. Consideramos importante que o professor acompanhe o desenvolvimento da atividade aconselhando os estudantes na montagem, dirimindo possíveis dúvidas, instigando e incentivando.

Local de realização	Sala de aula
Habilidades (BNCC)	(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e como estas se relacionam com os fenômenos eletrostáticos.
Organização da sala	Formar grupos com até 6 estudantes

Fonte: Autor, 2021.

- Texto de apoio para o professor

O texto tem por objetivo gerar reflexão e discussão acerca da utilização de circuitos e sistemas automatizados para a solução de problemas e imperativos do nosso dia a dia. Buscamos neste texto, de forma didática, mostrar a importância educacional de atividades e projetos que priorizem a problematização por meio da discussão teórica aliada à construção de circuitos potencializando a educação ativa. Dessa forma, é apresentado o circuito medidor de nível de água como instrumento integralizador da aprendizagem, permitindo reunir todos os aspectos teóricos estudados nas aulas anteriores.

- Atividade experimental

A atividade consiste no dimensionamento, construção e análise funcional de um circuito medidor de nível de água, como ilustrado na figura 6. Os estudantes devem ser capazes de compreender a problemática associada à construção do circuito, apropriar-se dos componentes, construir o circuito e testar seu funcionamento, ao mesmo tempo responder às perguntas discursivas apresentadas no roteiro de atividades. Destacamos a importância da montagem correta do circuito evitando assim a queima de componentes, levando ao desperdício de tempo e materiais.

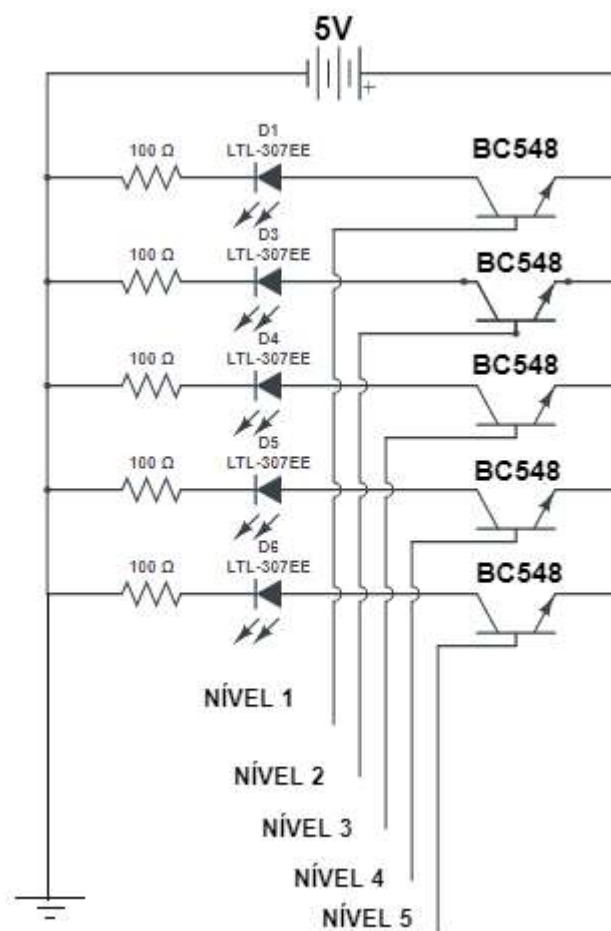
Nesse contexto, os estudantes devem demonstrar capacidade de interação com o objetivo de realizar a atividade em tempo hábil, conhecimento teórico para responder de forma correta às perguntas propostas e capacidade de propor melhorias ou solucionar eventuais problemas relacionados com a montagem do circuito. Ao final da atividade os estudantes são reunidos em seus respectivos grupos com o objetivo de demonstrar o funcionamento do circuito através da utilização de um béquer progressivamente preenchido com água. Deve ser observado o acendimento dos leds a cada nível de água alcançado, como indicado na figura 35.

Quadro 10 — Materiais para a atividade experimental 5.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo led 1N4007	05
Transistor	05
Resistor de 100Ω	05
Fio de cobre	2 metros
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	04
Béquer de 500ml	01

Fonte: Autor, 2021.

Figura 35 — Circuito medidor de nível de água.



Fonte: Autor, 2022.

Para a realização desta e das atividades anteriormente descritas, os estudantes são organizados em grupos de modo a cooperarem de forma coletiva, de acordo com os pressupostos teóricos desenvolvidos no capítulo 4, ao mesmo tempo, são montados e distribuídos kits (cujo custo de aquisição equivale a 62,87 para cada kit) compostos pelos componentes eletrônicos necessários. Estes kits são apresentados na imagem 1. Para a execução das atividades também são fornecidas ferramentas e materiais auxiliares como listados no produto educacional presente no apêndice A desta dissertação que também organiza, passo a passo, por meio de fotos, a montagem e análise dos circuitos, orientando o professor na condução de todas as etapas das atividades.

Imagem 1 — kits de componentes e materiais para execução das atividades.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Os kits são formados por diodos, transistores, leds, pilhas, suportes para pilhas, resistores, motores DC, lâmpadas pingo d'água, fios e por um multímetro. Devido ao baixo custo destes materiais, sua aquisição torna-se possível, permitindo a realização das atividades. Com o objetivo de dinamizar as aulas e economizar tempo, cada um dos componentes eletrônicos presentes nos kits, recebeu pequenas extensões de fios (*'rabichos'*, no jargão técnico) permitindo ao estudante simplesmente conectar os componentes por meio de seus fios, possibilitando a desmontagem rápida, evitando desperdício e a rápida correção de montagens executadas de forma incorreta.

6 APLICANDO O PRODUTO EDUCACIONAL

O processo metodológico de análise da aplicação do produto educacional, juntamente com os resultados obtidos, são descritos e interpretados neste capítulo. São introduzidos os parâmetros avaliativos que permitem determinar o aproveitamento dos estudantes no processo de aprendizagem, como também os fatores que justificam suas escolhas. Paralelamente, descreveremos de forma precisa as quatro ferramentas metodológicas que fundamentam esta pesquisa, sendo elas: o questionário sociopedagógico, a avaliação de conhecimentos prévios, a descrição aula a aula e a avaliação de conhecimentos adquiridos.

6.1 A Pesquisa em Educação

A pesquisa em educação vem ganhando densidade e diversificação temática nas últimas décadas, de modo que é preponderante a escolha de métodos adequados para a análise e interpretação de dados objetivando a produção de conhecimento (TEIXEIRA, 2015, p. 7-8). Nesse sentido, deve-se priorizar pesquisas que atendam aos diversos imperativos científicos e sociais que orbitam a seara da educação (TEIXEIRA, 2015, p. 8). Dessa forma, o método qualitativo-interpretativo, muito presente na pesquisa educacional, torna-se uma ferramenta importante uma vez que o pesquisador, além de reunir informação, pode interpretar os elementos constituintes e intervenientes no processo de ensino, propondo estratégias que sejam capazes de potencializar resultados.

Segundo Oliveira (1997) a pesquisa qualitativa não tem por objetivo quantificar ou reunir dados estatísticos com o objetivo de estudar determinado problema (OLIVEIRA S. 1997, p. 116). Sendo assim, o estudo qualitativo procura delimitar propriedades, características e outros parâmetros de interesse da pesquisa tornando possível interpretar determinado problema. Em contrapartida, a pesquisa quantitativa desenvolve métodos de coleta e análise de dados numéricos por meio de ferramentas estatísticas com o objetivo de subsidiar a análise e interpretação de fenômenos (OLIVEIRA S. 1997, p. 115). Dessa forma, considerando as potencialidades de ambos os métodos, utilizaremos nesta pesquisa as abordagens qualitativa-interpretativa e quantitativa uma vez que, no campo educacional, é necessário interpretar e quantificar, ao mesmo tempo, corroboramos com Oliveira (1997) *apud* Goode e Hatt (1968) que afirma: “a pesquisa moderna deve rejeitar como falsa dicotomia a separação entre estudos qualitativos e quantitativos ou entre ponto de vista estatístico e não estatístico” (OLIVEIRA S. 1997, p. 116, *apud* GOODE e HATT, 1968).

Dessa maneira, nesta pesquisa, ambos os métodos serão empregados de forma indistinta com o objetivo de determinar a viabilidade da aplicação do produto educacional como instrumento de ensino. Tal abordagem permite a aplicação de diferentes instrumentos de coleta e análise de dados, os quais, nesta pesquisa, estão divididos em (1) questionário sociopedagógico, (2) avaliação de conhecimentos prévios, (3) análise aula a aula e (4) avaliação de conhecimentos adquiridos. A seguir serão descritos estes instrumentos enfatizando a importância de cada um no contexto deste trabalho.

6.2 Questionário Sociopedagógico e Resultados

O processo metodológico inicia-se com a caracterização do público alvo desta pesquisa, formado pelos 35 estudantes do 3º ano T-01 da Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo, localizada no município de Arapiraca. Esta etapa caracteriza-se pela aplicação de um questionário composto por 20 perguntas de múltipla escolha nas quais os estudantes devem destacar pontos relacionados com sua condição socioeconômica, trajetória escolar e grau de motivação diante da perspectiva de trabalhar com atividades experimentais. Dessa forma, é possível prever as principais dificuldades possivelmente enfrentadas durante a ministração das aulas como também durante a realização dos experimentos propostos.

6.2.1 Aspectos socioeconômicos

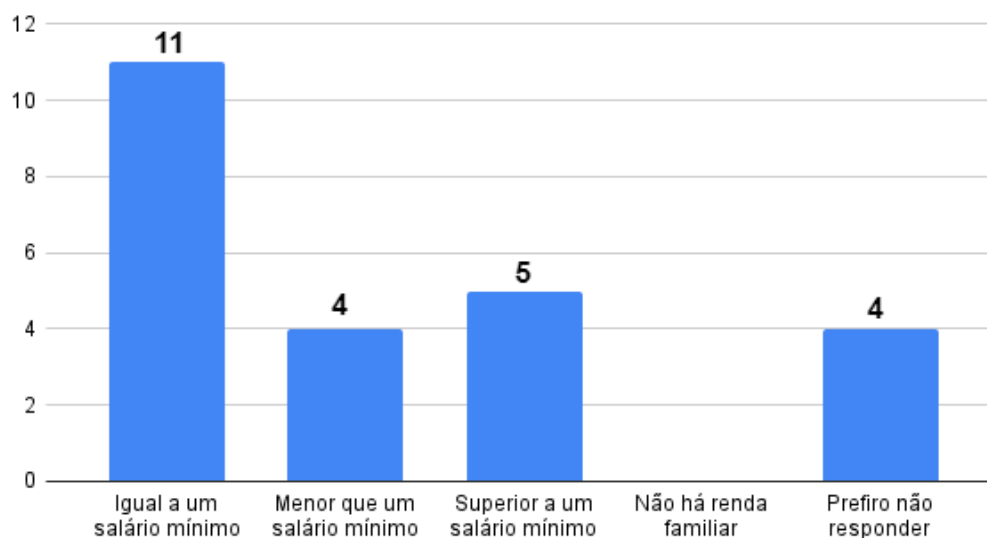
No tocante aos aspectos socioeconômicos procuramos mapear dados econômicos e familiares que possam impactar no processo de ensino e aprendizagem uma vez que as diferentes configurações econômicas vividas pelos estudantes refletem na sua assiduidade e suficiência escolar (GOMES, 2021, p. 1). Sendo assim, a primeira parte do questionário aborda pontos relacionados com a renda familiar, o número de pessoas que moram com o estudante, se o estudante exerce atividade remunerada, dentre outros aspectos⁶. Nesta fase, a interpretação qualitativa é coordenada por meio da construção de quadros e gráficos de barras cujo objetivo é destacar os principais resultados alcançados.

É importante mencionar que todos os estudantes alvo desta pesquisa acadêmica foram previamente consultados sobre sua participação no trabalho, a qual foi ratificada por meio da leitura e assinatura de termo de autorização de pesquisa. Para a pergunta 1 realizada, obtivemos o resultado apresentado no gráfico 1. É possível observar que a maioria dos participantes da pesquisa possui renda familiar igual a um salário mínimo, corroborando com os aspectos sociais próprios da comunidade escolar onde este trabalho foi realizado.

⁶ O questionário sociopedagógico (elaborado pelo próprio autor) encontra-se no apêndice C desta dissertação.

Gráfico 1 — Renda familiar dos estudantes.

1 - Qual sua renda familiar?

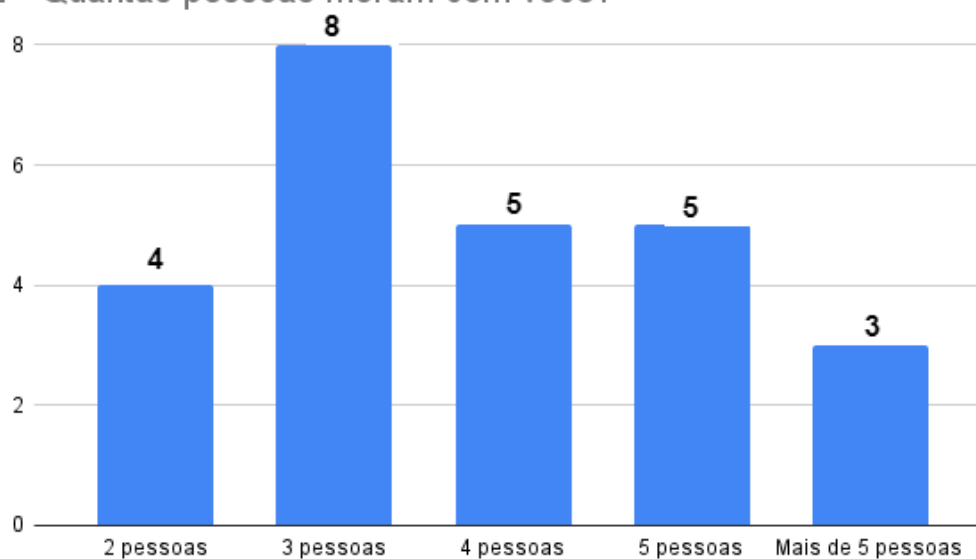


Fonte: Autor, 2022.

O gráfico 2 apresenta o resultado da pergunta 2 que busca determinar o número de moradores ou familiares que residem com os estudantes. Através desta informação, é possível determinar a renda média por morador. De acordo com o gráfico, a maioria dos estudantes reside com até três pessoas.

Gráfico 2 — Número de familiares residentes com os estudantes.

2 - Quantas pessoas moram com você?



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 3 — Número de estudantes que exercem atividade remunerada.

3 - Você trabalha?

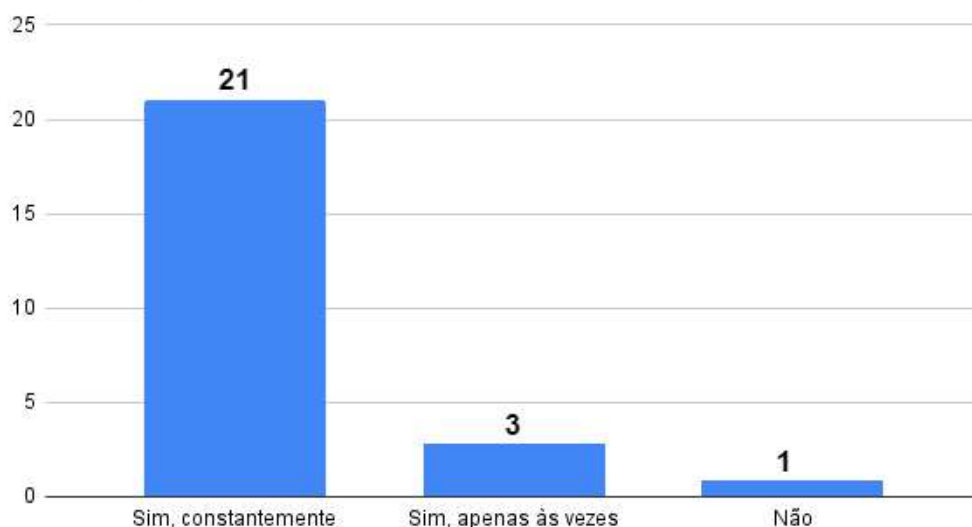


Fonte: Autor, 2022.

Outro ponto importante do contexto socioeconômico é o número de estudantes que exercem atividade remunerada. Observando o gráfico da pergunta 3, apenas três estudantes trabalham. Ao mesmo tempo, a pergunta 4 buscou analisar o nível de acesso à internet dos estudantes, de modo que a maioria possui acesso regular, como apresentado pelo gráfico 4.

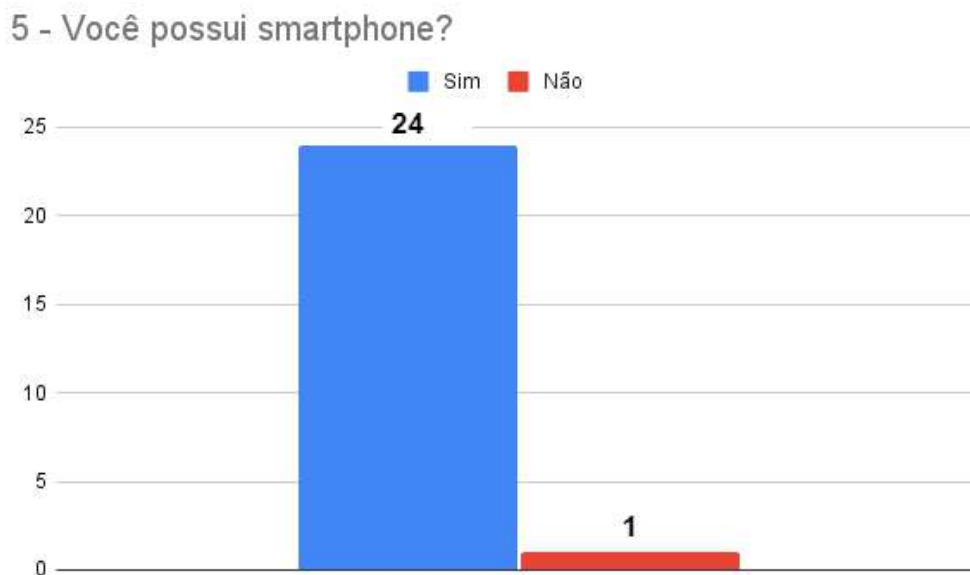
Gráfico 4 — Grau de inclusão digital.

4 - Você possui acesso à internet?



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 5 — Número de estudantes com smartphone.



Fonte: Autor, 2022.

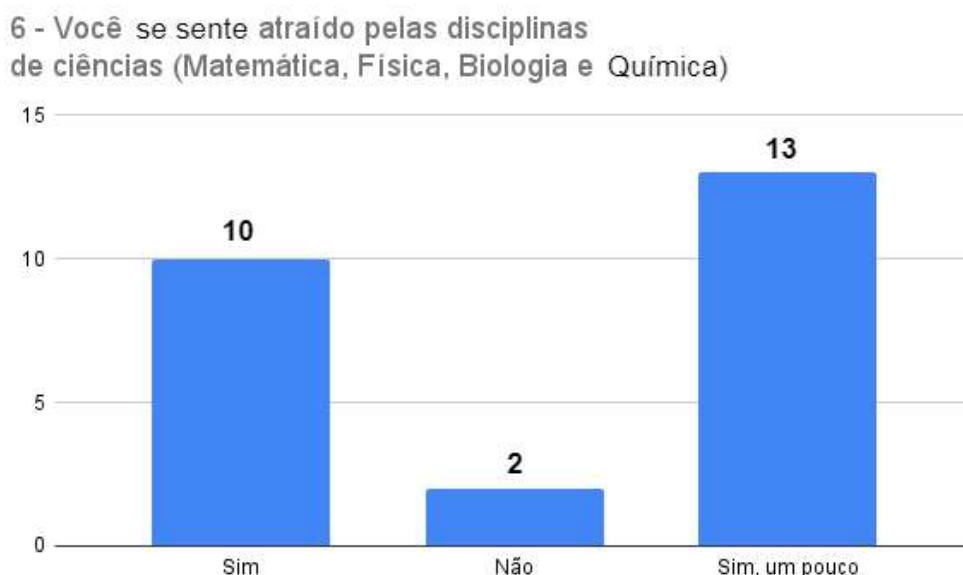
A pergunta 5 conclui o mapeamento da dimensão socioeconômica buscando determinar quantos estudantes possuem smartphone. Observando o gráfico 5, concluímos que a maioria dos estudantes possui smartphone, sendo este o principal meio tecnológico de informação e comunicação utilizado pelos estudantes. A partir dos dados reunidos nesta dimensão do questionário, podemos concluir que a renda mensal média dos estudantes equivale a 100,00 por membro da família, para a maioria dos estudantes, além destes não exercerem atividade laboral, possuindo acesso regular à internet. Diante destes resultados é possível concluir que os estudantes possuem condições mínimas de acesso, permanência e estabilidade para suas atividades escolares, sendo este um cenário facilitador no processo de aplicação do produto educacional.

6.2.2 Trajetória escolar

A trajetória escolar fornece aspectos importantes sobre o desenvolvimento do estudante, sendo possível, através desta análise determinar sua postura diante de diferentes propostas pedagógicas aplicadas (CARARA, 2016, p. 24). Dessa forma, o questionário procura determinar o número de reprovações do estudante, a frequência com que este é aprovado ou não por média, quais as principais dificuldades enfrentadas na vida escolar dentre outros aspectos que revelem sua história. Nesse contexto, o estudante é avaliado com o objetivo de permitir o aprimoramento da prática didática, que nesta pesquisa concentra-se na

exposição dialógica mediada por atividades experimentais. Sendo assim, julgamos importante conhecer as diferentes trajetórias dos estudantes com o objetivo de estabelecer formas adequadas de intervenção didática. Os gráficos 6 e 7 apresentam o interesse dos estudantes por ciências e o número de reprovações sofridas por estes.

Gráfico 6 — Nível de interesse dos estudantes por ciências.



Fonte: Autor, 2022.

Observando os gráficos 6 e 7, concluímos que a maioria dos estudantes possui algum interesse pelas disciplinas de ciências e baixa taxa de reprovação letiva.

Gráfico 7 — Número de reprovações dos estudantes.



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 8 — Número de estudantes que já abandonaram o ano letivo em curso.

8 - Você já abandonou o ano letivo por algum motivo?

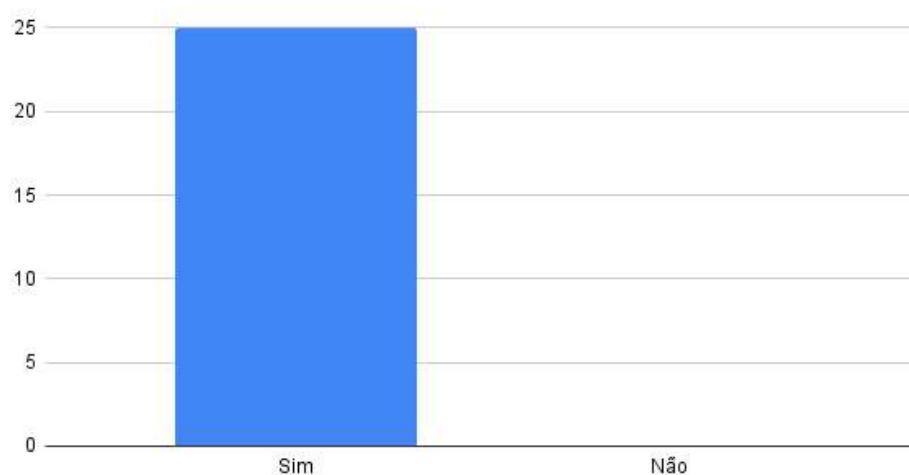


Fonte: Autor, 2022.

Já por meio dos gráficos 8 e 9 observa-se que os estudantes possuem elevada assiduidade escolar e elevado grau de consciência acerca do papel da escola junto à sociedade. Tal resultado demonstra que o público avaliado possui hábitos e comportamentos condizentes com a missão escolar.

Gráfico 9 — Número de estudantes que consideram a escola um locus importante.

9 - Você considera importante o papel da escola na sua formação como estudante e



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 10 — Nível de dificuldade enfrentado pelos estudantes para aprovação letiva.



Fonte: Autor, 2022.

Considerando os gráficos 10 e 11, observa-se que a maioria dos estudantes não apresenta dificuldades para concluir, por meio de aprovação direta, o ano letivo, apesar do número daqueles que afirmaram passar por dificuldades ao longo de sua trajetória. Percebe-se também que a maioria não costuma faltar às aulas, sendo mais um indicativo de assiduidade dos participantes da pesquisa.

Gráfico 11 — Grau de assiduidade dos estudantes às aulas.



Fonte: Autor, 2022.

Considerando os dados analisados acerca da trajetória escolar dos estudantes é possível inferir que a maioria destes possui consciência sobre o papel institucional da escola e da sua missão na formação de cidadãos aptos para a sociedade. Também é possível concluir que a maioria dos estudantes desenvolvem interesse pelas disciplinas de ciências, fator importante no contexto desta pesquisa. Ao mesmo tempo, fica evidenciado que a maioria dos estudantes são assíduos e participativos na rotina escolar.

6.2.3 Grau de motivação

Finalizando o questionário, buscamos determinar o grau de motivação e engajamento dos estudantes diante da proposta experimental em seus níveis comportamental, cognitivo e emocional (FARIA e VAZ, 2019, p. 4 *apud* FREDRICKS, BLUMENFELD e PARIS, 2004). Nesse sentido, dimensionamos o interesse dos participantes por meio de suas experiências vividas em anos anteriores em disciplinas onde a experimentação também é praticada. Ao mesmo tempo buscamos compreender o que os estudantes entendem por método experimental, qual sua importância e aplicabilidade na construção do conhecimento. Dessa forma, perguntamos inicialmente aos estudantes o que eles acham sobre atividades experimentais, se já desenvolveram atividades deste tipo em momentos anteriores, se acham os experimentos importantes para o aprendizado, dentre outros questionamentos. Observando o gráfico 12, conclui-se que todos os participantes apreciam a aplicação de experimentos durante as aulas.

Gráfico 12 — Experimentação como ferramenta estratégica de ensino.

12 - Você gosta de aulas onde o professor realiza experimentos?



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 13 — Importância da experimentação nas aulas.

13 - Você considera importante para seu aprendizado a realização de experimentos?

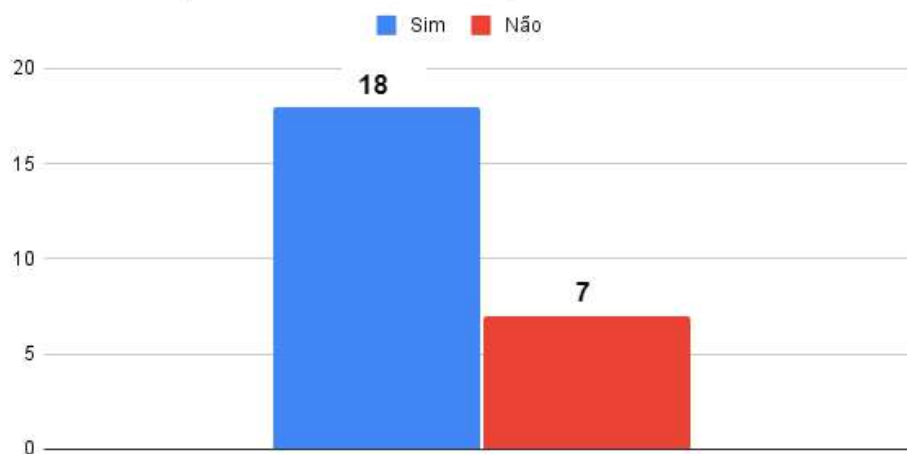


Fonte: Autor, 2022.

Também foi perguntado aos estudantes se estes consideram importante a realização de experimentos para a consolidação do aprendizado. Nesse sentido, o gráfico 13 mostra que todos os estudantes consultados consideram a experimentação importante no processo de ensino. Ao mesmo tempo, perguntamos se os estudantes já participaram de atividades envolvendo experimentos. Sendo assim, a partir do gráfico 14, observa-se que a maioria dos estudantes já desenvolveu alguma atividade experimental em sua trajetória.

Gráfico 14 — Participação em atividades experimentais.

14 - Você já participou de forma ativa de atividades experimentais durante alguma aula?



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 15 — Motivação dos estudantes na realização de experimentos.

15 - Você se sente motivado em realizar atividades experimentais?

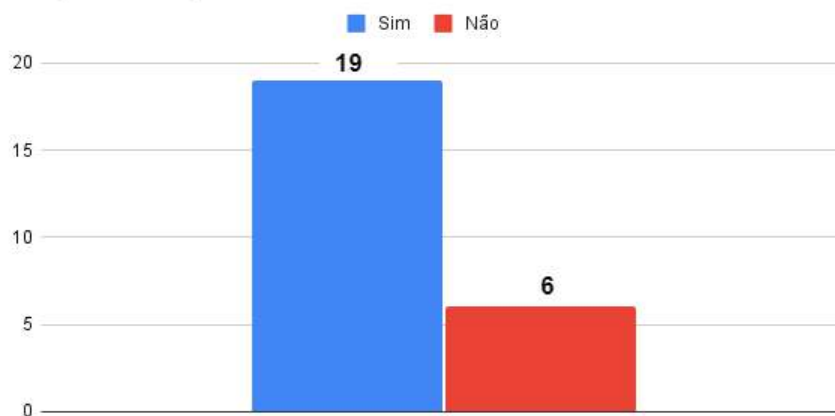


Fonte: Autor, 2022.

A motivação é uma característica importante para a aplicação do produto educacional, desta forma, perguntamos aos estudantes se estes se sentem motivados para realizar atividades deste tipo. Diante do gráfico 15, demonstra-se que a maioria dos participantes declaram estar motivados para participar de aulas envolvendo experimentação. Também julgamos importante compreender a relação estabelecida entre a ciência e a experimentação, segundo a ótica dos estudantes, nesse sentido, observando o gráfico 16, concluímos que a maioria dos estudantes consultados afirma conhecer as relações entre ciência e experimentação.

Gráfico 16 — Grau de entendimento da relação ciência/experimentação.

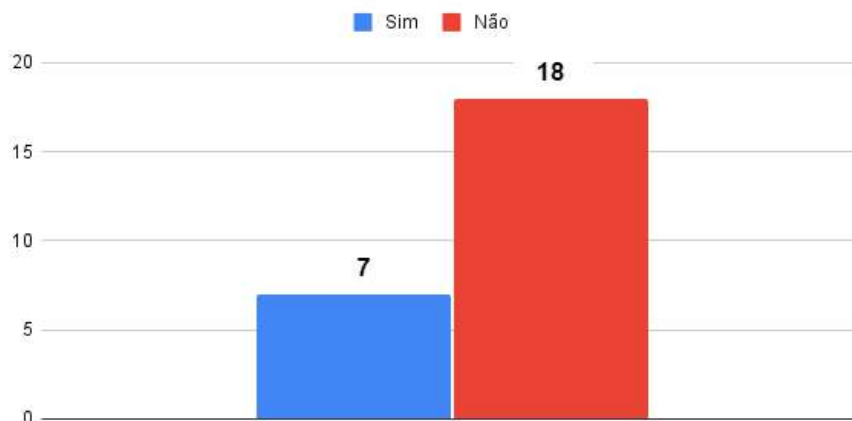
16 - Você entende a relação entre ciência e experimentação?



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 17 — Grau de entendimento da relação ciência/experimentação.

17 - Você conhece as principais ferramentas manuais usadas na eletrônica?

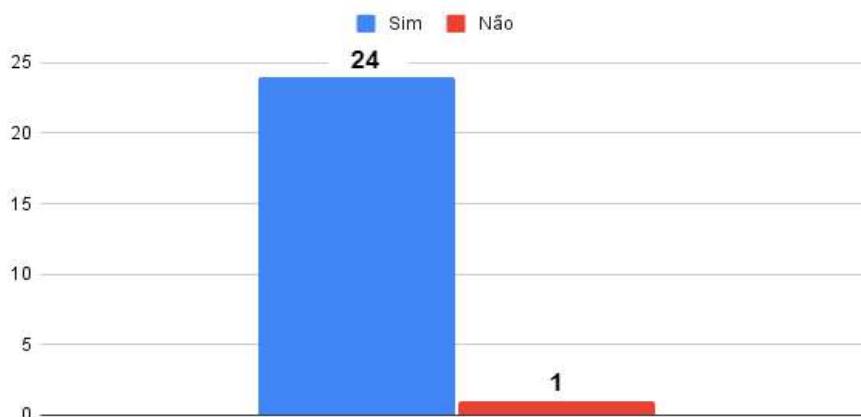


Fonte: Autor, 2022.

Considerando que as atividades planejadas no produto educacional envolvem a construção de circuitos eletrônicos, julgamos importante determinar o grau de conhecimento dos estudantes acerca da utilização de ferramentas usadas na eletrônica, como também seus manuseios, uma vez que os estudantes terão acesso a estes materiais ao longo das aulas. A partir do gráfico 17 é possível concluir que a maioria não conhece as ferramentas básicas usadas na eletrônica. Concomitantemente perguntamos se os estudantes consideram a compreensão da eletricidade aplicada importante para nossa vida cotidiana, de modo que a maioria destaca essa importância por meio do resultado do gráfico 18.

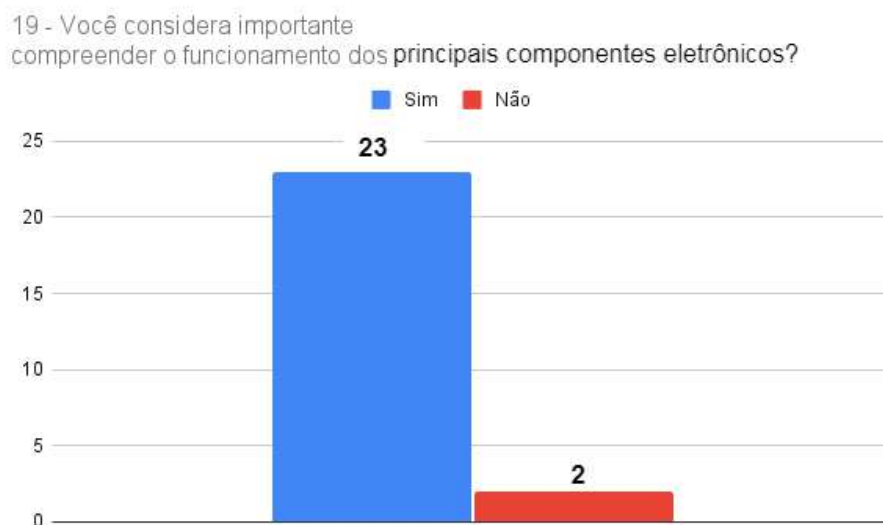
Gráfico 18 — Relação entre eletricidade e cotidiano.

18 - Você considera que o estudo da eletricidade é importante para nossa vida cotidiana?



Fonte: Autor, 2022.

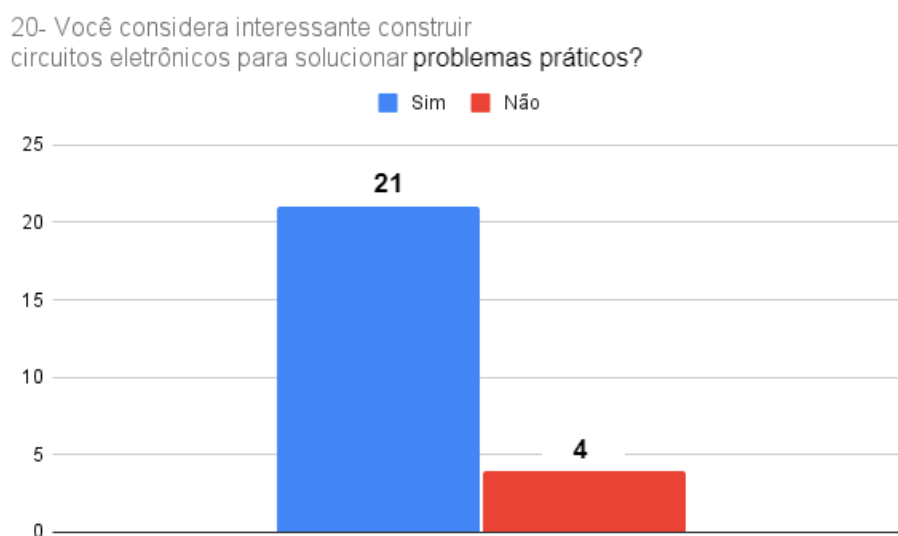
Gráfico 19 — Eletricidade e apropriação científica no dia a dia.



Fonte: Autor, 2022.

Tendo em vista os objetivos do produto educacional e a perspectiva CTS, cujo objetivo é tornar o estudante capaz de empregar seu aprendizado no campo das ciências no ecossistema social, perguntamos aos participantes se há importância em compreender o funcionamento dos principais componentes eletrônicos, onde, observando o gráfico 19, concluímos que a maioria afirma ser importante. Da mesma forma, perguntamos sobre a importância da construção de circuitos eletrônicos como meio para a solução de problemas práticos. Através do gráfico 20, observamos que a maioria reconhece tal importância.

Gráfico 20 — Circuitos eletrônicos como meio de resolução de problemas.



Fonte: Autor, 2022.

A partir das informações reunidas e apresentadas, é possível concluir que a maioria dos estudantes possui algum tipo de experiência com atividades experimentais no ensino das ciências ao longo de sua formação escolar. Verifica-se também que os estudantes participantes afirmam, em sua maioria, a importância da prática experimental no contexto de ensino, reconhecendo-a como elemento facilitador da aprendizagem, além de sentirem-se motivados com tal estratégia. Ao mesmo tempo destacamos o satisfatório nível de compreensão dos estudantes em relação à prática científica e o fazer experimental, tornando possível a execução de atividades substantivas.

Ainda observando os resultados, concluímos que a maioria dos estudantes reconhece a importância do estudo da eletricidade para a compreensão do funcionamento de componentes e aparelhos eletrônicos, sendo este um fator motivacional para os estudantes, que buscam entender como as propriedades funcionais dos componentes eletrônicos estão associadas ao funcionamento dos aparelhos. Destacamos também que a maioria dos estudantes não conhece ou têm habilidades para manusear as ferramentas básicas utilizadas na eletrônica, sendo a aplicação do produto educacional uma oportunidade para tal aprendizado.

Corroborando com os dados anteriores, observamos que a maioria dos estudantes considera importante a construção de circuitos eletrônicos para a solução de problemas práticos nos quais a teoria desenvolvida nas aulas materializa-se de forma concreta, permitindo a significação do aprendizado. Sendo assim, considerando as três dimensões avaliadas no questionário sociopedagógico e seus respectivos resultados, apresentados nas subseções anteriores, concluímos que a aplicação do produto educacional será favorecida em função do cenário mapeado.

6.3 Avaliação de Conhecimentos Prévios e Resultados

A avaliação de conhecimentos prévios constitui-se numa ferramenta importante para o planejamento e execução da ação didática. Nesse sentido, Ribeiro, Almeida e Gomes (2006) *apud* Almeida (1996) e Rosário (2005) afirmam que “*numa lógica construtivista, o conhecimento prévio do sujeito constitui uma espécie de andaime sobre o qual se edificam ou constroem as aprendizagens posteriores*” (RIBEIRO, ALMEIDA e GOMES, 2006, p. 128 *apud* Almeida, 1996 e Rosário, 2005). Dessa forma, aplicamos uma avaliação⁷ composta por 20 perguntas objetivas e discursivas baseadas nos subsunçores destacados na subseção 4.1.2 deste trabalho com o objetivo de dimensionar as aulas a serem ministradas, fornecendo os

⁷ A avaliação de conhecimentos prévios encontra-se no apêndice D desta dissertação.

conhecimentos básicos necessários para o estudo dos semicondutores por meio dos organizadores prévios, ao mesmo tempo determinar que conceitos são dominados pelos estudantes de modo a facilitar a exposição da teoria.

Sendo assim, levando em consideração os parâmetros avaliativos da Secretaria de Estado da Educação de Alagoas, que normatizam o desempenho dos estudantes diante dos diversos instrumentos de avaliação utilizados pelo professor, designamos por N_A o valor da nota alcançada pelo estudante após aplicação da avaliação de conhecimentos prévios, de modo que, para cada questão correta, são atribuídos 0,5 pontos, sendo que $0 \leq N_A \leq 10$. Sendo assim, os estudantes são agrupados de acordo com seu desempenho na avaliação segundo o quadro 1.

Quadro 11 — Parâmetros de desempenho da avaliação de conhecimentos prévios.

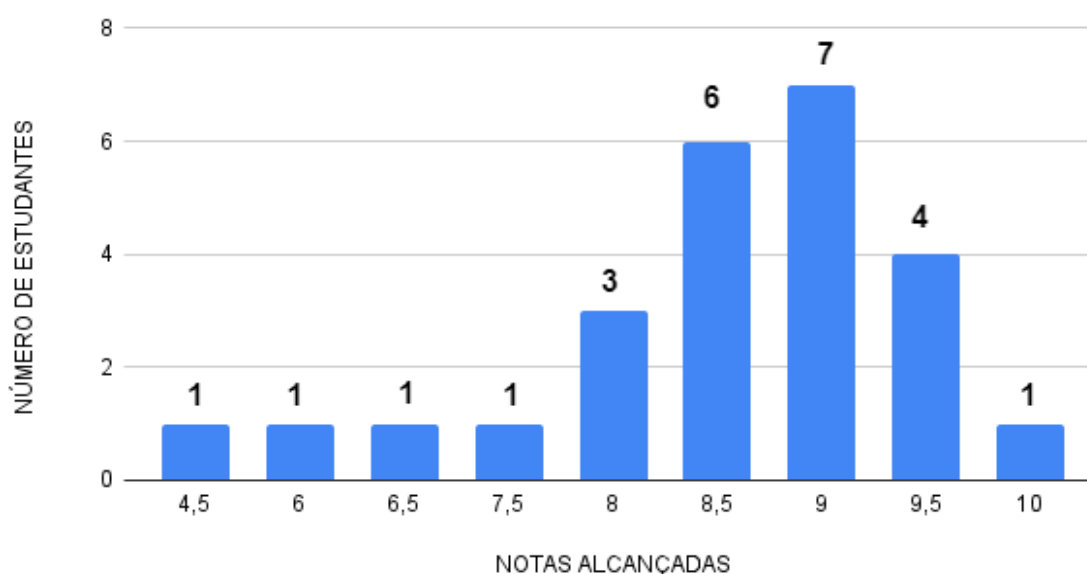
NOTA	INSUFICIENTE	REGULAR	SUFICIENTE
N_A	$N_A < 6,0$	$6,0 \leq N_A < 8,0$	$N_A \geq 8,0$

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Participaram da avaliação 25 estudantes dos 35 regularmente matriculados, que responderam às 20 perguntas propostas durante os 60 minutos disponibilizados. O gráfico 21 apresenta a distribuição de notas alcançadas pelos estudantes na avaliação.

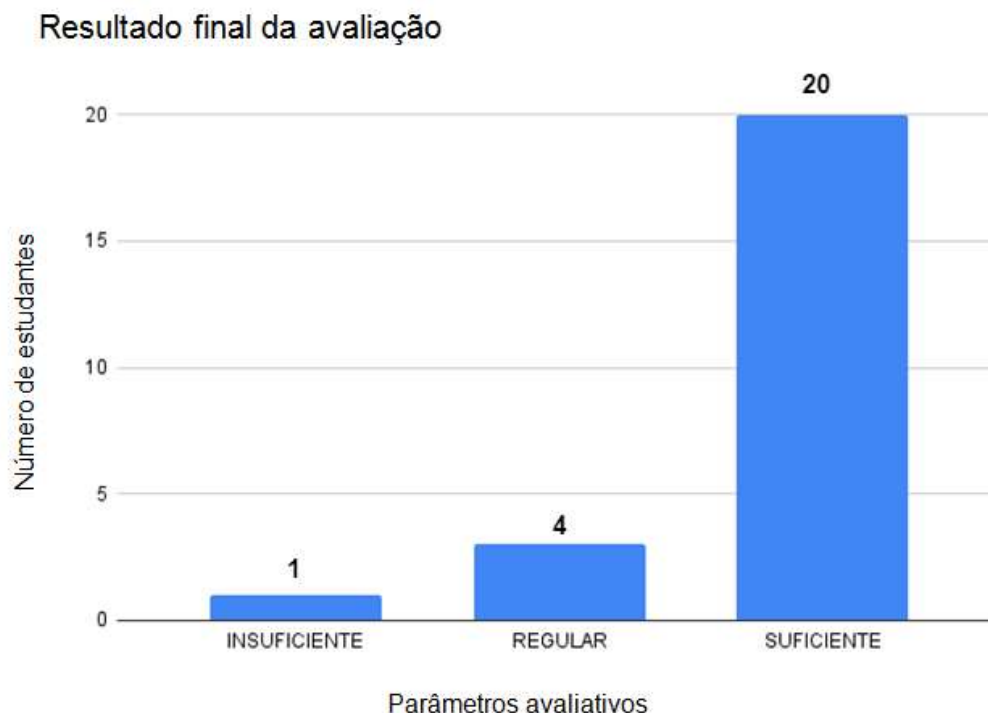
Gráfico 21 — Distribuição de notas na avaliação de conhecimentos prévios.

Avaliação de conhecimentos prévios



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 22 — Resultado geral da avaliação de conhecimentos prévios.



Fonte: Autor, 2022.

Considerando os parâmetros avaliativos destacados no quadro 11 e a distribuição de notas apresentada pelo gráfico 21, concluímos que a expressiva maioria dos estudantes possui suficiência nos conteúdos considerados importantes para o desenvolvimento do produto educacional. A maioria dos estudantes conseguiu demonstrar domínio conceitual e capacidade algébrica para a interpretação, análise e solução das perguntas propostas, viabilizando a apresentação da temática de ensino baseada na física dos semicondutores. Outrossim, devemos destacar que apenas 4 estudantes obtiveram desempenho regular e apenas 1, desempenho insatisfatório.

Sendo assim, espera-se, por meio do sociointeracionismo de Vygotsky e através da proposta experimental, que os estudantes com desempenho suficiente consolidem de forma substantiva os conceitos prévios dos outros estudantes, permitindo a continuidade do estudo dos semicondutores. A partir dos resultados observados concluímos também que a maioria dos estudantes possui razoável capacidade de abstração, habilidade fundamental para o estudo dos fenômenos a nível atômico e molecular. Dessa forma, a discussão teórica torna-se fluida e encadeada, permitindo a exposição de conceitos e ideias novas como o deslocamento de lacunas, o princípio da condução por bandas eletrônicas, o ganho de corrente observado nos transistores, a dinâmica da zona de depleção no diodo, dentre outras possibilidades.

6.4 Análise Aula a Aula

A análise aula a aula tem por objetivo avaliar os estudantes, de forma individualizada e em grupo, no decorrer das atividades experimentais, buscando determinar os aspectos que evidenciam sua aprendizagem. Esta etapa da metodologia está diretamente relacionada à anterior, baseada na avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes, subsidiando o planejamento didático, que, segundo Schewtschik (2017):

[...]a didática geral nos ensina que para planejarmos uma aula é necessário pensarmos o que queremos que nosso aluno aprenda, ou seja, pensar em nossos objetivos, nos conteúdos que pretendemos ensinar, nos meios pelos quais desenvolvemos tais conteúdos e na avaliação de nossa aula (SCHEWTSCHIK, 2017, p. 6).

Nesse sentido, cada estudante será avaliado segundo os critérios qualitativos, recomendados pela Secretaria de Estado da Educação de Alagoas publicados na portaria nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020, listados abaixo.

- 1- Demonstra facilidade na realização das atividades?
- 2- Expressa o que aprendeu?
- 3- Apresenta claras contribuições de sua autoria?
- 4- Apresenta questionamentos?
- 5- Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?
- 6- Aponta descobertas?
- 7- Aprofunda a pesquisa além do proposto?
- 8- Evidencia avanços nas habilidades observadas?

Para cada um dos critérios anteriormente destacados, são atribuídos 1,25 pontos, de modo que ao final das atividades experimentais, o estudante terá seu desempenho quantificado e analisado. Esta etapa metodológica também consiste na apresentação e análise das aulas ministradas no capítulo 5, referente à aplicação do produto educacional, de modo que nesta etapa discutiremos, de forma qualitativa e quantitativa, os resultados obtidos pelos estudantes durante as atividades experimentais destacando suas interpretações, reflexões e soluções diante dos problemas propostos durante as atividades.

Serão exibidas imagens dos experimentos realizados e alguns relatos escritos evidenciando a produção dos estudantes. Será descrita a forma como os conteúdos foram apresentados para o estudante em cada uma das 6 aulas, quais recursos multimeios utilizados e qual metodologia de interação empregada no trabalho experimental. Ao final de cada

atividade experimental os estudantes são avaliados e agrupados segundo os parâmetros do quadro 12, onde N_B designa a nota dos estudantes, que também considera os critérios adotados pelo órgão regulatório da educação no estado.

Quadro 12 — Parâmetros de desempenho dos estudantes nas atividades experimentais.

NOTA	INSUFICIENTE	REGULAR	SUFICIENTE
N_B	$N_B < 6,0$	$6,0 \leq N_B < 8,0$	$N_B \geq 8,0$

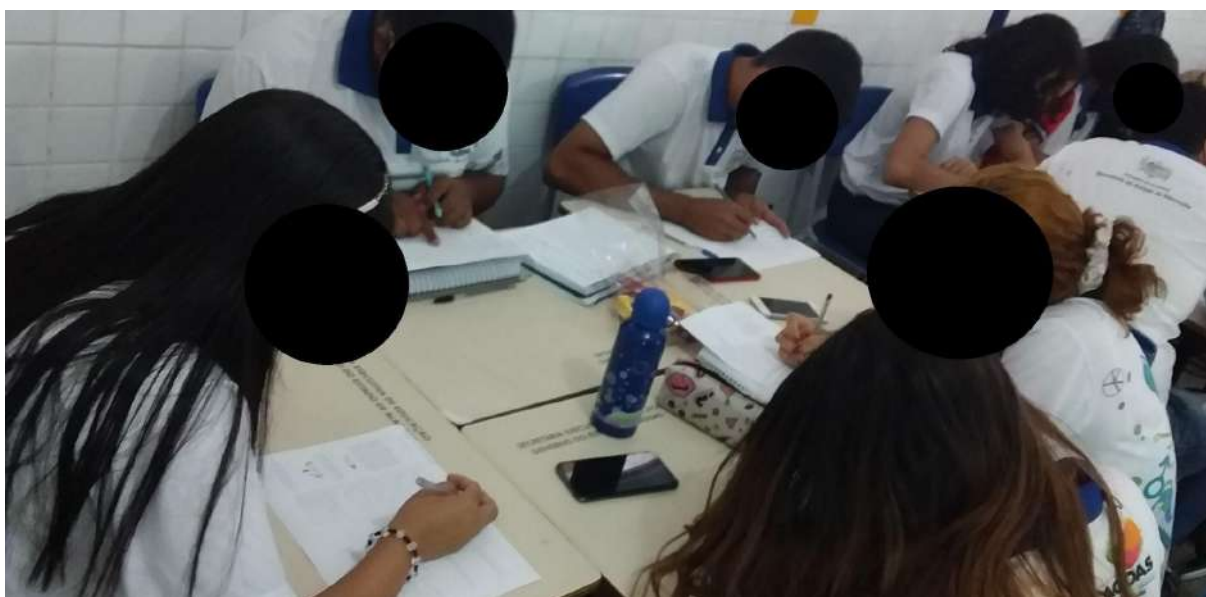
Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Nesta fase da pesquisa, os estudantes foram divididos em 4 grupos formados por 6 integrantes. Tal divisão deu-se a partir do reduzido número de estudantes que, no momento da aplicação do produto educacional, estavam retornando gradualmente às atividades presenciais.

6.4.1 Aula 1

Participaram desta aula 21 dos 35 estudantes regularmente matriculados. Nesta aula foram desenvolvidos os princípios básicos da eletricidade com destaque nas propriedades elétricas dos materiais condutores, semicondutores e isolantes. O diodo como dispositivo eletrônico foi apresentado de forma introdutória. Após a apresentação do conteúdo, baseada na exposição dialógica, os estudantes foram solicitados a ler e responder às perguntas do teste objetivo disponibilizado no roteiro de atividades, inicialmente distribuído como representado nas imagens 2 e 3.

Imagem 2 — Estudantes do grupo 1 interagindo com o material instrucional da aula 1.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Imagem 3 — Estudantes do grupo 2 interagindo com o material instrucional da aula 1.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

6.4.1.1 Execução e resultados

No quadro 13, destacamos algumas observações realizadas durante a execução da atividade em grupo. Tais observações são resultado da interação dialógica do autor com cada um dos grupos, permitindo identificar suas potencialidades e deficiências ao longo da atividade.

Quadro 13 — Análise e observações dos grupos na aula 1.

GRUPO	DESEMPENHO POR GRUPO
1	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação entre os integrantes, permitindo troca de ideias, discussões sobre a teoria estudada e a resolução de problemas durante a montagem dos circuitos estudados. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade para interpretar o funcionamento dos circuitos propostos. • Facilidade para concatenar conceitos e ideias relacionados ao tema de estudo da aula.
	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de interação permitindo a discussão e a troca de ideias por meio de questionamentos relacionados com as observações funcionais dos circuitos. • Extrema facilidade de interação com o material instrucional.

2	<ul style="list-style-type: none"> ● Extrema facilidade para solucionar os problemas propostos. ● Extrema habilidade para reconhecer os componentes eletrônicos, executar a montagem dos circuitos e analisar seu funcionamento. ● Extrema facilidade para concatenar ideias e conceitos prévios necessários para a aprendizagem do tema da aula. ● Capacidade de organização e diálogo.
3	<ul style="list-style-type: none"> ● Bom nível de interação, organização e troca de ideias levando ao aprofundamento dos conceitos importantes para o tema da aula. ● Facilidade de interação com o material instrucional, permitindo discussões e questionamentos importantes para o aprendizado do tema da aula. ● Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. ● Facilidade para executar a montagem dos circuitos propostos. ● Facilidade para analisar o funcionamento dos circuitos propostos.
4	<ul style="list-style-type: none"> ● Excelente nível de interação entre os participantes. ● Dificuldade de interação com o material instrucional da aula. ● Dificuldade para reconhecer e selecionar os componentes eletrônicos necessários para a atividade. ● Pouca habilidade de montagem e análise dos circuitos propostos. ● Pouca organização.

Fonte: Autor, 2022.

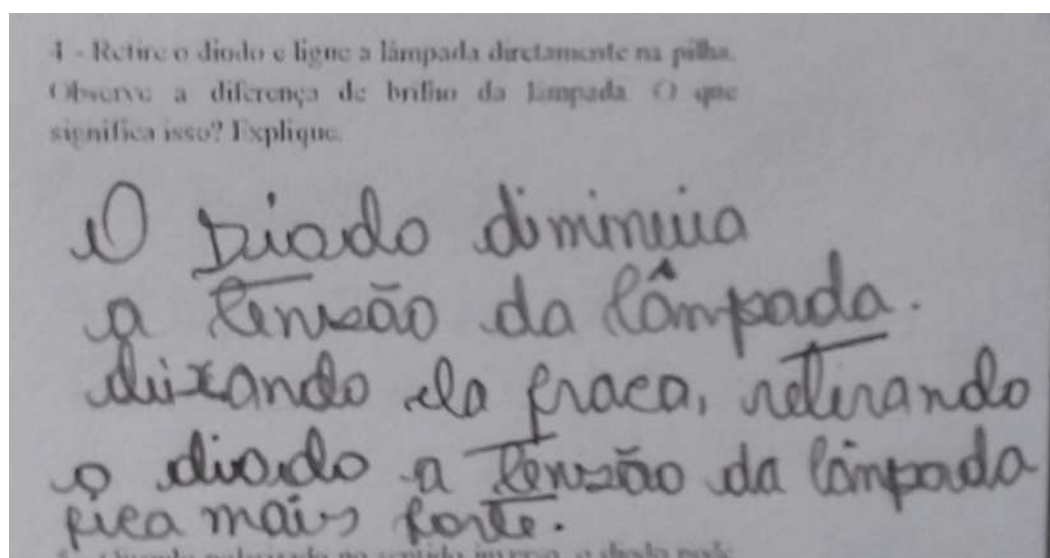
Considerando a avaliação individual, o quadro 14 apresenta os parâmetros avaliativos empregados e o número de estudantes que desenvolveram tais parâmetros. Observando o resultado, concluímos que a maioria dos estudantes conseguiu realizar a atividade de forma satisfatória demonstrando pouca dificuldade. Observa-se também que a maioria consegue expressar de forma clara aquilo que aprendeu, ao mesmo tempo, por meio do debate e da sociointegração, apresentaram questionamentos que permitiram a consolidação da aprendizagem. Verificou-se também que a maioria dos estudantes, de forma progressiva, apresentou avanços nas habilidades de montagem dos circuitos eletrônicos propostos permitindo maior desenvoltura e capacidade técnica importantes para o desenvolvimento das aulas subsequentes.

Quadro 14 — Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 1.

PARÂMETROS AVALIATIVOS	NÚMERO DE ESTUDANTES
Demonstra facilidade na realização das atividades?	16
Expressa o que aprendeu?	14
Apresenta claras contribuições de sua autoria?	7
Apresenta questionamentos?	11
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?	9
Aponta descobertas?	5
Aprofunda a pesquisa além do proposto?	7
Evidencia avanços nas habilidades observadas?	14

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

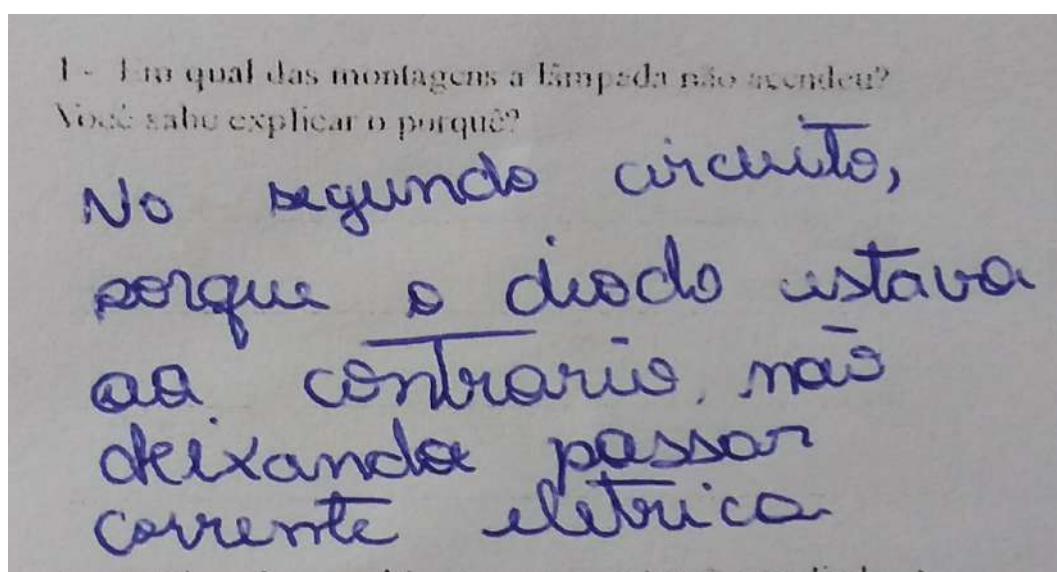
Nas imagens 4 e 5, trazemos as respostas apresentadas pelos estudantes, denotados por *A* e *B*, constatando a capacidade destes de expressar o que aprenderam. Na figura 36, após ter montado e analisado os circuitos das figuras 34 e 35, representados no capítulo 5, subseção 5.2.1, o estudante é levado a responder a seguinte pergunta: Retire o diodo e ligue a lâmpada diretamente na pilha. Observe a diferença de brilho da lâmpada. O que significa isso? Explique.

Imagem 4 — Resposta apresentada pelo estudante *A* na atividade experimental 1.

Fonte: Arquivo do autor, 2022.

O estudante *A* entende que a tensão fornecida pela pilha é dividida entre o diodo e a lâmpada, de modo que ao ser retirado o diodo do circuito a tensão da fonte é distribuída totalmente para a lâmpada, o que pode ser evidenciado pelo aumento do brilho. Através deste exemplo, podemos concluir que o estudante compreende o fenômeno em análise, consegue explicá-lo utilizando conceitos prévios, ao mesmo tempo percebendo a capacidade unidirecional de condução elétrica do diodo. Na imagem 5, observamos a resposta do estudante *B*, solicitado a responder a seguinte pergunta: Em qual das montagens a lâmpada não acendeu? Você sabe explicar o porquê?

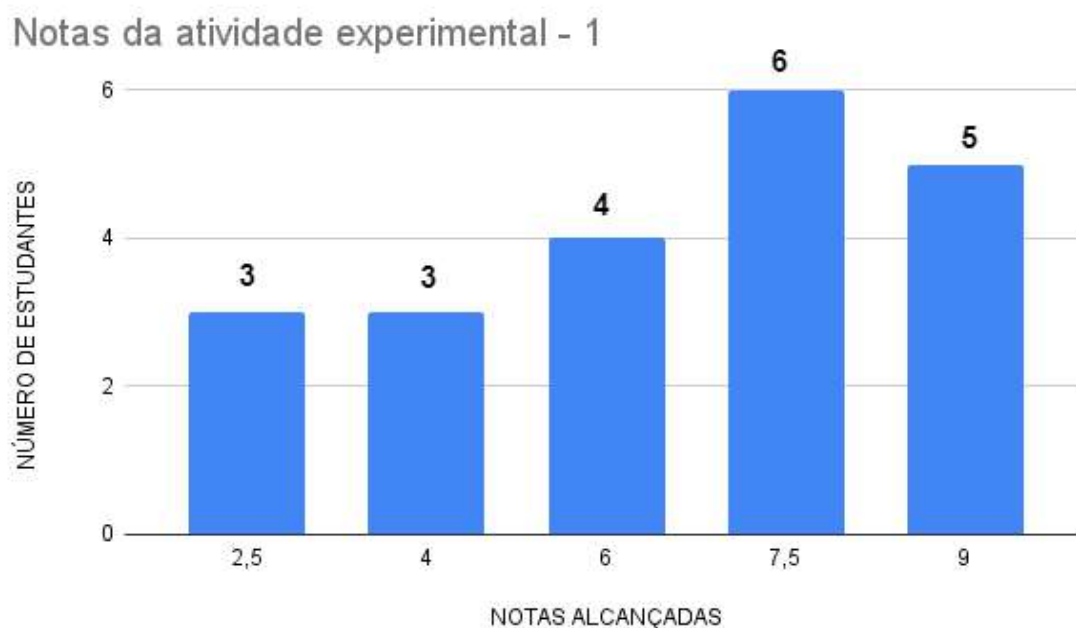
Imagem 5 — Resposta apresentada pelo estudante *B* na atividade experimental 1.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

A partir da resposta apresentada pelo estudante *B*, observa-se que este diferencia os dois modos de montagem do diodo no circuito, percebendo que apenas numa configuração específica a passagem de corrente é realizada. Até o momento desta atividade os conceitos de polarização direta e reversa não foram apresentados, de forma que o estudante utiliza a expressão ‘*diodo ao contrário*’ para relatar a configuração na qual o diodo está inversamente polarizado. No gráfico 23 apresentamos a distribuição de notas dos estudantes avaliados durante a atividade experimental 1. A partir dos dados reunidos conclui-se que o desempenho dos estudantes foi regular, demonstrando a viabilidade inicial do produto educacional. Dos estudantes participantes 5 apresentaram rendimento suficiente, demonstrando pleno domínio conceitual, capacidade algébrica e abstração. Apenas 6 estudantes apresentaram rendimento insuficiente, relacionado à pouca experiência prática destes com circuitos eletrônicos, dificultando a montagem e por conseguinte a análise funcional.

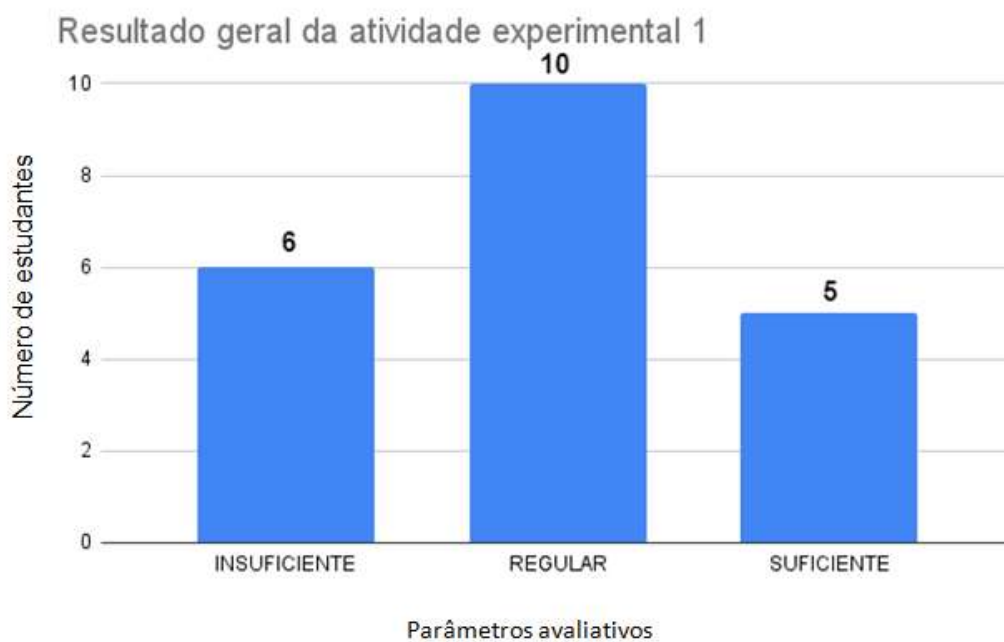
Gráfico 23 — Distribuição de notas da atividade experimental 1.



Fonte: Autor, 2022.

No gráfico 24 destacamos o resultado geral da atividade experimental 1 demonstrando que a maioria dos estudantes conseguiu desenvolver os conceitos, competências e habilidades exigidas na atividade.

Gráfico 24 — Resultado geral da atividade experimental 1.



Fonte: Autor, 2022.

6.4.2 Aula 2

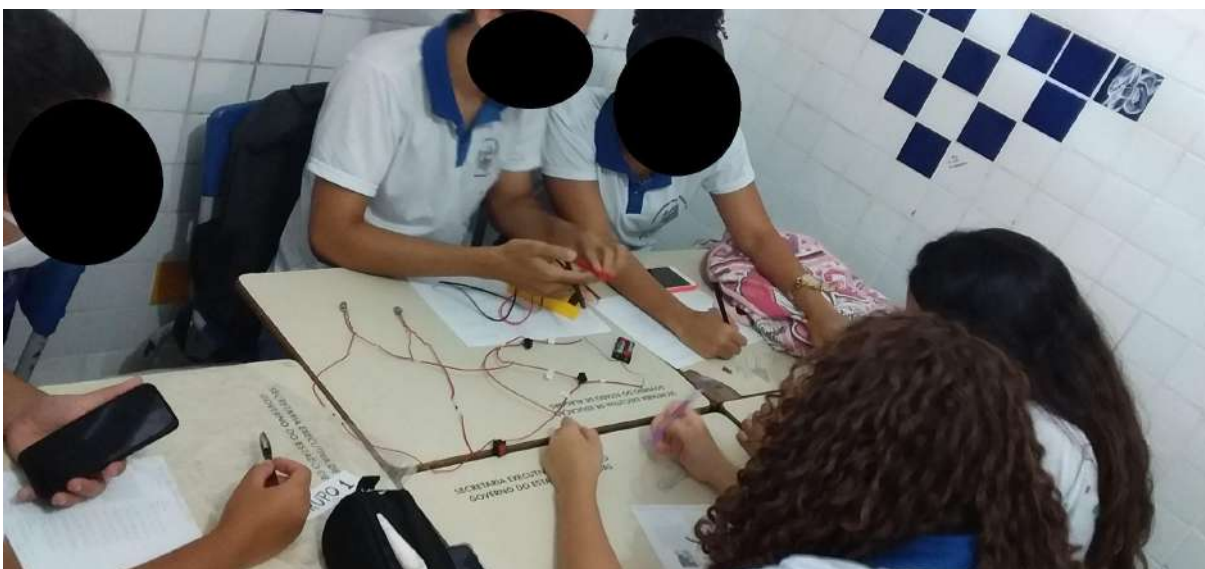
Participaram desta aula 21 estudantes. Sendo uma sequência da aula 1, foram desenvolvidos aspectos históricos envolvendo os semicondutores e o conceito de dopagem, finalizando com a definição de materiais intrínsecos e extrínsecos. O diodo foi trabalhado segundo a perspectiva aplicada. Seguindo os mesmos passos da aula 1, os estudantes foram solicitados a ler e responder às perguntas do teste objetivo do novo roteiro de atividades, em seguida montar e analisar o novo circuito proposto, como ilustrado nas imagens 6 e 7.

Imagem 6 — Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito comutador.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Imagem 7 — Estudantes do grupo 3 respondendo às perguntas da atividade experimental.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

6.4.2.1 Execução e resultados

No quadro 15, reunimos as principais observações realizadas ao longo da atividade em grupo. Semelhantemente à aula 1, estas observações resultam do diálogo estabelecido entre o autor e os estudantes, permitindo elencar potencialidades e deficiências durante a atividade.

Quadro 15 — Análise e observação dos grupos na aula 2.

GRUPO	DESEMPENHO POR GRUPO
1	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação entre os integrantes, permitindo troca de ideias, discussões sobre a teoria estudada e a resolução de problemas durante a montagem do circuito estudado. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade de interação com o material instrucional. • Dificuldade na interpretação e montagem do circuito proposto.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de interação permitindo a discussão e a troca de ideias por meio de questionamentos relacionados com as observações funcionais dos circuitos. • Extrema facilidade de interação com o material instrucional. • Extrema habilidade e rapidez para reconhecer os componentes e executar a montagem do circuito. • Extrema facilidade para interpretar o funcionamento do circuito e a função do diodo no circuito. • Capacidade de organização e diálogo.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação, organização e troca de ideias levando ao aprofundamento dos conceitos importantes para o tema da aula. • Facilidade de interação com o material instrucional, permitindo discussões e questionamentos importantes para o aprendizado do tema da aula. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Dificuldade na interpretação e montagem do circuito proposto.
	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente nível de interação entre os participantes. • Baixo nível de interação com o material instrucional da aula.

4	<ul style="list-style-type: none"> ● Pouca habilidade para reconhecer e selecionar os componentes eletrônicos necessários para a atividade. ● Pouca habilidade para a montagem e análise do circuito proposto. ● O grupo não conseguiu realizar a montagem do circuito de forma correta.
---	---

Fonte: Autor, 2022.

Observando o resultado avaliativo do quadro 16, concluímos que a maioria dos estudantes conseguiu expressar de forma concisa aquilo que aprendeu. Verificou-se também que a maioria dos estudantes apresentou alguma dificuldade (em diferentes proporções) na interpretação e montagem do circuito proposto na atividade, devido à relativa complexidade do circuito. Dessa forma, a atividade exigiu habilidades de montagem que os estudantes não possuíam até então, sendo este um momento para o aprendizado e desenvolvimento de tais habilidades. Corroborando com o parágrafo anterior, conclui-se que poucos estudantes exibiram avanços nas habilidades esperadas para a atividade, que exigiu planejamento de montagem, desenvoltura manual, organização e interpretação. Nesse sentido, apenas o grupo 2 conseguiu reunir tais habilidades efetuando a montagem do circuito em tempo mínimo, interpretando de forma correta seu funcionamento.

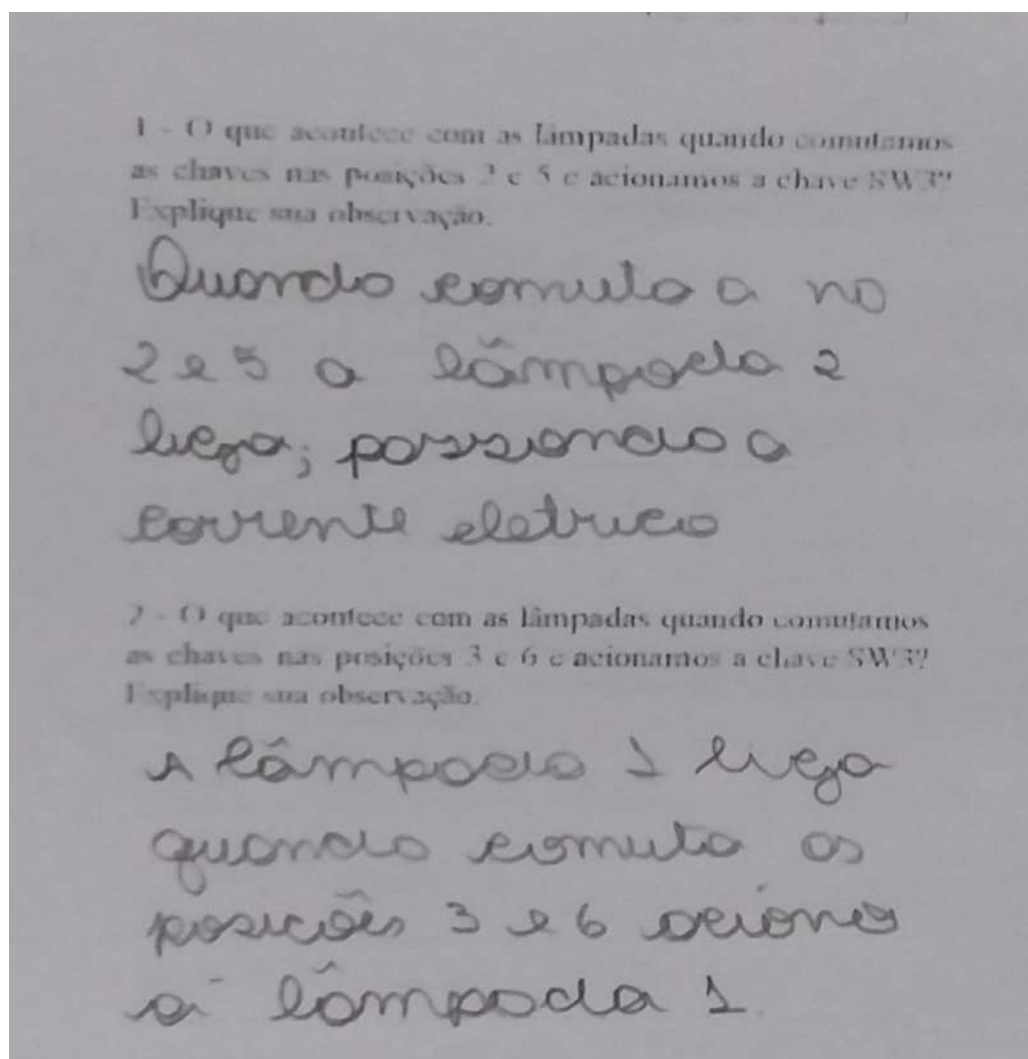
Quadro 16 — Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 2.

PARÂMETROS AVALIATIVOS	NÚMERO DE ESTUDANTES
Demonstra facilidade na realização das atividades?	12
Expressa o que aprendeu?	18
Apresenta claras contribuições de sua autoria?	12
Apresenta questionamentos?	9
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?	13
Aponta descobertas?	8
Aprofunda a pesquisa além do proposto?	5
Evidencia avanços nas habilidades observadas?	9

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Com o objetivo de demonstrar a capacidade dos estudantes de expressar aquilo que aprenderam, reunimos as respostas apresentadas pelos estudantes identificados por *C* e *D*, tendo em vista que a maioria dos estudantes avaliados conseguiu desenvolver tal habilidade, como observado no quadro 16. A imagem 8 traz a resposta desenvolvida pelo estudante *C*.

Imagem 8 — Resposta apresentada pelo estudante *C* na atividade experimental 2.

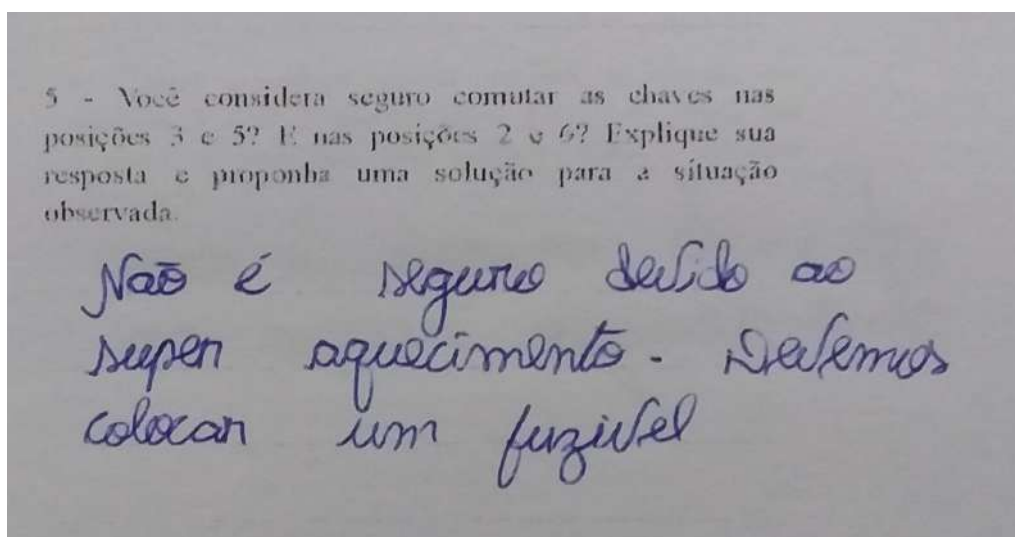


Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Após a análise do circuito da figura 36, representado no capítulo 5, subseção 5.2.2, os estudantes responderam às seguintes perguntas: O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 2 e 5 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação. O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 3 e 6 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação. A partir das respostas dadas, percebe-se que o estudante consegue manipular o circuito de forma correta, operando as chaves comutadoras como solicitado, observando corretamente o acendimento das lâmpadas como

esperado. O estudante consegue identificar como as diferentes relações de comutação das chaves levam aos diferentes caminhos percorridos pela corrente elétrica no circuito onde o diodo funciona como elemento lógico, estabelecendo a passagem da corrente elétrica em determinados trechos do circuito a partir da comutação das chaves.

Imagem 9 — Resposta apresentada pelo estudante *D* na atividade experimental 2.

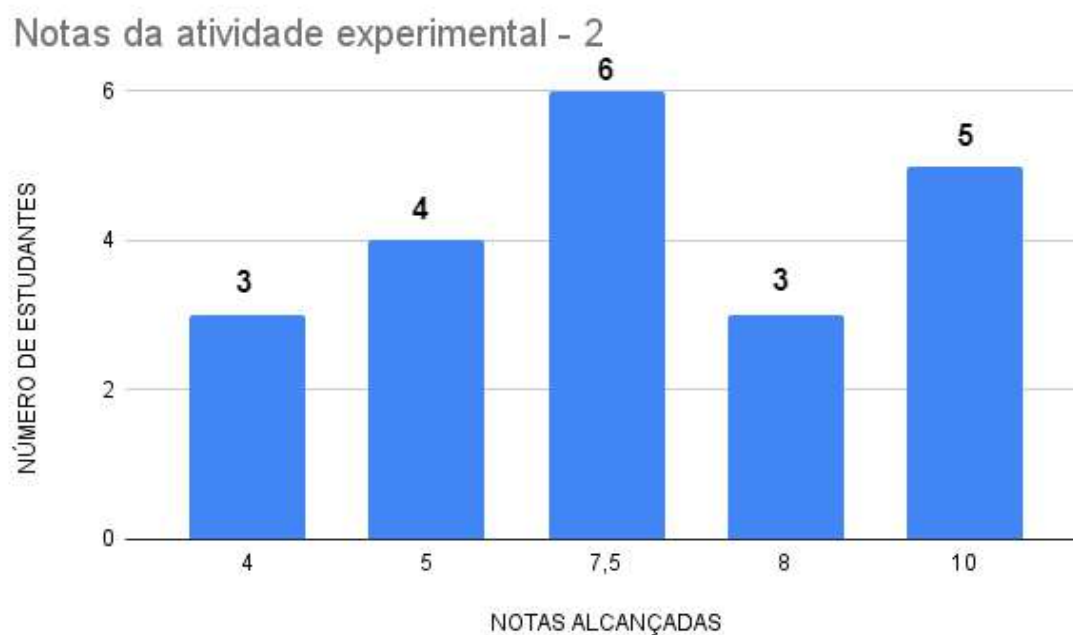


Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Considerando o estudante identificado por *D*, este respondeu à seguinte pergunta: Você considera seguro comutar as chaves nas posições 3 e 5? E nas posições 2 e 6? Explique sua resposta e proponha uma solução para a situação observada. Na imagem 9 o estudante apresenta de forma correta sua resposta, demonstrando preocupação com os efeitos produzidos no circuito. Após inspeção do circuito em funcionamento, o estudante percebeu que os fios, componentes eletrônicos e a fonte de tensão apresentavam sinais de superaquecimento devido ao aparecimento de um curto-circuito, intencionalmente gerado, quando as chaves comutadoras são configuradas nas posições anteriormente indicadas.

Além disso, o estudante foi capaz de apresentar uma solução para evitar a queima dos componentes ou a degradação dos fios devido à alta temperatura, sugerindo a colocação de um fusível. Tal solução revela que o estudante compreende de forma adequada a função do fusível, componente elétrico estudado antes da aplicação do produto educacional, demonstrando conhecimentos prévios razoáveis. Após a avaliação individual dos estudantes, a distribuição de notas para a atividade experimental 2 é apresentada no gráfico 25. Concluimos que a maioria dos estudantes alcançou bom aproveitamento nesta fase do processo de aprendizagem demonstrando progressiva adaptação à proposta do produto educacional.

Gráfico 25 — Distribuição de notas da atividade experimental 2.



Fonte: Autor, 2022.

No gráfico 26 reunimos o resultado geral da atividade 2, concluindo que a maioria dos estudantes obteve rendimento suficiente, demonstrando aderência à proposta de ensino.

Gráfico 26 — Resultado geral da atividade experimental 2.

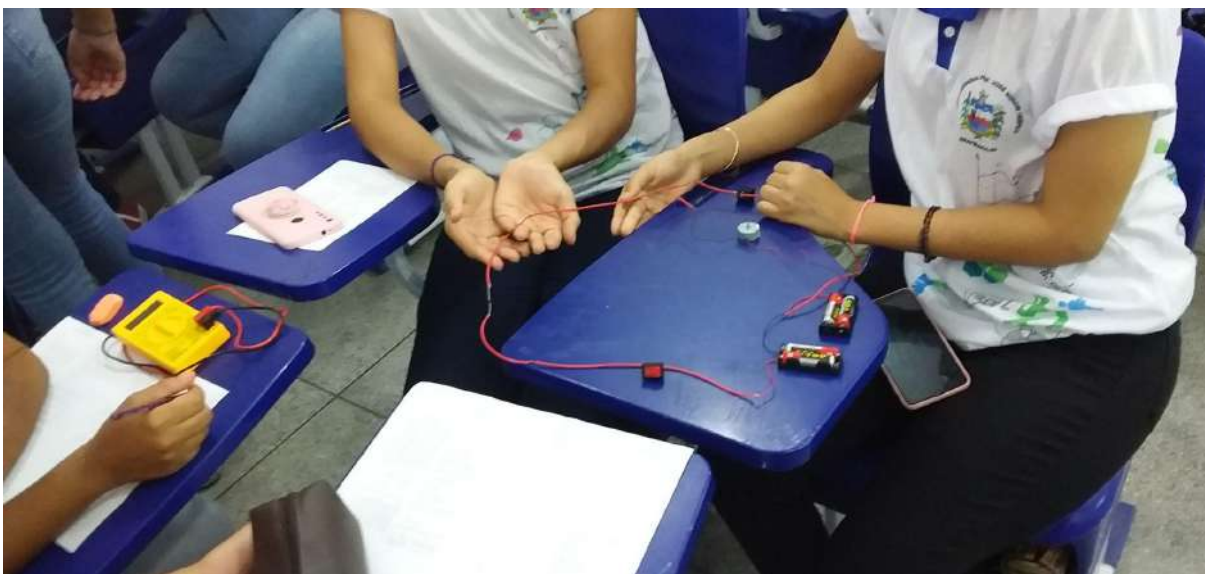


Fonte: Autor, 2022.

6.4.3 Aula 3

Com o objetivo de ampliar os conceitos anteriormente desenvolvidos, participaram desta aula 19 estudantes regularmente matriculados. Foram apresentados os principais fenômenos de transporte de cargas, incluindo o conceito de zona ou camada de depleção e como este permite entender o funcionamento do diodo a nível corpuscular. O diodo mais uma vez foi apresentado sob a óptica aplicada por meio da construção de um circuito controlador de potência, como mostrado nas imagens 10 e 11.

Imagem 10 — Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito controlador.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Imagem 11 — Estudantes do grupo 1 construindo e analisando um circuito controlador.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

6.4.3.1 Execução e resultados

No quadro 17, listamos as principais observações realizadas durante a atividade em grupo. Seguindo os mesmos objetivos da aula 2, estas observações resultam do diálogo estabelecido entre o autor e os estudantes, permitindo elencar aspectos positivos do processo de aprendizagem e deficiências durante a atividade.

Quadro 17 — Análise e observação dos grupos na aula 3.

GRUPO	DESEMPENHO POR GRUPO
1	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação entre os integrantes, permitindo troca de ideias, discussões sobre a teoria estudada e a resolução de problemas durante a montagem dos circuitos estudados. • Consegue reconhecer componentes eletrônicos. • Consegue interpretar o funcionamento dos circuitos propostos. • Dificuldade para resolver problemas imprevistos de montagem. • Consegue usar o multímetro.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de interação permitindo a discussão e a troca de ideias por meio de questionamentos relacionados com as observações funcionais dos circuitos. • Extrema facilidade de interação com o material instrucional. • Extrema habilidade para reconhecer os componentes eletrônicos, executar a montagem dos circuitos e analisar seu funcionamento. • Extrema facilidade para concatenar ideias e conceitos prévios necessários para a aprendizagem do tema da aula. • Facilidade para solucionar problemas imprevistos de montagem. • Facilidade para uso do multímetro.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação, organização e troca de ideias levando ao aprofundamento dos conceitos importantes para o tema da aula. • Boa capacidade de interação com o material instrucional, permitindo questionamentos importantes para o aprendizado do tema da aula. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Habilidade para executar a montagem dos circuitos propostos. • Facilidade para analisar o funcionamento dos circuitos propostos.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Consegue usar o multímetro.
4	<ul style="list-style-type: none"> ● Excelente nível de interação entre os participantes. ● Baixo nível de interação com o material instrucional da aula. ● Pouca habilidade para reconhecer e selecionar os componentes eletrônicos necessários para a atividade. ● Pouca habilidade para montagem e análise dos circuitos propostos.

Fonte: Autor, 2022.

Considerando o resultado avaliativo do quadro 18, concluímos que a maioria dos estudantes consegue expressar aquilo que aprendeu, como também demonstrou avanços nas habilidades necessárias para o prosseguimento da proposta de ensino. Ao mesmo tempo, a maioria dos estudantes apresentou pouca dificuldade para a interpretação e montagem do circuito controlador, tendo em vista as experiências adquiridas com o circuito analisado na aula anterior. Dessa forma, a atividade ampliou as habilidades de montagem que os estudantes já apresentavam, de modo que vários já conseguem manipular os instrumentos necessários para a montagem e análise do circuito de forma efetiva, economizando tempo e melhorando as análises. Também verifica-se que alguns estudantes apresentam questionamentos substanciais acerca dos conceitos estudados, como também apontam descobertas relacionando-as às características funcionais do circuito analisado.

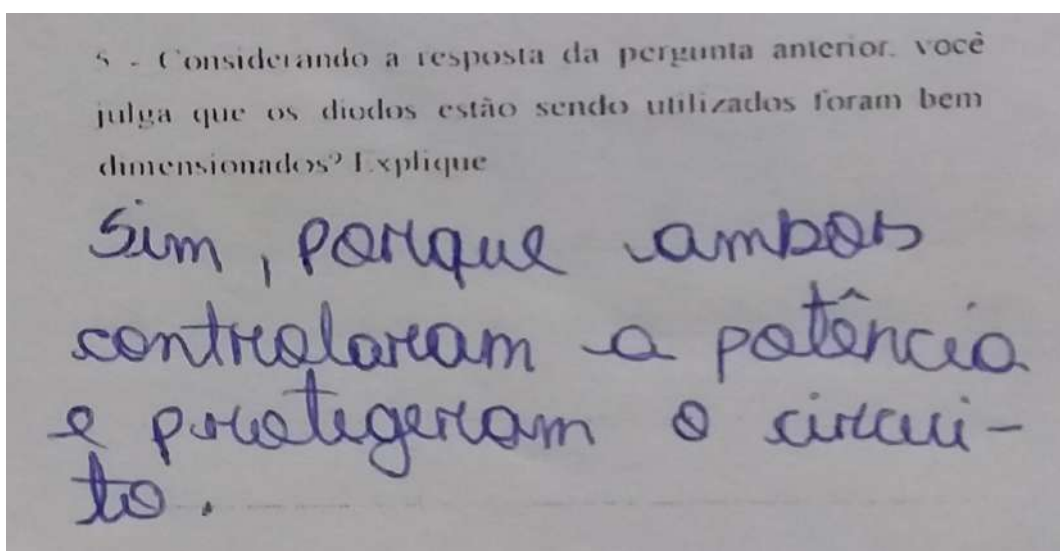
Quadro 18 — Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 3.

PARÂMETROS AVALIATIVOS	NÚMERO DE ESTUDANTES
Demonstra facilidade na realização das atividades?	14
Expressa o que aprendeu?	12
Apresenta claras contribuições de sua autoria?	6
Apresenta questionamentos?	7
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?	6
Aponta descobertas?	7
Aprofunda a pesquisa além do proposto?	6
Evidencia avanços nas habilidades observadas?	16

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Sendo assim, com o objetivo de exemplificar a capacidade dos estudantes de expressar o que aprenderam e demonstrar os avanços alcançados nas habilidades necessárias para o cumprimento da atividade. Na imagem 12, após a análise do circuito da figura 37, representado no capítulo 5, subseção 5.2.3, os estudantes responderam inicialmente à seguinte pergunta: Considerando a resposta da pergunta anterior, você julga que os diodos utilizados foram bem dimensionados? Explique. A partir da resposta dada pelo estudante denotado por *E*, podemos concluir que o mesmo, além de compreender de forma adequada o funcionamento do circuito, consegue observar a importância dos diodos como componentes de controle e segurança, ampliando sua compreensão acerca das diversas utilizações do diodo na eletrônica.

Imagem 12 — Resposta apresentada pelo estudante *E* na atividade experimental 3.

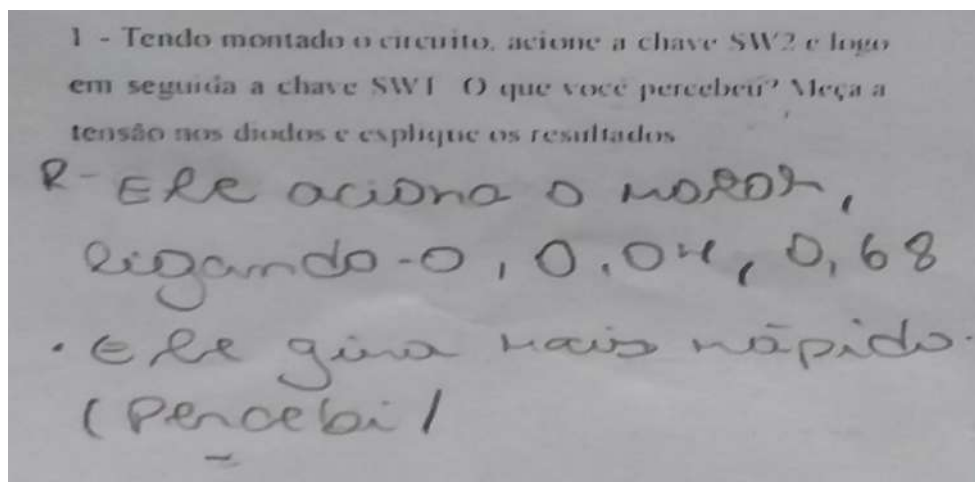


Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Ainda considerando a resposta apresentada pelo estudante *E*, conclui-se que o estudante apresenta domínio operacional do circuito estudado, conseguindo observar variações de potência do motor ligado ao circuito e como o acionamento das diferentes chaves e a posição dos diodos influenciam no valor da tensão aplicada no motor. Ao mesmo tempo consegue utilizar de forma adequada o multímetro, extraindo dados importantes sobre o funcionamento do circuito a partir do monitoramento da tensão nos componentes do circuito.

Semelhantemente ao estudante *E*, o estudante *F* foi solicitado a responder a seguinte pergunta: Tendo montado o circuito, acione a chave SW2 e logo em seguida a chave SW1. O que você percebeu? Meça a tensão nos diodos e explique os resultados. A partir da resposta apresentada pelo estudante, percebe-se que este também apresenta domínio operacional do circuito, obtendo valores corretos para as tensões medidas, demonstrando habilidade para a utilização do multímetro e capacidade de expressar aquilo que aprendeu ou observou.

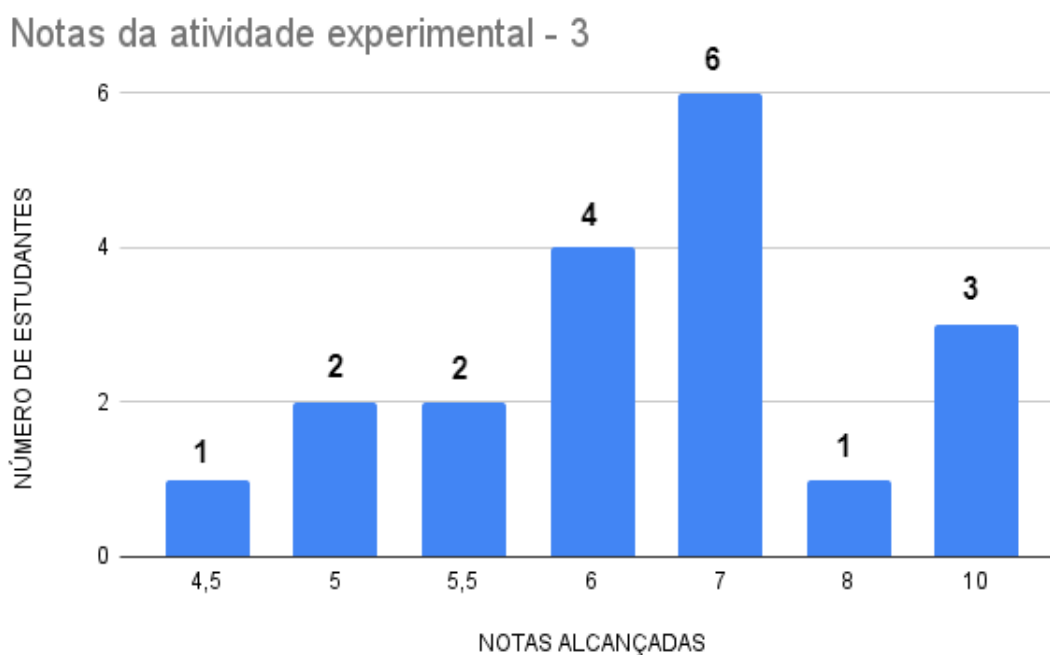
Imagem 13 — Resposta apresentada pelo estudante *F* na atividade experimental 3.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

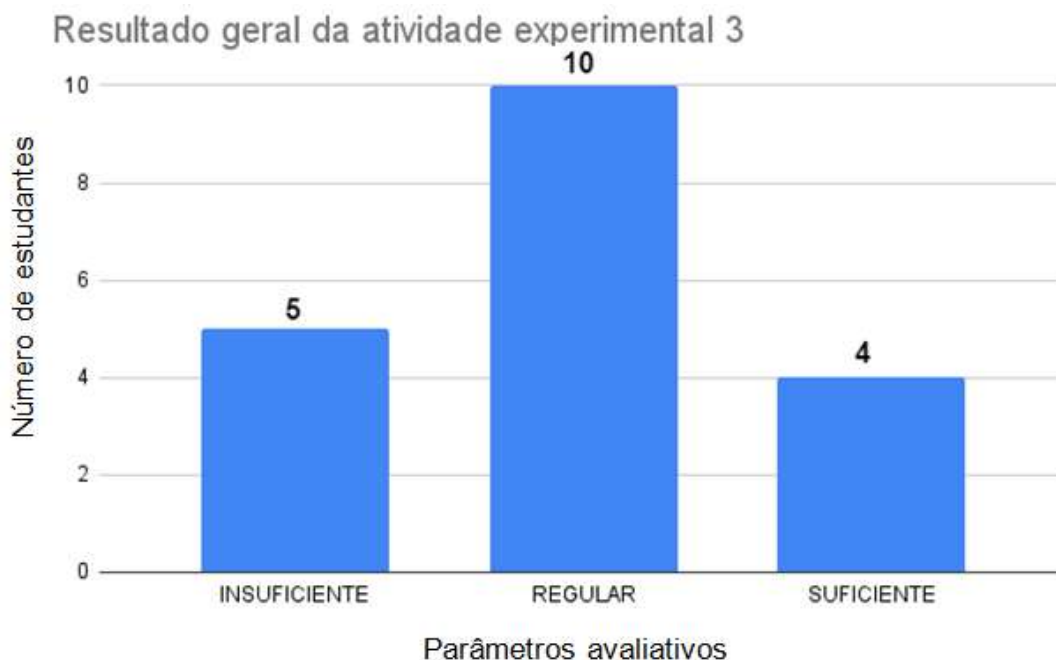
Após a avaliação individual da atividade 3, as notas alcançadas pelos estudantes foram agrupadas formando o gráfico 27. A partir dos dados reunidos concluímos que dos 19 estudantes avaliados, 14 estudantes alcançaram notas iguais ou superiores a 6,0, demonstrando razoável grau de aprendizado diante da atividade proposta. Ainda observando o gráfico, concluímos que 5 dos estudantes avaliados obtiveram notas menores que 6,0, apresentando problemas na aprendizagem.

Gráfico 27 — Distribuição de notas da atividade experimental 3.



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 28 — Resultado geral da atividade experimental 3.



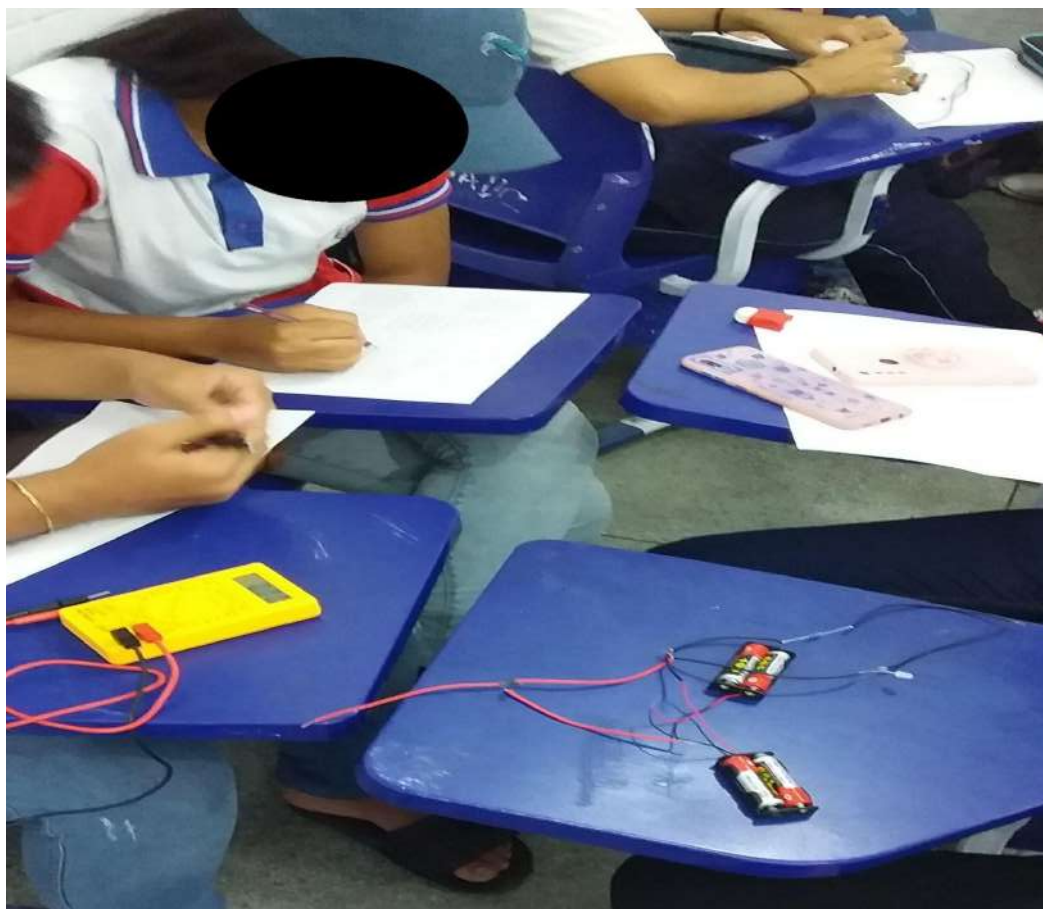
Fonte: Autor, 2022.

O gráfico 28 apresenta o resultado geral da avaliação realizada com os estudantes participantes, demonstrando que a maioria destes apresentou rendimento regular diante da atividade desenvolvida apresentando contínua adaptação à proposta de ensino. Ainda analisando os resultados, conclui-se que 4 estudantes apresentaram suficiência na aprendizagem. Em contrapartida, 5 estudantes apresentaram rendimento insuficiente, por não apresentarem respostas claras ou incompletas.

6.4.4 Aula 4

Nesta aula, o transistor é apresentado como resultado da evolução do diodo, permitindo ampliar o espectro de aplicações dos semicondutores, como também a continuidade didática do assunto. Participaram 19 estudantes regularmente matriculados, os quais montaram e analisaram um pequeno circuito amplificador de sinais acionado por meio de variações de tensão na base do transistor. Foram discutidas de forma dialógica as diferentes polarizações do transistor e suas características, como também a curva característica do diodo e sua importância. O circuito desenvolvido nesta aula constitui-se no elemento básico para a construção do circuito medidor de nível de água a ser desenvolvido nas duas últimas aulas do produto educacional, de modo que após sua construção e análise, o estudante terá integralizado todos os conceitos desenvolvidos nas aulas anteriores. A imagem 14 ilustra os estudantes do grupo 2 analisando o circuito proposto.

Imagem 14 — Estudantes do grupo 2 analisando um circuito amplificador.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

6.4.4.1 Execução e resultados

No quadro 19, elencamos algumas observações realizadas durante a atividade experimental, permitindo analisar a continuidade do processo de ensino. Seguindo os mesmos critérios das aulas anteriores, estas observações são fruto do sociointeracionismo existente entre o autor e os estudantes durante a atividade, permitindo identificar os aspectos positivos do processo de aprendizagem, ao mesmo tempo suas possíveis fragilidades ao longo da aplicação do produto educacional.

Quadro 19 — Análise e observação dos grupos na aula 4.

GRUPO	DESEMPENHO POR GRUPO
1	<ul style="list-style-type: none"> Bom nível de interação entre os integrantes, permitindo troca de ideias, discussões sobre a teoria estudada e a resolução de problemas durante a montagem do circuito estudado.

	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade para interpretar o funcionamento dos circuitos propostos. • Facilidade para relacionar conceitos prévios com aqueles desenvolvidos na aula. • Motivação.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de interação permitindo a discussão e a troca de ideias por meio de questionamentos relacionados com as observações funcionais dos circuitos. • Extrema facilidade de interação com o material instrucional. • Extrema habilidade para reconhecer os componentes eletrônicos, executar a montagem do circuito e analisar seu funcionamento. • Extrema facilidade para concatenar ideias e conceitos prévios necessários para a aprendizagem do tema da aula. • Capacidade de organização e diálogo. • Extrema motivação.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação, organização e troca de ideias levando ao aprofundamento dos conceitos importantes para o tema da aula. • Facilidade de interação com o material instrucional, permitindo discussões e questionamentos importantes para o aprendizado do tema da aula. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade para executar a montagem dos circuitos propostos. • Facilidade para analisar o funcionamento dos circuitos propostos.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente nível de interação entre os participantes. • Baixo nível de interação com o material instrucional da aula. • Baixa capacidade de reconhecer e selecionar os componentes eletrônicos necessários para a atividade. • Baixa capacidade de montagem e análise dos circuitos propostos. • Pouca motivação. • O grupo não conseguiu montar o circuito de forma adequada.

Analisando o quadro 20, concluímos que a maioria dos estudantes consegue expressar de forma adequada aquilo que aprendeu, demonstra avanços nas habilidades necessárias para o prosseguimento das atividades e apresenta questionamentos que permitem adensar a temática da aula. Ao mesmo tempo, poucos estudantes apresentaram dificuldade para a interpretação e montagem do circuito amplificador, tendo em vista a relativa simplicidade de montagem. Dessa forma, a atividade consolidou as habilidades de montagem e interpretação necessárias para a atividade final a ser realizada nas aulas 5 e 6. Verifica-se também que alguns estudantes aprofundaram os conceitos desenvolvidos na aula por meio de pesquisas em diferentes fontes na internet permitindo ampliar o tema em estudo.

Quadro 20 — Avaliação de desempenho dos estudantes na aula 4.

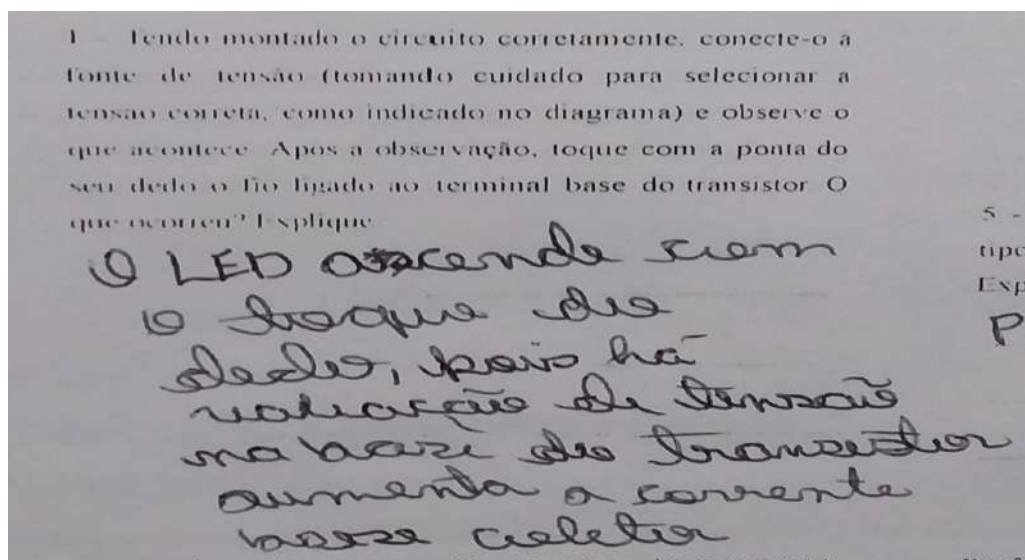
PARÂMETROS AVALIATIVOS	NÚMERO DE ESTUDANTES
Demonstra facilidade na realização das atividades?	13
Expressa o que aprendeu?	16
Apresenta claras contribuições de sua autoria?	8
Apresenta questionamentos?	12
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?	8
Aponta descobertas?	6
Aprofunda a pesquisa além do proposto?	5
Evidencia avanços nas habilidades observadas?	12

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Com o intuito de demonstrar os dados do quadro 20, apresentamos a resposta formulada pelo estudante identificado por *G*, após a análise do circuito da figura 38, representado no capítulo 5, subseção 5.2.4, exemplificando sua habilidade em expressar o que aprendeu. Nesse sentido, o estudante respondeu a seguinte pergunta: Tendo montado o circuito corretamente, conecte-o à fonte de tensão (tomando cuidado para selecionar a tensão correta, como indicado no diagrama) e observe o que acontece. Após a observação, toque com a ponta do seu dedo o fio ligado ao terminal base do transistor. O que ocorreu? Explique. Observando a resposta apresentada pelo estudante, destacam-se sua capacidade de compreensão acerca dos fenômenos eletrodinâmicos que governam o funcionamento do transistor e sua capacidade de expressar de forma concisa e bem estruturada os fenômenos ali

observados. No contexto da atividade é fundamental que o estudante, além de absorver os novos conceitos necessários para seu aprendizado, também seja capaz de organizar e expressar de forma adequada seu pensamento. Na imagem 15, temos um exemplo destas habilidades. O estudante é capaz de compreender e explicar como o toque do dedo no terminal base do transistor em funcionamento é capaz de mudar a tensão base-coletor, gerando aumento de corrente, implicando no acendimento do led.

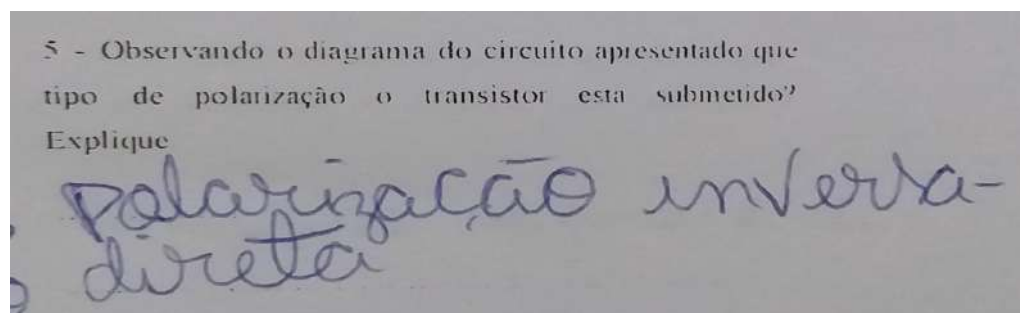
Imagem 15 — Resposta apresentada pelo estudante *G* na atividade experimental 4.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

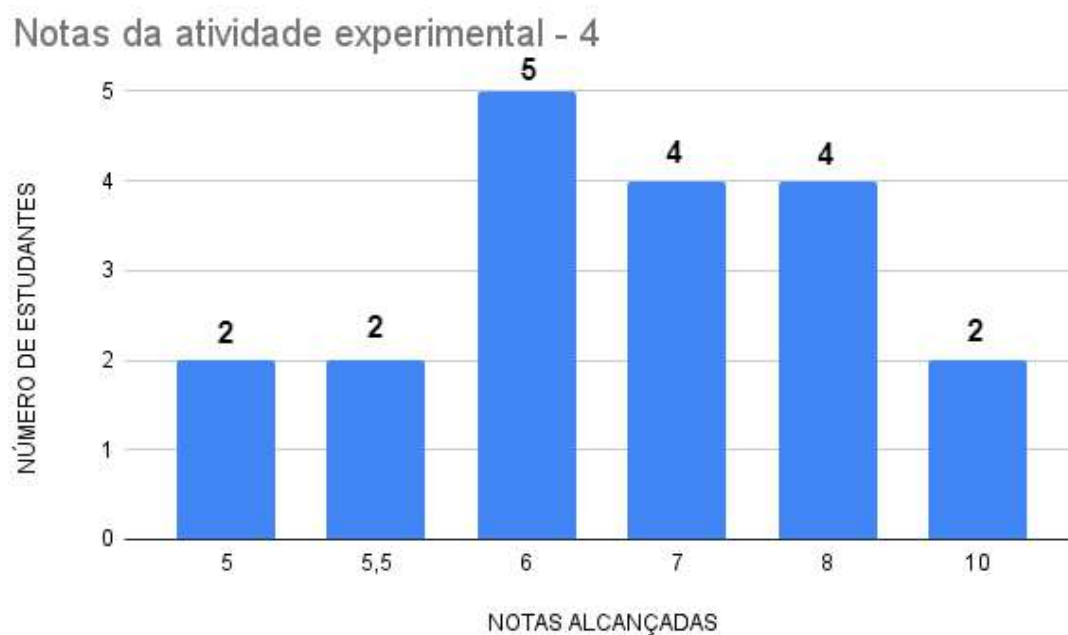
Na imagem 16 observamos a resposta dada pelo estudante *H*, evidenciando sua habilidade em identificar precisamente o tipo de polarização à qual o transistor está submetido a partir do funcionamento do circuito. Evidencia-se também sua capacidade de concisão e organização. O gráfico 29 reúne as notas obtidas pelos estudantes, após análise individual, permitindo concluir que 10 estudantes apresentaram notas maiores ou iguais a 6,0, enquanto 9 estudantes obtiveram notas menores que 6,0.

Imagem 16 — Resposta apresentada pelo estudante *H* na atividade experimental 4.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

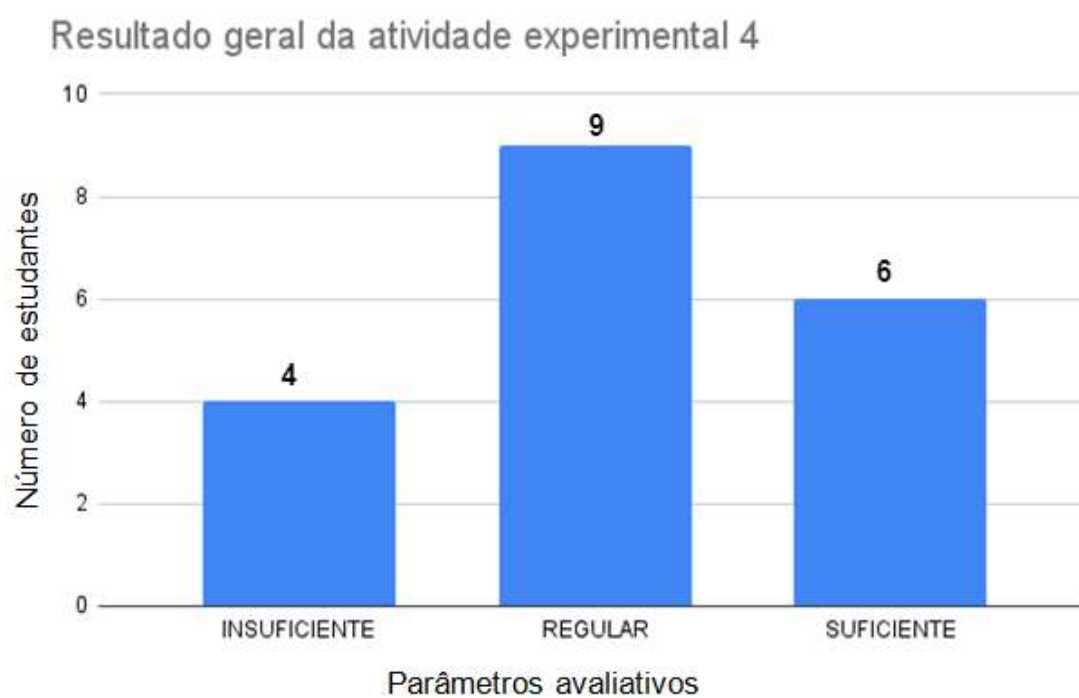
Gráfico 29 — Distribuição de notas da atividade experimental 4.



Fonte: Autor, 2022.

O gráfico 30 apresenta o resultado geral da avaliação individual, concluindo que a maioria dos estudantes obteve rendimento regular.

Gráfico 30 — Resultado geral da atividade experimental 4.



Fonte: Autor, 2022.

6.4.5 Aulas 5 e 6

Nestas aulas, o objetivo é integralizar todos os saberes desenvolvidos nas quatro primeiras, levando o estudante a reconhecer sua trajetória de aprendizado. Participaram 21 estudantes regularmente matriculados, os quais montaram e analisaram um circuito medidor de nível de água utilizando ferramentas, componentes eletrônicos, fios e outros materiais auxiliares. Foi discutida de forma dialógica a importância dos circuitos eletrônicos na solução de problemas práticos de natureza tecnológica. As imagens 17 e 18 ilustram os estudantes dos grupos 1 e 2 construindo e analisando o circuito medidor.

Imagem 17 — Estudantes do grupo 1 construindo e analisando um circuito controlador.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Imagem 18 — Estudantes do grupo 2 construindo e analisando um circuito controlador.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

6.4.5.1 Execução e resultados

No quadro 21, pontuamos os principais aspectos observacionais realizados durante a atividade experimental, permitindo qualificar o processo de ensino em andamento. Da mesma forma que as aulas anteriores, estas observações resultam da relação existente entre o autor e os estudantes, permitindo identificar os aspectos pedagógicos do processo de aprendizagem, identificando fragilidades e pontos positivos mais recorrentes.

Quadro 21 — Análise e observação dos grupos nas aulas 5 e 6.

GRUPO	DESEMPENHO POR GRUPO
1	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente nível de interação entre os integrantes, permitindo troca de ideias, discussões sobre a teoria estudada e a resolução de problemas durante a montagem dos circuitos estudados. • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade para interpretar o funcionamento dos circuitos propostos. • Capacidade de agregar conceitos e ideias relacionados às aulas anteriores. • Motivação.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de interação permitindo a discussão e a troca de ideias por meio de questionamentos relacionados com as observações funcionais dos circuitos. • Extrema facilidade de interação com o material instrucional. • Extrema habilidade para reconhecer os componentes eletrônicos, executar a montagem dos circuitos e analisar seu funcionamento. • Capacidade de agregar conceitos e ideias relacionados às aulas anteriores. • Capacidade de organização e diálogo. • Extrema motivação.
	<ul style="list-style-type: none"> • Bom nível de interação, organização e troca de ideias levando ao aprofundamento dos conceitos importantes para o tema da aula. • Facilidade de interação com o material instrucional, permitindo discussões e questionamentos importantes para o aprendizado do tema da aula.

3	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade para reconhecer componentes eletrônicos. • Facilidade para executar a montagem do circuito proposto. • Facilidade para analisar o funcionamento do circuito proposto. • Motivação.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente nível de interação entre os participantes. • Bom nível de interação com o material instrucional da aula. • Consegue reconhecer e selecionar os componentes eletrônicos necessários para a atividade. • Consegue realizar a montagem e análise do circuito proposto. • Motivação.

Fonte: Autor, 2022.

Analisando o quadro 22, concluímos que a maioria dos estudantes apresenta facilidade na realização da atividade, manipulando ferramentas e contornando dificuldades peculiares da montagem. Ao mesmo tempo conseguem expressar de forma concisa aquilo que aprenderam durante a atividade, como também demonstram avanços nas habilidades necessárias para a execução da atividade. Percebe-se também que vários estudantes apresentam questionamentos que permitem aprofundar a discussão central da aula, voltada para a importância da eletrônica na solução de problemas. Sendo assim, a atividade consolidou os aspectos teóricos abordados nas aulas anteriores, ao mesmo tempo ampliando a capacidade dos estudantes de utilizar ferramentas básicas. Também é possível verificar pequeno aumento do número de estudantes que aprofundaram o tema da aula por meio de pesquisas em diferentes fontes na internet.

Quadro 22 — Avaliação de desempenho dos estudantes nas aulas 5 e 6.

PARÂMETROS AVALIATIVOS	NÚMERO DE ESTUDANTES
Demonstra facilidade na realização das atividades?	18
Expressa o que aprendeu?	17
Apresenta claras contribuições de sua autoria?	8
Apresenta questionamentos?	15
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?	8
Aponta descobertas?	8

Aprofunda a pesquisa além do proposto?	9
Evidencia avanços nas habilidades observadas?	16

Fonte: Portaria estadual nº 4.904/2020 publicada no DOE 07/04/2020.

Na imagem 19, temos o grupo 4 testando sua montagem, após concluída a atividade. Para a realização do teste, os estudantes submergiram no interior de um béquer um tubo de PVC contendo fios ligados ao terminal base dos transistores do circuito. Cada fio está localizado ao longo do comprimento do tubo, de modo que a extremidade do fio, ao entrar em contato com a água, gera aumento de tensão na base do transistor, levando ao consequente aumento da corrente base-coletor, fazendo ligar os LEDs.

Imagem 19 — Estudantes do grupo 4 testando o funcionamento do circuito medidor.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

De forma geral, o grupo 4 demonstrou dificuldades para a realização das atividades apresentadas, exibindo baixo engajamento, pouca habilidade para selecionar, montar e analisar os circuitos propostos, além de demonstrar pouco interesse no material instrucional. Apesar do evidente sociointeracionismo demonstrado pelos integrantes do grupo, estes não apresentavam foco nas atividades e nas discussões teóricas, diferentemente de outros grupos. No entanto, considerando a atividade experimental 5, o grupo demonstrou interesse e maior participação, conseguindo utilizar de forma adequada as ferramentas manuais disponibilizadas, montando corretamente o circuito medidor e interagindo com o material instrucional. Acreditamos que a problematização e as discussões para dimensionar e montar um circuito capaz de medir o nível de água num reservatório estimulou os integrantes do grupo a participarem de forma ativa da atividade.

Imagem 20 — Estudantes do grupo 1 testando o funcionamento do circuito medidor.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Considerando o grupo 1, o mesmo, ao longo do trajeto de aprendizado, mostrou-se engajado e motivado na realização das atividades, proporcionando discussões, análises e soluções para os diversos problemas que, corriqueiramente surgiam durante as atividades. O grupo apresentou boa interação com o material instrucional, respondendo de forma clara e objetiva as perguntas discursivas presentes no material, sanando dúvidas e fomentando questionamentos. O grupo exibiu progressivo domínio das ferramentas manuais empregadas na atividade, além de interpretar de forma assertiva o funcionamento do circuito. Na imagem 20, vemos os integrantes do grupo testando o funcionamento do circuito medidor por eles montado.

Imagem 21 — Estudantes do grupo 2 testando o funcionamento do circuito medidor.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

O grupo 2, representado na imagem 21, apresentou elevado nível de engajamento e participação, demonstrando excepcional capacidade de interação entre os membros, extrema

facilidade de interação e compreensão com o material instrucional, grande facilidade para montar e analisar os circuitos propostos, elevado nível motivacional e domínio pleno dos conceitos prévios para o aprendizado em curso. Durante a montagem do circuito medidor, o grupo conseguiu manipular de forma precisa as ferramentas disponibilizadas e analisar de forma precisa seu funcionamento apresentando argumentos consonantes com a teoria dos semicondutores.

Imagem 22 — Estudantes do grupo 3 testando o funcionamento do circuito medidor.

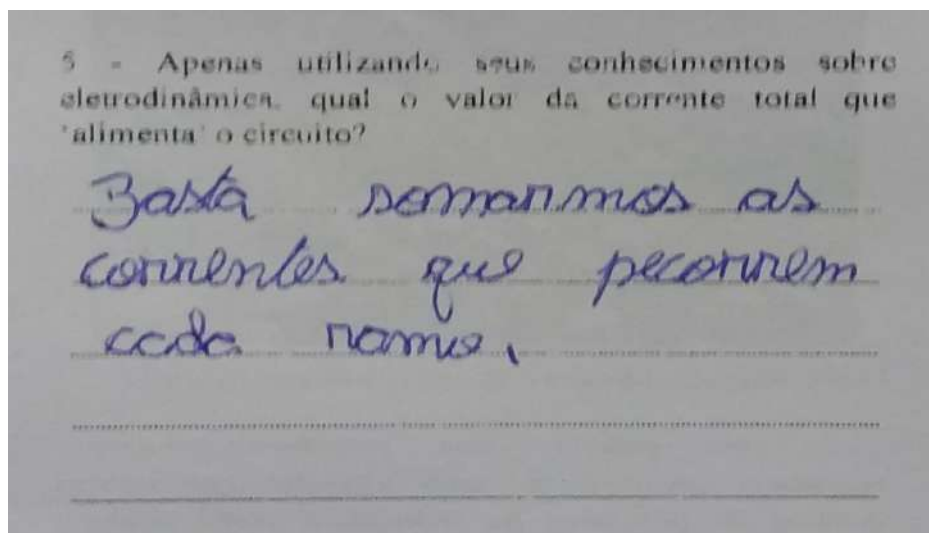


Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Na imagem 22, temos o grupo 3 testando seu circuito medidor. O grupo conseguiu montar de forma satisfatória o circuito da atividade, permitindo extrair conclusões corretas acerca do seu funcionamento. Ao longo da aplicação do produto educacional, o grupo apresentou boa capacidade de interação permitindo debater a teoria apresentada nas aulas e solucionar problemas durante a montagem dos circuitos. O grupo demonstrou boa interação com o material instrucional, permitindo relacionar de forma adequada os conceitos prévios com aqueles necessários para a análise dos circuitos.

Ao mesmo tempo, o grupo manteve-se organizado e focado na construção do circuito medidor, sendo este, importante objeto de estudo diante de sua função e características. De forma geral, o grupo conseguiu realizar todas as atividades propostas no produto educacional de forma satisfatória, exibindo as competências e habilidades esperadas. Destacamos também que o grupo procurou aprofundar os conteúdos desenvolvidos nas aulas por meio da pesquisa em sites destinados ao estudo dos semicondutores.

Imagem 23 — Resposta apresentada pelo estudante *I* na atividade experimental 5.

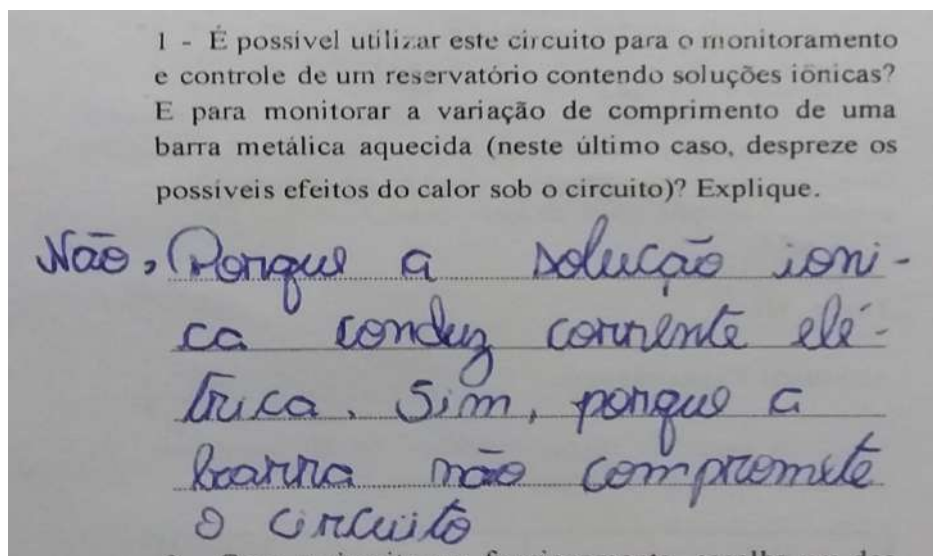


Fonte: Arquivo do autor, 2022.

Considerando os dados do quadro 23, destacamos a resposta formulada pelo estudante denotado por *I*, após a avaliação. O circuito em questão encontra-se no capítulo 5, subseção 5.2.5, figura 39, e a resposta dada, exemplifica a capacidade do estudante de expor aquilo que aprendeu. Dessa forma, o estudante respondeu a seguinte pergunta: Apenas utilizando seus conhecimentos sobre eletrodinâmica, qual o valor da corrente total que ‘*alimenta*’ o circuito? A resposta do estudante revela que este compreende a lei dos nós de Kirchhoff, sendo este capaz de determinar a corrente total que percorre o circuito por meio da soma das correntes individuais que percorrem cada um dos seus ramos.

É importante destacar que o estudante além de demonstrar conhecimento teórico acerca das leis de Kirchhoff, deveria demonstrar, de forma matemática, utilizando os instrumentos e materiais disponíveis na atividade, o desenvolvimento algébrico da pergunta proposta, permitindo adensar sua resposta, ao mesmo tempo mostrando capacidade numérica. Na imagem 23, apresentamos a resposta formulada pelo estudante *J* quando indagado pela seguinte pergunta: É possível utilizar este circuito para o monitoramento e controle de um reservatório contendo soluções iônicas? E para monitorar a variação de comprimento de uma barra metálica aquecida (neste último caso, despreze os possíveis efeitos do calor sob o circuito)? Explique. Analisando a resposta dada pelo estudante, percebe-se elevado nível de compreensão conceitual, sendo este capaz de utilizar conhecimentos prévios para estruturar sua resposta. O estudante também é capaz de prever assertivamente possíveis falhas no circuito, devido à sua exposição hipotética a soluções aquosas ionizadas ou quando exposto a ambientes ou objetos aquecidos.

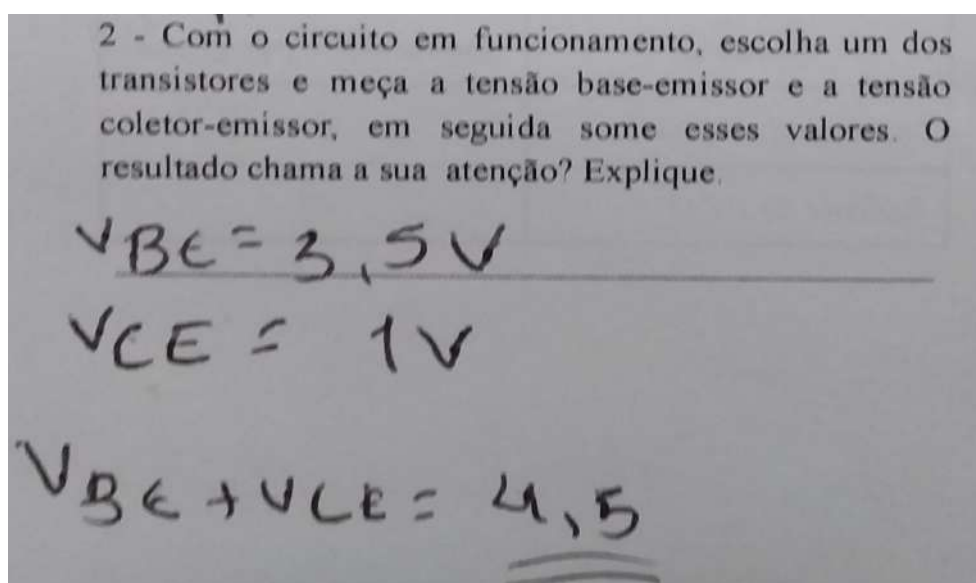
Imagem 24 — Resposta apresentada pelo estudante J na atividade experimental 5.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

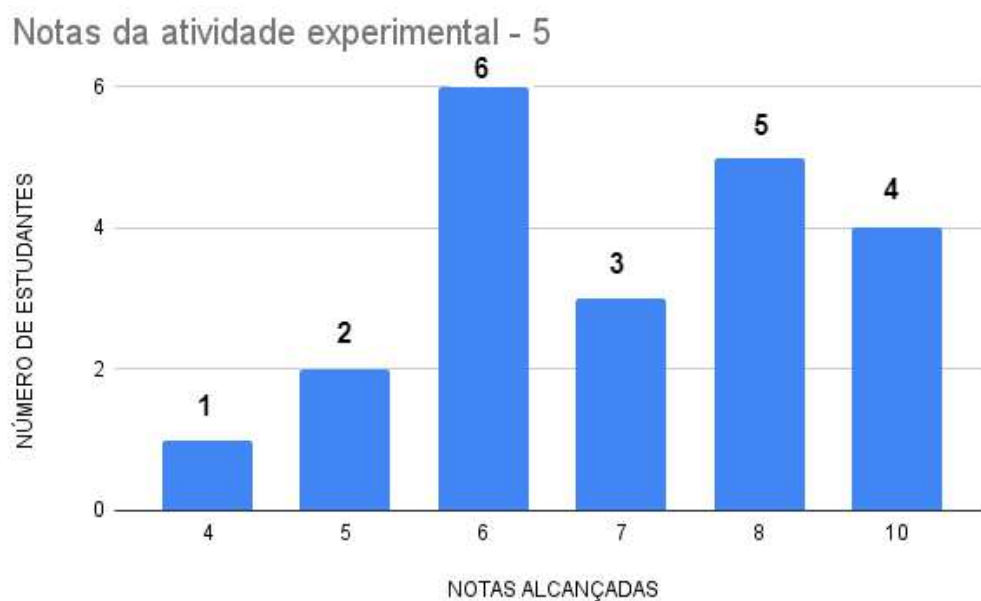
Na imagem 24, temos um exemplo da utilização correta do multímetro. O estudante é capaz de selecionar a grandeza elétrica e seu alcance de medição, permitindo obter os valores esperados para as tensões, que mais uma vez, corroboram com a lei de Kirchhoff para a tensão. A manipulação correta dos instrumentos e ferramentas é fundamental e foi realizada por todos os estudantes de modo que, nesta atividade, a maioria conseguiu apresentar razoável domínio destes materiais, corroborando com os dados apresentados no quadro 22, apontado que a maioria dos estudantes evidenciou algum avanço nestas habilidades.

Imagem 25 — Resposta apresentada pelo estudante H na atividade experimental 5.



Fonte: Arquivo do autor, 2022.

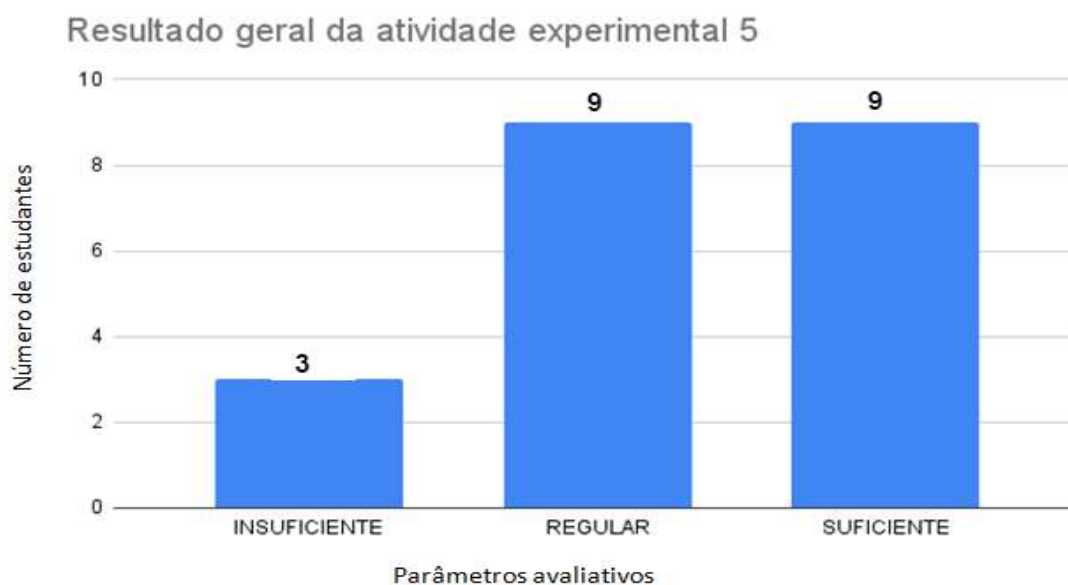
Gráfico 31 — Distribuição de notas da atividade experimental 5.



Fonte: Autor, 2022.

Após a avaliação, concluímos que a maioria dos estudantes conseguiu obter notas maiores ou iguais a 6,0, demonstrando substancial aprendizado. O gráfico 31 reúne as notas obtidas pelos estudantes. Observando o gráfico 32, observamos que o mesmo número de estudantes obteve rendimento regular e suficiente. Apenas 3 estudantes não alcançaram notas iguais ou maiores que 6,0. A seguir, apresentamos o resultado geral através do gráfico 33.

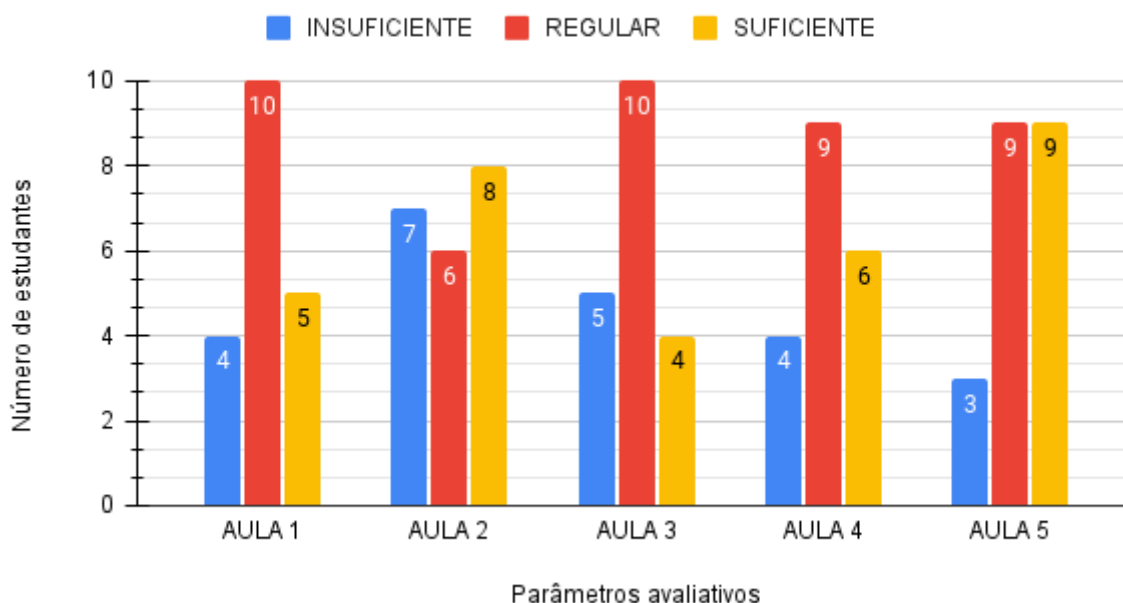
Gráfico 32 — Resultado geral da atividade experimental 5.



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 33 — Análise geral do desempenho dos estudantes.

Resultado geral da análise aula a aula



Fonte: Autor, 2022.

Considerando os resultados reunidos no gráfico 33, observamos que a maioria dos estudantes obtiveram resultado regular, considerando os parâmetros do quadro 12, demonstrando razoável nível de aprendizado. Destacamos também que ao longo do desenvolvimento das aulas, o número de estudantes com grau de aprendizado suficiente oscilou de 4 para 9, sendo o número de estudantes com grau de aprendizado regular equivalente ao daqueles com suficiência na aula 5.

Observamos também que o número de estudantes com desempenho insuficiente atingiu seus maiores valores durante as aulas 2 e 3, nas quais os circuitos montados e analisados exigiam interpretações funcionais, discussões sobre falhas e prováveis melhorias. Dessa forma, concluímos que nesta fase da aplicação do produto educacional os estudantes encontravam-se na zona de desenvolvimento proximal (conceito vygotskyano discutido no capítulo 4, página 75 desta pesquisa) na qual os conceitos adquirem maturação, permitindo desenvolver a habilidade de interpretar e resolver problemas. Sendo assim, observamos nas aulas 4 e 5 a diminuição do número de estudantes com desempenho insuficiente e aumento do número de estudantes demonstrando suficiência permitindo concluir que o produto educacional conduziu os estudantes ao aprendizado efetivo.

6.5 Avaliação de Conhecimentos Adquiridos e Resultados

O processo metodológico é finalizado com a aplicação de uma avaliação de conhecimentos adquiridos⁸ que tem por objetivo analisar o aproveitamento dos estudantes após a aplicação do produto educacional. Esta avaliação é composta por 10 perguntas discursivas nas quais o estudante deve demonstrar as habilidades e competências desenvolvidas ao longo do processo de ensino e aprendizagem, constituindo-se numa avaliação sistemática, que, segundo Souza J. (2002) *“a avaliação sistemática ou formal é aquela que exige objetivos bem definidos, critérios selecionados e está direcionada para um processo ou um resultado de uma situação específica e deve levar em conta o contexto em que está inserida”* (SOUZA J. 2010, p. 2).

Para cada pergunta correta é atribuído 1,0 ponto, de modo que a nota do estudante, denotada por N_C , encontra-se no intervalo $0 \leq N_C \leq 10,0$. Em seguida é determinado o número de notas $N_C \geq 6,0$, posteriormente comparado com o número total de estudantes que realizaram a avaliação, denotado por N_F . Dessa forma, em função do número de participantes N_F e do número de notas $N_C \geq 6,0$, estabelecemos o critério de avaliação global para análise da aplicação do produto educacional segundo o quadro 23.

Quadro 23 — Parâmetros de avaliação geral da aprendizagem.

PARTICIPANTES	SATISFATÓRIO	INSATISFATÓRIO
N_F	$N_C \geq 0,6N_F$	$N_C < 0,6N_F$

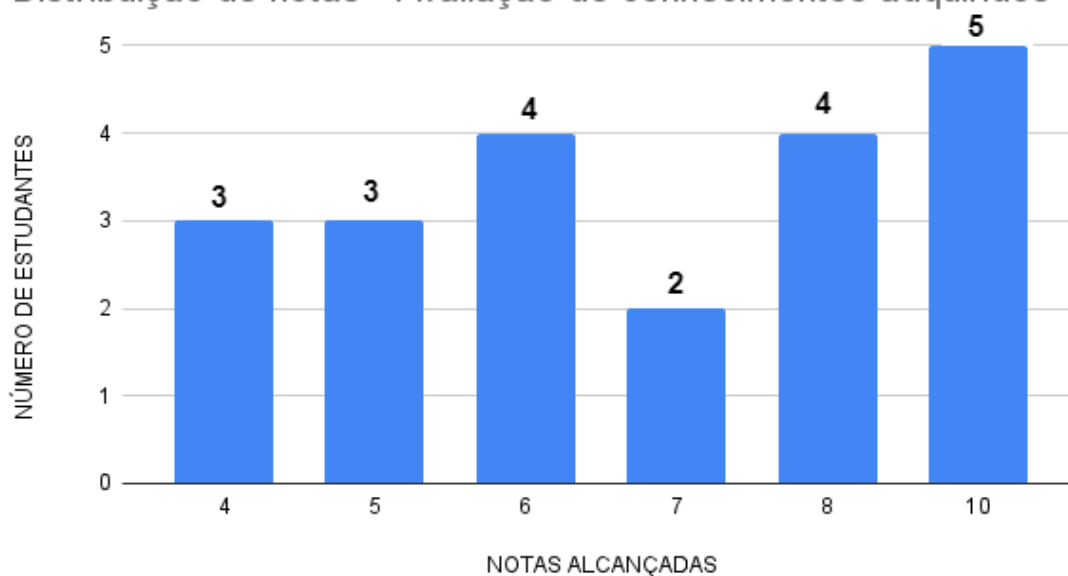
Fonte: Autor, 2022.

Sendo assim, considerando os parâmetros do quadro 23, concluímos que os estudantes apresentam êxito na aprendizagem se, pelo menos 60% destes, obtiverem notas N_C iguais ou maiores que 6,0. Semelhantemente, considerando o número total de notas N_C maiores ou iguais a 6,0 menor que 60% do total de participantes, concluímos que o processo não atingiu seus objetivos. Participaram desta avaliação 29 estudantes que responderam às 10 perguntas, elaboradas pelo autor, durante os 60 minutos disponibilizados. No gráfico 34, apresentamos a distribuição de notas obtidas pelos participantes, demonstrando que a maioria destes alcançaram notas superiores ou iguais a 6,0, corroborando para o êxito da proposta do produto educacional. O gráfico 35 apresenta o resultado geral da avaliação, permitindo concluir que dos 21 estudantes (71%) apresentaram bom aproveitamento ao passo que 6 estudantes (29%) apresentaram baixo aproveitamento.

⁸ A avaliação de conhecimentos adquiridos encontra-se no apêndice F desta dissertação.

Gráfico 34 — Distribuição de notas da avaliação de conhecimentos adquiridos.

Distribuição de notas - Avaliação de conhecimentos adquiridos

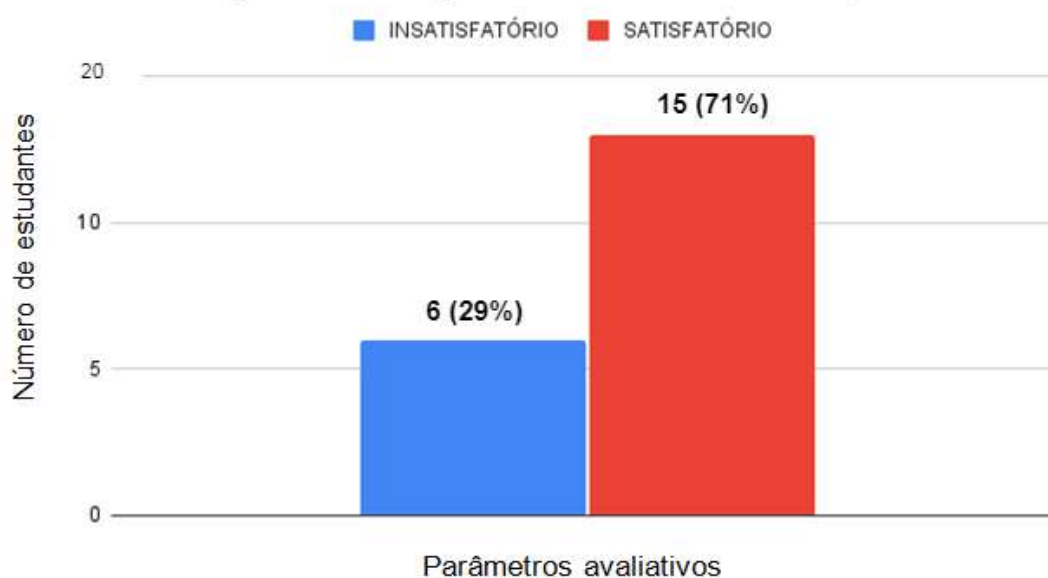


Fonte: Autor, 2022.

Considerando os resultados apresentados nos gráficos 34 e 35, conclui-se que o produto educacional atingiu seus objetivos como instrumento estratégico de ensino.

Gráfico 35 — Resultado geral.

Resultado geral da valiação de conhecimentos adquiridos.



Fonte: Autor, 2022.

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, concluímos que o ensino da física dos materiais semicondutores representa importante objeto de estudo no campo do ensino da física, constituindo-se num importante elemento da educação científica no Ensino Básico. Por meio da análise do rendimento dos estudantes ao longo do processo de aplicação do produto educacional, foi possível observar que a estratégia didática baseada na construção e análise de circuito práticos, mostrou-se satisfatória em associação com as teorias da retenção significativa do conhecimento de Ausubel e com o sociointeraccionismo de Vygotsky, sendo estes, elementos potencializadores da aprendizagem.

Ao mesmo tempo, observa-se que a proposta didática baseada na solução de problemas práticos induz maior motivação e engajamento dos estudantes, levando-os a aprofundar o tema em estudo, como também desenvolver habilidades indispensáveis no contexto profissional, considerando a atual conjuntura do Ensino Médio que busca preparar o jovem para o mercado de trabalho. Concluimos também que a construção e análise do circuito medidor de nível de água além ser um objeto motivador da aprendizagem, permitiu a integralização dos conteúdos desenvolvidos nas aulas, permitindo ao estudante reconhecer seu trajeto no processo de aprendizagem, identificando elementos importantes deste processo.

Dessa forma, o produto educacional cumpriu seu objetivo como instrumento de ensino baseado em processos ativos de transposição didática, rompendo com o modelo puramente expositivo, permitindo o diálogo e a participação do estudante de forma ampla, reconfigurando o espaço da sala de aula, que agora torna-se um laboratório no qual o estudante pode materializar seu objeto de aprendizado. Diante dessa possibilidade, concluímos que o estudo da física dos semicondutores no Ensino Médio é possível por meio da aplicação de técnicas didáticas que privilegiam a solução de problemas do cotidiano do estudante, levando-o a reconhecer a importância da eletricidade nos diferentes contextos do seu dia a dia.

Sendo assim, o produto educacional apresentado nesta pesquisa representa uma possibilidade viável para docentes do Ensino Básico que desejam ampliar o espectro de discussão tecnológica da eletrônica no Ensino Médio, permitindo adensar os conteúdos clássicos da eletrodinâmica presentes nos livros didáticos, criando a possibilidade do estudante reconhecer e apropriar-se das diferentes tecnologias que dominam o cenário social na atualidade.

8 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. R. MAIA, M. S. **Ensino da Física e o cotidiano: a percepção do aluno de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Sergipe**. Revista Scientia Plena, Vol. 4, Num. 4, p. 1-8, 2004. Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/610>. Acesso em: 27 set. 2021.
- ARAÚJO, M. S. T. ABIB, M. L. V. S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, P. 176 - 194, Junho, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 out. 2021.
- ASHCROFT, N. W. MERMIN, N. D. **Física do Estado Sólido**, Ed. Cengage Learning, Brasil, 2011.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**, 1nd edição, Ed. Plátano, Rio de Janeiro - RJ, 2003.
- BASTOS, J. P. A. **Eletromagnetismo para Engenharia: estática e quase-estática**, Ed. UFSC, Florianópolis - SC, 2004.
- BARBOZA, R. G. BATISTA, I. L. **Vygotsky: Um Referencial para Analisar a Aprendizagem e a Criatividade no Ensino da Física**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. RBPEC 18(1), 49–67. Abril 2018. Disponível em: [file:///D:/Downloads%202/4614-Texto%20do%20artigo%20\(PDF\)-14479-1-10-20180430.pdf](file:///D:/Downloads%202/4614-Texto%20do%20artigo%20(PDF)-14479-1-10-20180430.pdf). Acesso em: 06 ago. 2021.
- BARRETO, D. S. **Eletrodinâmica no Ensino Médio: Uma Construção de Conhecimentos por Meio de Experimentos Orientados**, 2019, f. 114, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal de Viçosa, 2019, Viçosa - MG. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/26989/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.
- 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>. Acesso em: 03 out. 2021.
- BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductório de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.
- BOYLESTED, R. L. NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1998b.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Consulta Pública. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2014. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf. Acesso em: 03 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+. Ensino Médio. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002b.

BROPHY, J. **Basic Electronics for Scientists**, Ed. McGraw-Hill, Kogakusha, LTDA International Student Edition, Second Edition, 1972.

CAMPOS, D. M. S. C. **Psicologia da Aprendizagem**, 20nd Ed. Vozes, Petrópolis, 1987.

CAPUANO, F. G. MARIANO, M. A. M. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**, Ed. Érica, São Paulo, 1988.

CARARA, M. L. **Dificuldade de Aprendizagem e Vulnerabilidade social sob a percepção da comunidade escolar**, Trabalho de conclusão de curso, Pós Graduação em Educação e Direitos Humanos: Escola, Violência e Garantia de Direitos, Universidade do Sul de Santa Catarina, 2016. Disponível em: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Artigo-Mariane.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

CASSIGNOL, E. J. **Semicondutores Física e Eletrônica**, Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1981.

CASTRO, A. D. *et al.* **Didática para a escola de 1º e 2º graus**, Ed. Pioneira, São Paulo, 1976.

CHAVES, J. M. F. HUNSCHE, S. **Atividades Experimentais Demonstrativas no Ensino de Física: Panorama a partir de Eventos da Área**, Universidade Federal do Pampa – Campus de Caçapava do Sul Curso de Licenciatura em Ciências Exatas – Semestre 2/2014, Trabalho de conclusão de Curso. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/cienciasexatas/files/2014/06/TCC-Jossuele.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

CLEMENT, L. TERRAZZAN, E. A. NASCIMENTO, T. B. **Resolução de Problemas no Ensino de Física Baseado numa Abordagem Investigativa**, IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/orais/ORAL159.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

COSTA, F. W. **A experimentação no ensino de Física: proposta de aplicação para temas do Ensino Médio**, 2018, 187f, Dissertação de mestrado em ensino de física, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade Departamento de Física, Química e Matemática, Universidade Federal de Sorocaba, 2018, Sorocaba - SP. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9528>. Acesso em: 03 out. 2021.

COSTA, G. *et al.*, **Demonstrações Investigativas sobre Circuitos Elétricos**, Revista A Física na Escola, v. 17, p. 14-19, n. 2, 2019. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol17-Num2/190303.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

CATELAN, S. S. RINALDI, C. **A Atividade Experimental no Ensino de Ciências Naturais: Contribuições e Contrapontos**, Revista Experiências em Ensino de Ciências V.13, p. 306-320, No.1, 2018. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID474/v13_n1_a2018.pdf. Acesso em: 03 out. 2021.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências Fundamentos e Métodos**, Ed. Cortez, São Paulo, 2009.

EVANGELISTA, F. L. CHAVES, L. T. **Uma Proposta Experimental e Tecnologia na Perspectiva de Vygotsky para o Ensino de Física**. Instituto de Física - Universidade de Brasília, Revista do Professor de Física, v. 3, n. 1, p. 177-200, Brasília, 2019. Disponível em: <file:///D:/Downloads%202/45992.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2021.

FARIA, A. F. VAZ, A. M. **Engajamento de Estudantes em Investigação Escolar sobre Circuitos Elétricos Simples**, Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências. 2019; 21: e10545. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/9n75KFXQfdrXMCbbwthL9fM/?lang=pt>. Acesso em: 03 out. 2021.

FILHO, J. M. **Ensino de Materiais Semicondutores: Uma Proposta Para o Ensino Médio**, 2019, f. 58, Trabalho de Conclusão de Curso, Física Licenciatura, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28138?locale=es>. Acesso em: 27 set. 2021.

FLINT, Y. **Essentials of Crystallography**, Ed. MIR Moscow, 1981.

GARCIA, N. M. D. **Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino**. Educar em Revista, Curitiba, Brasil, n. 44, p. 145-163, abr./jun. 2012. Editora UFPR. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/er/a/s4GKhPjFxxPXbKCNGGSzv9H/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 set. 2021.

GIANI, K. **A Experimentação no Ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca por uma Aprendizagem Significativa**, 2010, f. 190, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós - Graduação em ensino das Ciências, Universidade de Brasília - DF, 2010, Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9052>. Acesso em: 03 out. 2021.

GRAY, P. E. SEARLE, C. L. **Princípio de Eletrônica**, vol. 1, Ed. Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro, 1977.

GOMES, M. M. **Fatores que facilitam e dificultam a aprendizagem**, Revista Educação Pública, p. 1-4, ISSN: 1984-6290, 2021. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/18/14/fatores-que-facilitam-e-dificultam-a-aprendizagem>, Acesso em: 03 out. 2021.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

LIBÂNEO, C. J. **Didática**, Ed. Cortez, São Paulo, 2001.

LOPES, J. L. **A Estrutura Quântica da Matéria**, Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, 1992.

LUCIE, P. A **Gênese do Método Científico**, 2nd Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1978.

LUNARDI, G. TERRAZZAN, E. A. **Atividades no uso de Atividades Experimentais com Roteiros Abertos e Semi-Aberto em Aulas de Física**, IV Encontro Nacional de Pesquisa em

Educação em Ciências, Curitiba, Brasil, de 21 a 26 de março de 2003, no CEFET e UFPR em Curitiba/PR. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/painel/PNL081.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

MALVINO, A. P. **Eletrônica**, Ed. McGraw – Hill, São Paulo, 1987.

MENDONÇA, M. K. JANUÁRIO, P. M. M. **O uso da Mecatrônica como Ferramenta na Aprendizagem dos Conteúdos de Física**, Repositório da Secretaria de Estado da Educação do Paraná. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1875-8.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

MILLMAN, J. HALKIAS, C. C. **Electronic Devices and Circuits**, International Student Edition, McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 1967.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**, Editora Pedagógica e Universitária LTDA, São Paulo - SP, 1999.

NEVES, D. R. M. **A Experimentação no Ensino de Física com o uso da Eletrônica: Possibilidades e Desafios para a Formação de Professores**, 2019, f. 261, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/54618>. Acesso em: 03 out. 2021.

OLIVEIRA, N. SOARES, M. H. F. B. **As Atividades de Experimentação Investigativa em Ciência na Sala de Aula de Escolas de Ensino Médio e suas Interações com o Lúdico**, XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) – Brasília, DF, Brasil – 21 a 24 de julho de 2010, Disponível em: <http://www.sbq.org.br/eneq/xv/resumos/R1316-1.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

OLIVEIRA, S. **Tratado de Metodologia Científica**, Ed. Pioneira, São Paulo, 1997.

OKA, M. M. **História da Eletricidade**, São Paulo, Nov. 2000, (Apostila). Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. **Uma Revisão Bibliográfica Sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**, Revista Investigações em Ensino de Ciências – vol. 5(1), p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 27 set. 2021.

PANKOVE, J. I. **Optical Processes in Semiconductors**, Ed. Dover, Toronto, Canada, 1971.

PAULA, M. S. **Atividades Experimentais de Demonstração no Ensino de Ciências dos Anos Iniciais: Contribuições para uma Formação Crítica na Educação em Ciências**, Revista Labore Ensino de Ciências, Campo Grande, v.1, n. especial p. 17-28, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/labore/article/view/5347>. Acesso em: 03 out. 2021.

PEREIRA, W. H. S. LONDERO, L. **A Física Produzida no Brasil nas Coleções Didáticas do Programa Nacional do Livro Didático (2018-2020)**. Revista Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 21, p. 1-27, 2019; 21:e 12583. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/epec/a/MKP6sWKmMnmkJwyLNjHdYfs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 set. 2021.

POZO, R. I. CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o Ensino de Ciências**, 5nd Ed. Artmed, Porto Alegre, 2009.

RIBEIRO, I. S. ALMEIDA, L. S. GOMES, C. **Conhecimentos Prévios, Sucesso Escolar e Trajetórias de Aprendizagem: do 1º para o 2º Ciclo do Ensino Básico**, Revista Avaliação Psicológica, 2006, 5(2), p. 127-133. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712006000200002. Acesso em: 03 out. 2021.

RIHS, A. A. ALMEIDA, C. F. **A Teoria da Aprendizagem Significativa – O Enfoque de David Ausubel**, Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro – Unipac ISSN 2178-6925 Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Dezembro de 2017. Disponível em: [https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2017/a teoria da aprendizagem significativa_o enfoque de david ausubel_116.pdf](https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2017/a%20teoria%20da%20aprendizagem%20significativa_o_enfoque_de_david_ausubel_116.pdf). Acesso em: 06 ago. 2021.

RUDIO, R. V. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**, Vozes, Petrópolis, 1983.

RUTHERFORD, F. J. HOLTON, G. WATSON, F. G. **Project Physics Text**, Ed. Winston, New York, Toronto, 1975.

SACHS, M. **Solid State Theory**, Ed. McGraw – Hill, Boston, 1963.

SANTOS, E. G. **Uma Abordagem Histórica e Experimental sobre Eletricidade no Ensino Fundamental e Médio**, 2018, 98 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, cap. 7, Juiz de Fora - MG. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/6947/1/emelygirondossantos.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SCHEWTSCHIK, A. **O Planejamento de Aula: Um Instrumento de Garantia de Aprendizagem**, IV Seminário Internacional Representações Sociais, Subjetividade e Educação SIRSSE, p. 1-17, ISSN 2176-1396. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/26724_13673.pdf. Acesso em: 03 out. 2021.

SANTOS, C. A. **Por uma nova geração na indústria eletrônica**, Ciência hoje, 2010. Disponível em: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2980/n/por_uma_nova_geracao_na_industria_eletronica. Acesso em: 17 set. 2021

SILVA, P. P. S. SILVA, F. H. S. SILVA, M. F. V. **O Construtivismo e a Experimentação como Tendências Pedagógicas e Metodológicas para o Ensino de Física Moderna**, Revista Interações No. 39, p. 430-444, 2015. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/8750>. Acesso em: 03 out. 2021.

SIQUEIRA, K. S. **Ensino Virtual da Eletrostática para Alunos do 3º ano do Ensino Médio Auxiliado por Experimentos Caseiros como Estratégia de Aprendizagem Significativa: desafios pedagógicos frente à pandemia**. 2021. 198 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ensino das Ciências e Matemática, Instituto Federal de Alagoas, Arapiraca, 2021. Cap. 9. Disponível em:

<https://www.docsity.com/pt/ensino-virtual-da-eletrstatica/7654393/>. Acesso em: 03 out. 2021.

SOUZA, J. A. G. S. **Práticas Avaliativas: Reflexões**, p. 1-16, Repositório da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <https://www.ufjf.br/virtu/files/2010/04/artigo-2a17.pdf>. Acesso em: 03 out. 2021.

STUDART, N. **Inovando a Ensinagem de Física com Metodologias Ativas**, Instituto de Física - Universidade de Brasília, Revista do Professor de Física, v. 3, n. 3, p. 1-24, Brasília, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/28857>. Acesso em: 27 set. 2021.

STUPELMAN, V. FILARETOV, G. **Semiconductor Devices**, Ed. MIR Moscow, 1976.

TEIXEIRA, N. F. **Metodologias de Pesquisa em Educação: Possibilidades e adequações**, Caderno pedagógico, Lajeado, v. 12, n. 2, p. 7-17, 2015. ISSN 1983-0882, Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/cadped/article/view/955>. Acesso em: 03 out. 2021.

UGALDE, M. G. P. ROWEDER, C. **Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem**, Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, v. 6, p. 1-12, Edição Especial, e099220, ISSN: 2446-774X, 2020. Disponível: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/992>. Acesso em: 18 set. 2021.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

WALTER, H. **The Quantum Theory of Radiation**, Ed. Dover, Toronto, Canada, 1984.

APÊNDICE A

Produto Educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE
MATERIAIS SEMICONDUTORES

KLEBER SALDANHA DE SIQUEIRA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA

MACEIÓ/AL
2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA APRESENTADA AO 3 ° ANO T-01 DO ENSINO MÉDIO DA
ESCOLA ESTADUAL PROFESSOR JOSÉ MOACIR TEÓFILO

KLEBER SALDANHA DE SIQUEIRA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA

MACEIÓ/AL
2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito com diodo diretamente polarizado.....	19
Figura 2 - Circuito com diodo reversamente polarizado.....	19
Figura 3 - Montagem 1.....	20
Figura 4 - Montagem 2.....	21
Figura 5 - Montagem 3.....	22
Figura 6 - Circuito comutador de controle.....	31
Figura 7 - Montagem 4.....	31
Figura 8 - Montagem 5.....	32
Figura 9 - Montagem 6.....	32
Figura 10 - Montagem 7.....	33
Figura 11 - Diodo semiconductor.....	37
Figura 12 - Diodo polarizado diretamente.....	37
Figura 13 - Diodo polarizado inversamente.....	38
Figura 14 - Zona de depleção no diodo.....	40
Figura 15 - Teoria de bandas eletrônicas.....	40
Figura 16 - Controlador de potência.....	44
Figura 17 - Montagem 8.....	45
Figura 18 - Montagem 9.....	46
Figura 19 - Montagem 10.....	46
Figura 20 - Montagem 11.....	47
Figura 21 - Montagem 12.....	48
Figura 22 - Curva característica do diodo.....	53
Figura 23 - Transistores de junção NPN e PNP.....	54
Figura 24 - Distribuição dos portadores de carga no transistor NPN não polarizado.....	55
Figura 25 - Transistor NPN em polarização direta.....	55

Figura 26 - Transistor NPN em polarização reversa.....	56
Figura 27 - Transistor NPN em polarização direta-reversa.....	56
Figura 28 - Correntes no transistor.....	57
Figura 29 - Circuito amplificador básico.....	61
Figura 30 - Montagem 13.....	62
Figura 31 - Montagem 14.....	62
Figura 32 - Montagem 15.....	63
Figura 33 - Montagem 16.....	63
Figura 34 - Circuito medidor de nível de água.....	72
Figura 35 - Montagem 17.....	73
Figura 36 - Montagem 18.....	74
Figura 37 - Montagem 19.....	74
Figura 38 - Montagem 20.....	75
Figura 39 - Montagem 21.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Conteúdo programático.....	15
Quadro 2 — Teste de verificação da aula 1.....	19
Quadro 3 — Materiais da atividade experimental didática 1.....	24
Quadro 4 — Materiais para a atividade experimental 1.....	26
Quadro 5 — Teste de verificação da aula 2.....	30
Quadro 6 — Materiais da atividade experimental didática 2.....	35
Quadro 7 — Materiais para a atividade experimental 2.....	37
Quadro 8 — Teste de verificação da aula 3.....	44
Quadro 9 — Materiais da atividade experimental didática 3.....	50
Quadro 10 — Materiais para a atividade experimental 3.....	52
Quadro 11 — Teste de verificação da aula 4.....	60
Quadro 12 — Materiais da atividade experimental didática 4.....	66
Quadro 13 — Materiais para a atividade experimental 4.....	68
Quadro 14 — Teste de verificação da aula 5.....	71
Quadro 15 — Materiais da atividade experimental didática 5.....	78
Quadro 16 — Materiais para a atividade experimental 5.....	81

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Lei dos nós de Kirchhoff.....	58
Equação 02 - Ganho de corrente do coletor em relação à base.....	58
Equação 03 - Ganho de corrente do coletor em relação ao coletor.....	58

SUMÁRIO

1 UMA BREVE CONVERSA DE PROFESSOR PARA PROFESSOR(A)	8
2 POR QUE ESTUDAR SEMICONDUTORES NO ENSINO MÉDIO?	11
3 PÚBLICO ALVO	12
4 OBJETIVOS	12
5 CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	13
6 DESENVOLVENDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	14
6.1 Aula - 1	14
6.1.1 Planejamento pedagógico	14
6.1.2 Texto de apoio didático para o professor	15
6.1.2.1 Condução elétrica nos materiais	15
6.1.3 Teste de verificação 1	16
6.1.3.1 Orientações para a aplicação do teste 1	16
6.1.4 Atividade experimental didática 1	17
6.1.4.1 Orientações para a atividade experimental 1	18
6.1.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas	19
6.2 Aula - 2	24
6.2.1 Planejamento pedagógico	24
6.2.2 Texto de apoio didático para o professor	25
6.2.2.1 História dos semicondutores	25
6.2.2.2 Semicondutores e dopagem	27
6.2.3 Teste de verificação 2	28
6.1.3.1 Orientações para a aplicação do teste 2	28
6.2.4 Atividade experimental didática 2	29
6.2.4.1 Orientações para a atividade experimental 2	30
6.1.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas	31
6.3 Aula - 3	36
6.3.1 Planejamento pedagógico	36

6.3.2 Texto de apoio didático para o professor.....	37
6.3.2.1 O diodo semiconductor.....	37
6.3.2.2 Polarização direta.....	38
6.3.2.3 Polarização inversa.....	39
6.3.2.4 Zona de depleção.....	39
6.3.2.5 Entendendo a condução elétrica: teoria de bandas eletrônicas.....	40
6.3.3 Teste de verificação 3.....	42
6.3.3.1 Orientações para a aplicação do teste 3.....	42
6.3.4 Atividade experimental didática 3.....	43
6.3.4.1 Orientações para a atividade experimental 3.....	43
6.3.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas.....	45
6.4 Aula - 4.....	50
6.4.1 Planejamento pedagógico.....	50
6.4.2 Texto de apoio didático para o professor.....	52
6.6.2.1 Curva característica do diodo.....	52
6.6.2.1.1 Zona de polarização direta.....	52
6.6.2.1.2 Zona de transição da polarização reversa.....	52
6.6.2.1.3 Zona de polarização inversa.....	53
6.6.2.2 Transistor bipolar de junção.....	54
6.6.2.2.1 Análise de funcionamento do transistor.....	55
6.6.2.2.2 Correntes no transistor.....	56
6.6.2.2.3 Transistor como amplificador de sinal.....	57
6.4.3 Teste de verificação 4.....	58
6.4.3.1 Orientações para a aplicação do teste 4.....	58
6.4.4 Atividade experimental didática 4.....	59
6.4.4.1 Orientações para a atividade experimental 4.....	60
6.4.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas.....	61
6.5 Aulas - 5 e 6.....	64
6.5.1 Planejamento pedagógico.....	64

6.5.2 Texto de apoio para o professor.....	65
6.5.2.1 Circuitos como meio de solução de problemas.....	65
6.5.3 Teste de verificação 5.....	65
6.5.3.1 Orientações para a aplicação do teste 5.....	65
6.5.4 Atividade experimental didática 5.....	66
6.5.4.1 Orientações para a atividade experimental 5.....	67
6.5.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas	68
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
8 REFERÊNCIAS.....	73

1 UMA BREVE CONVERSA DE PROFESSOR PARA PROFESSOR(A)

Caro(a) professor(a), esta sequência didática tem como objetivo discutir a física dos materiais semicondutores no ensino médio a partir dos princípios que norteiam a educação científica atual. Tais princípios consolidam a ideia presente nos PCN que o ensino da física deve contemplar a tecnologia e seus principais avanços, permitindo ao estudante interagir de forma lúcida com o mundo tecnológico que o cerca. Neste contexto, trazemos a física dos componentes semicondutores no universo do ensino médio rompendo com os paradigmas que consideram este tema complexo e pertinente a literaturas e cursos específicos.

Considerando que o estudante do ensino médio está submerso numa sociedade altamente tecnológica, que depende forçosamente das propriedades dos materiais semicondutores para seu desenvolvimento, fica evidente que o ensino da física destes materiais deve ser introduzido ainda no último ano do ensino médio, permitindo que o estudante conclua seu ciclo escolar com uma compreensão razoável acerca deste assunto (FREITAS, 2013, p. 39).

Dessa forma, esta sequência didática procura sintetizar a física dos semicondutores a partir do ponto de vista pedagógico e metodológico próprios do ensino médio, provando que o desenvolvimento desta temática é viável e reverbera os preceitos educacionais hoje aceitos para o ensino da física (FREITAS, 2013, p. 40-41). Neste sentido, desenvolvemos uma sequência composta por seis aulas baseadas em atividade experimentais nas quais o estudante terá inicialmente contato com os aspectos teóricos inerentes ao assunto, permitindo, ao mesmo tempo explorar, através de experimentos didáticos, o comportamento eletrodinâmico de diodos e transistores. Paralelamente à dinâmica experimental, serão aplicadas atividades compostas por perguntas objetivas e discursivas, permitindo dimensionar o aprendizado dos estudantes.

Nas duas últimas aulas, o estudante irá construir um circuito (sensor) medidor de nível de água com o objetivo de integralizar a teoria desenvolvida por meio da análise do circuito composto pelos seus diversos elementos, incluindo diodos e transistores. Nesta etapa, o estudante deverá explicar, por meio de um questionário, como o funcionamento do circuito está associado às propriedades dos materiais semicondutores. Durante a realização desta atividade final o estudante será levado a demonstrar habilidades e competências adquiridas ao longo do estudo da eletrodinâmica básica, incluindo a utilização correta do multímetro, ferramentas manuais básicas e a interpretação esquemática de circuitos.

Cada aula está planejada de forma que o professor tem à sua disposição, além dos elementos fundamentais do planejamento pedagógico, textos de apoio didático cujo objetivo é fornecer para o docente elementos teóricos para o desenvolvimento das aulas. Dessa forma, os textos apresentados no planejamento de cada uma das seis aulas, permitem o aprofundamento teórico do tema, muitas vezes suprimido nos livros didáticos. Cada aula foi organizada com o objetivo de resgatar conceitos do escopo da análise de circuitos, permitindo ao estudante ampliar seu estudo preliminar baseado no comportamento de circuitos resistivos e capacitivos, levando-o a compreender a articulação existente entre componentes passivos (resistências, capacitores, etc) e ativos (semicondutores).

A primeira aula desta sequência procura desenvolver os aspectos básicos associados à mobilidade eletrônica nos materiais condutores e isolantes, ao mesmo tempo localizar os semicondutores numa categoria intermediária, destacando a dopagem como técnica para obtenção dos materiais semicondutores. Ao mesmo tempo, o diodo semicondutor é apresentado como principal elemento de circuito sendo capaz de conduzir corrente elétrica em apenas um sentido. A segunda aula propõe uma discussão baseada na evolução histórica dos materiais semicondutores, revelando para o estudante os principais fenômenos que motivaram o estudo da eletricidade e os primeiros estudos envolvendo substâncias semicondutoras.

Diversos atores históricos são destacados culminando no desenvolvimento do diodo e do transistor em meados dos anos 40. Ao final são introduzidas as definições de material intrínseco e extrínseco de modo a explorar o fenômeno da condução elétrica no semicondutor. Em seguida, o diodo é analisado destacando seu funcionamento a partir da movimentação dos portadores de carga característicos do material. Nesta aula são desenvolvidos os conceitos de polarização direta e polarização reversa ao mesmo tempo que é apresentado o conceito de zona de depleção e como esta relaciona-se com a polarização.

Na terceira aula é estudada a teoria de bandas eletrônicas e como esta revela o comportamento elétrico dos materiais, pontuando as principais diferenças entre condutores, isolantes e semicondutores. Ao mesmo tempo os conceitos de polarização direta e inversa são retomados com o objetivo de viabilizar a construção e estudo da curva característica do diodo semicondutor. O estudante nesta etapa irá reunir os diversos conceitos desenvolvidos até então por meio da curva característica que permite compreender o funcionamento do diodo em polarização direta ou inversa.

Concluída a sequência inicial de três aulas, o transistor é apresentado como componente derivado do diodo, reunindo suas características elétricas diferenciado-se por sua

capacidade de amplificação de sinais elétricos. São apresentados os transistores NPN e PNP suas características funcionais e construtivas, finalizando assim a apresentação teórica dos componentes semicondutores. Ressaltamos que a aplicação desta sequência didática dar-se-á por meio da aplicação de experimentos que serão descritos nas seções seguintes desta sequência didática. As duas últimas aulas são reservadas para a atividade experimental integralizadora, que, como pontuado anteriormente, consiste na construção de um circuito medidor de nível de água baseado em semicondutores.

A cada aula desenvolvida serão realizados experimentos nos quais o estudante, por meio do fornecimento de um kit de componentes e instrumentos, irá montar e testar circuitos compostos por díodos, transístores, resistências, fontes de tensão e potenciômetros, materializando assim os conceitos teóricos abordados nas aulas que terão caráter expositivo e dialógico. Sendo assim, acreditamos que esta sequência didática contribuirá significativamente no campo do ensino da física permitindo a reflexão sobre o currículo relacionado ao ensino da eletricidade que a décadas concentra-se no estudo dos componentes passivos em dissonância com os atuais avanços tecnológicos no campo da eletrônica.

Os autores

2 POR QUE ESTUDAR SEMICONDUTORES NO ENSINO MÉDIO?

O ensino da física torna possível a contextualização dos avanços observados no campo da pesquisa aplicada no ensino básico, possibilitando para o docente estabelecer estratégias de ensino que valorizam as diferentes tecnologias presentes no cotidiano do estudante. Nesse contexto, é fundamental promover a educação científica com o objetivo de tornar o estudante capaz de apropriar-se das diversas tecnologias que hoje moldam a forma como o homem vê o mundo (OLIVEIRA, FERREIRA e MILL, 2016, p. 149-150). Neste sentido, o ensino da física dos semicondutores representa uma necessidade diante da influência destes materiais na revolução tecnológica iniciada no século passado, como também por corroborar com atuais parâmetros curriculares no ensino das ciências.

Sendo assim, o estudo dos semicondutores, a partir da apresentação do diodo como dispositivo eletrônico de estado sólido, destacando suas potencialidades tecnológicas e vantagens construtivas e funcionais, permite ao estudante compreender a evolução da eletrônica e quais imperativos desencadearam esta evolução. Dessa forma, estudar os materiais semicondutores, permite ao estudante ampliar seus conhecimentos sobre eletrodinâmica, ao mesmo tempo compreender a importância da solução de problemas por meio da tecnologia (FREITAS, 2013, p. 40).

É importante destacar a estreita relação existente entre a física moderna e o estudo dos semicondutores, sendo este fator que corrobora com os parâmetros curriculares nacionais, que enfatizam buscam o contínuo aprimoramento do currículo das ciências, que segundo Rocha, Herscovitz e Moreira (2010):

Para que se saliente o desenvolvimento contínuo da ciência, faz necessário atualizar constantemente o currículo educacional e para que esta atualização chegue às sala de aula do Ensino Médio é primordial que haja um adequado preparo dos professores, propiciando que estes estejam seguros de seu conhecimento (ROCHA, HERSCOVITZ e MOREIRA, 2010, p. 2).

A discussão de temas como este no ensino médio reafirma a ideia aceita por educadores que o ensino da física precisa ampliar seus objetos de ensino, valorizando temas atuais relacionados com os últimos avanços da ciência. Sendo assim, a física dos semicondutores no ensino médio permite reforçar o ensino da física moderna que têm progressivamente ganhando visibilidade a partir das diferentes tecnologias desenvolvidas a partir de seus princípios. Desta forma, Rocha (2001) afirma que *“há uma necessidade*

inerente à reforma curricular do Ensino Médio, de apresentar-se, nas disciplinas de Física, entre outras, teorias científicas desenvolvidas mais recentemente”.

Outrossim, é importante destacar a riqueza conceitual associada à física dos semicondutores que permite aperfeiçoar conceitos e ideias relacionadas aos fenômenos de transporte de cargas elétricas, permitindo introduzir os conceitos de bandas de condução e dopagem, levando o estudante a desenvolver conceitos típicos da teoria atômica estudados em séries anteriores. Diante deste contexto, Pinto (2008) afirma:

[...] é preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo (PINTO, 2008, p. 7).

Corroboramos com a ideia que o ensino de temas ligados à física moderna no ensino médio é importante, considerando os parâmetros curriculares nacionais, que buscam introduzir o estudante num contexto social onde predomina a tecnológica, em suas diversas formas.

3 PÚBLICO ALVO

Esta sequência didática foi elaborada para os estudantes do 3º ano do ensino médio. A escolha foi feita a partir da adequação do tema aos conteúdos normalmente desenvolvidos desta etapa do ensino básico, além disso, o grau de abstração do tema exige habilidades e competências típicas dos estudantes no último ano do ensino médio.

4 OBJETIVOS

Buscamos desenvolver o ensino da física dos materiais semicondutores e dos circuitos elétricos com elementos ativos, por meio de uma abordagem dialógica e experimental, fornecendo para o estudante elementos básicos que permitam a compreensão das diferentes aplicações dos materiais semicondutores no seu cotidiano ao mesmo tempo mostrar que a supressão de certos temas nos livros didáticos não está de acordo com a perspectiva tecnológica atual, que, substituiu por várias décadas a teoria dos semicondutores do currículo escolar por um tratamento simples baseado nos circuitos elétricos tradicionais, enfatizando componentes resistivos, capacitores, transformadores, bobinas e os diversos circuitos formados por estes elementos.

Ao mesmo tempo objetivamos introduzir alguns aspectos relacionados à física moderna, especificamente a teoria de bandas eletrônicas e como esta explica a condução de eletricidade nos materiais, mostrando para o estudante que tal processo possui determinado grau de complexidade envolvendo importantes resultados da física do estado sólido. Dessa forma, elencamos de forma pontual os seguintes objetivos a serem alcançados a partir da aplicação deste produto educacional:

5 CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

O conteúdo está dividido em 6 aulas de 60 minutos juntamente com uma atividade experimental a ser realizada ao final das aulas, totalizando 6 horas-aula. No quadro 1 apresentamos os conteúdos a serem ministrados e a carga horária relacionada.

Quadro 1 — Conteúdo programático.

AULA/CONTEÚDO	CARGA HORÁRIA
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do Plano de Ensino sobre a física dos materiais semicondutores; • Revisão: diferenciação dos materiais entre isolantes, condutores e semicondutores; 	(1ª Aula - 60min)
<ul style="list-style-type: none"> • História e evolução dos materiais semicondutores; • Dopagem e definição de semicondutor intrínseco e extrínseco; 	(2ª Aula - 60min)
<ul style="list-style-type: none"> • Zona de depleção; • Fluxo de portadores de carga; • Teoria de bandas eletrônicas; • Tensão de operação; 	(3ª Aula - 60min)
<ul style="list-style-type: none"> • Curva característica do diodo; 	(4ª Aula - 60min)

<ul style="list-style-type: none"> • Transistor bipolar de junção NPN e PNP; • Polarização do transistor e funcionamento; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Atividade experimental: construção e análise de um circuito medidor de nível de água; 	(5ª e 6ª Aula - 120min)

Fonte: Autor, 2021.

6 DESENVOLVENDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esta sequência didática é composta por 6 aulas, nas quais são propostas 5 atividades experimentais e uma atividade experimental final cujo objetivo é permitir ao estudante resgatar conceitos, princípios e operacionalizar o estudo dos materiais semicondutores por meio da construção de um circuito de medição de nível de água.

Considerando a pouca (ou nenhuma) oferta de materiais didáticos voltados para o estudo deste tema no nível médio e considerando que este assunto é desenvolvido apenas em literaturas específicas, sem vínculo com o ensino básico, apresentamos nesta sequência, além dos aspectos organizacionais pedagógicos, textos didáticos de apoio produzidos pelo próprio autor desta sequência, com o objetivo de suprir a baixa demanda de materiais voltados para este estudo no nível básico de ensino. A seguir serão caracterizadas as aulas que compõem esta sequência como também orientada a abordagem de ensino a ser seguida pelo professor.

6.1 Aula - 1

6.1.1 Planejamento pedagógico

- **Apresentação do tema:** Nesta etapa o professor irá comunicar aos estudantes que será iniciado o estudo dos materiais semicondutores levando em conta sua importância tecnológica, pontuando suas diferenças em relação aos demais materiais comumente conhecidos pelos estudantes.
- **Conteúdo:** Condutores, semicondutores e isolantes, análise dos graus de mobilidade eletrônica em cada um destes tipos de materiais.
- **Duração:** 60 minutos.

- **Objetivo:** Levar ao estudante à concepção de semicondutor permitindo ampliar seus conceitos sobre corrente elétrica, explicando o que são e quais as diferenças entre elementos passivos e ativos, destacando exemplos de cada tipo.
- **Recursos:** Será utilizado projetor de vídeo com o objetivo de ilustrar de forma ampla os conceitos desenvolvidos e as estruturas atômicas dos materiais, simulações, vídeos e animações. Serão usados também marcadores multicoloridos e quadro branco.
- **Desenvolvimento:** Inicialmente o professor pode mostrar a importância do estudo dos materiais semicondutores mencionando suas principais diferenças dos demais materiais, introduzindo ao mesmo tempo o diodo como componente eletrônico peculiar feito de material semicondutor e com a propriedade de conduzir corrente apenas em um sentido, comportamento diferente daquele demonstrado pelo resistor e pelo capacitor, elementos conhecidos pelo estudante até aquele momento. Recomendamos a utilização do projetor como forma de visualização para o estudante dos aspectos moleculares que definem as propriedades elétricas dos condutores, isolantes e semicondutores através de simulações, vídeos e animações.

6.1.2 Texto de apoio didático para o professor

6.1.2.1 Condução elétrica nos materiais

A ciências dos materiais costuma classificar as substâncias a partir do grau de mobilidade dos elétrons neles contidos. Esta classificação define os materiais em condutores, semicondutores e isolantes (VLACK, 1988, p. 106-117). A partir desta definição podemos dizer que os materiais condutores são aqueles cuja mobilidade eletrônica é muito elevada, ou seja, possuem elétrons livres passíveis de serem deslocados de forma organizada e orientada numa quantidade que os tornam excelentes condutores de eletricidade e calor (VLACK, 1988, p. 107-118).

Já os materiais isolantes, antagonicamente aos condutores, possuem pouquíssimos elétrons livres passíveis de deslocamento e ordenamento o que os tornam materiais incapazes de gerar corrente elétrica sendo bastante utilizados na fabricação de objetos isolantes de eletricidade e calor, como cabos de painéis e emborrachados de isolação elétrica. No entanto, com propriedades elétricas intermediárias, temos os materiais semicondutores, dotados de uma certa quantidade de elétrons livres que conferem-lhes propriedades elétricas muito peculiares (VLACK, 1988, p. 110-111). Estes materiais são principalmente empregados na

indústria eletrônica para a fabricação de componentes como chips, micro chips, transistores e diodos.

Todos os componentes listados anteriormente representam o que há de mais avançado hoje na indústria eletrônica. É graças a eles que hoje temos tablets, smartphones, notebooks e toda uma série de novas tecnologias que vem a passos largos mudando nossa forma de ver e interagir com o mundo.

6.1.3 Teste de verificação 1

Considerando os propósitos educacionais desta sequência didática que procura desenvolver a temática dos semicondutores de forma dialógica concomitantemente à aplicação de atividades experimentais, julgamos importante a aplicação de testes avaliativos compostos por 10 perguntas nos quais o estudante deve marcar verdadeiro ou falso, com o intuito de verificar de forma inicial a assimilação dos conceitos básicos desenvolvidos nas aulas. Julgamos importante esta estrutura de testes devido ao tempo necessário para a conclusão de todas as etapas da aula, permitindo maior racionalização, evitando acumular o teste com materiais transitórios e menos importantes sobrecarregando o estudante (VENDRAMINI, SILVA e CHENTA, 2006, p. 1).

Nesse sentido, orientamos o professor a distribuir para os estudantes, durante os momentos finais da exposição teórica do conteúdo, os roteiros de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos a serem realizados na aula. Dessa forma, após a resolução do teste pelo estudante, este irá realizar os experimentos solicitados e passará a responder as perguntas discursivas presentes no roteiro de atividade. No quadro 2 organizamos as perguntas e as respostas que o estudante deve assinalar de forma correta.

6.1.3.1 Orientações para a aplicação do teste 1

Abaixo seguem as orientações a serem seguidas pelo professor para a aplicação do teste de verificação. Tais orientações devem ser seguidas na sequência apresentada.

- Distribuir o roteiro de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos propostos próximo ao final da exposição teórica do conteúdo.
- Delimitar o tempo de até 5min para a resolução do teste.
- Enfatizar a importância do teste como ferramenta de avaliação.
- Orientar os estudantes a concentrarem-se no conteúdo desenvolvido na aula e nos conhecimentos prévios que dominam.

Quadro 2 — Teste de verificação da aula 1.

PERGUNTA	ENUNCIADO	RESPOSTA CORRETA
Pergunta - 01	Os materiais condutores são aqueles ricos em elétrons livres	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 02	Os materiais isolantes são aqueles que dificultam a passagem da corrente elétrica.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 03	Em geral, os materiais condutores de eletricidade são péssimos condutores de calor.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 04	A borracha é um ótimo isolante elétrico.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 05	Os materiais semicondutores são muito parecidos com os isolantes.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 06	Os semicondutores possuem comportamento elétrico intermediário entre condutores e isolantes.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 07	Os semicondutores não possuem grandes aplicações tecnológicas.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 08	Os semicondutores são muito usados na indústria eletrônica.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 09	Os semicondutores possuem comportamento idêntico aos metais.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 10	Os semicondutores mudaram a forma como utilizamos a tecnologia.	Verdadeiro (X) Falso ()

Fonte: Autor, 2021.

6.1.4 Atividade experimental didática 1

As atividades experimentais representam o elemento básico de transposição didática para o ensino da física dos semicondutores neste produto educacional. Dessa forma, tendo em vista a exposição teórica e a resolução do teste de avaliação, o estudante realizará, na sequência, as atividades experimentais propostas no roteiro disponibilizado. Considerando as

discussões apresentadas e os objetivos da aula, o estudante deve montar os circuitos das figuras 1 e 2 respondendo as perguntas discursivas subsequentes. O estudante deve ser capaz de construir um circuito composto por uma única malha por meio das informações contidas no roteiro de atividades, apropriando-se dos termos e conceitos explorados no estudo da eletricidade.

Sendo assim, esta atividade tem por objetivo mostrar para o estudante a capacidade de condução unidirecional do diodo ao mesmo tempo levar o estudante a compreender as diferentes configurações de funcionamento do dispositivo permitindo resgatar conceitos já estudados no campo da eletrodinâmica. A seguir serão detalhadas as atividades e fornecidas as orientações para sua execução, ao final são apresentadas as perguntas discursivas a serem respondidas pelo estudante em função da análise dos experimentos e suas respostas esperadas.

6.1.4.1 Orientações para a atividade experimental 1

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 3. Inicialmente o estudante é solicitado a construir um circuito composto por uma fonte de tensão, uma lâmpada e um diodo. Ele deve ser capaz de construir um circuito formado por uma malha. Nesse sentido, as etapas seguintes devem ser realizadas pelo professor durante a execução da atividade na ordem apresentada.

Antes do experimento:

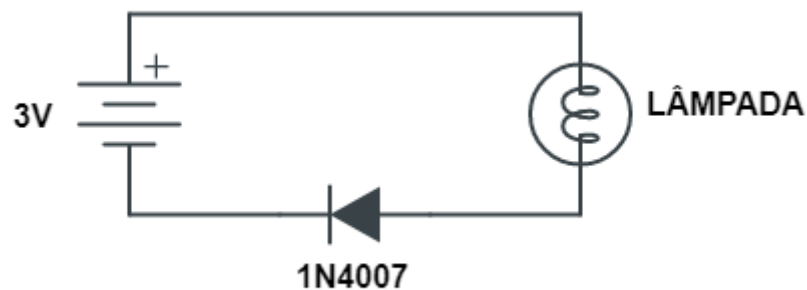
- O professor deve entregar o kit contendo todos os componentes e ferramentas manuais para a execução da atividade.
- Deve entregar o kit ao líder do grupo que deve orientar e auxiliar os demais integrantes.
- Deve pedir para que todos leiam o roteiro de atividades e realizem a montagem dos circuitos propostos de acordo com as instruções.
- Deve pedir para que todos, durante a montagem, respondam as perguntas discursivas no final do roteiro.

Durante o experimento:

- O professor deve acompanhar cada grupo dialogando, dirimindo dúvidas e analisando a interação dos estudantes, incentivando a participação de todos.

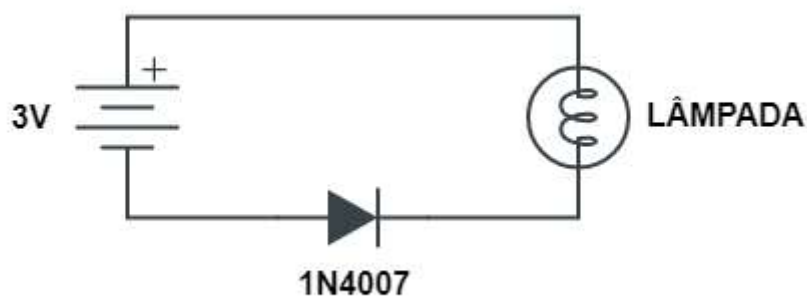
- Analisar as montagens que devem ser idênticas às das figuras 1 e 2, sugerindo modificações diante de problemas de montagem.
- Deve fazer indagações preliminares sobre o funcionamento dos circuitos gerando reflexões e debates com o intuito de subsidiar a resolução das perguntas que devem ser respondidas durante a atividade.
- Identificar as potencialidades de cada grupo no tocante à organização, trabalho em equipe e capacidade de montar e interpretar os circuitos.

Figura 1 - Circuito com diodo diretamente polarizado.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 2 - Circuito com diodo reversamente polarizado.



Fonte: Autor, 2021.

6.1.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas

Nesta subseção, apresentamos as perguntas discursivas a serem analisadas e respondidas pelos estudantes durante a execução da atividade, também apresentamos as respostas e montagens esperadas.

1 - Em qual das montagens a lâmpada não acendeu? Você sabe explicar o porquê?

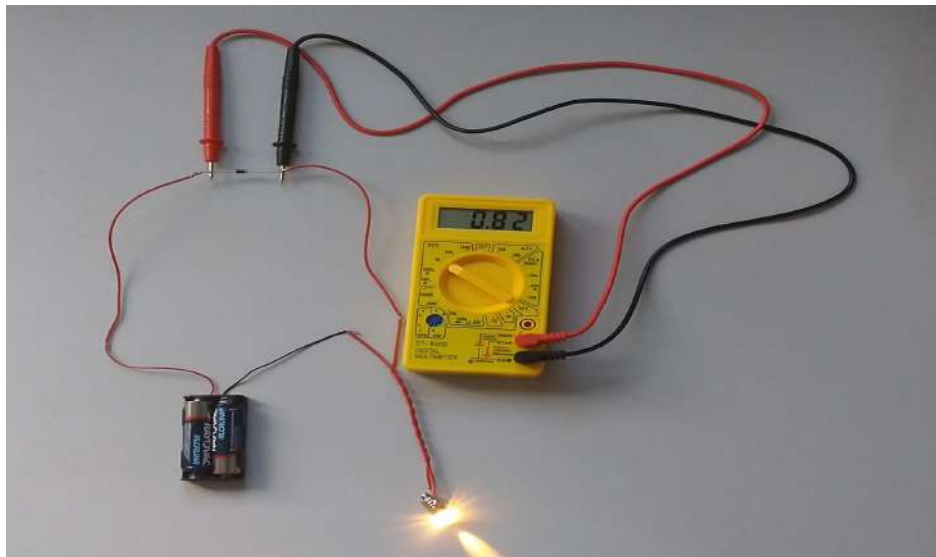
Resposta esperada:

Na montagem onde o cátodo está polarizado inversamente, ou seja, quando o terminal positivo da fonte está diretamente ligado ao terminal do diodo identificado pela faixa acinzentada.

2 - Utilizando o multímetro, meça a tensão no diodo. A partir do valor encontrado determine o valor da tensão na lâmpada.

Resposta esperada e montagem:

Figura 3 - Montagem 1.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

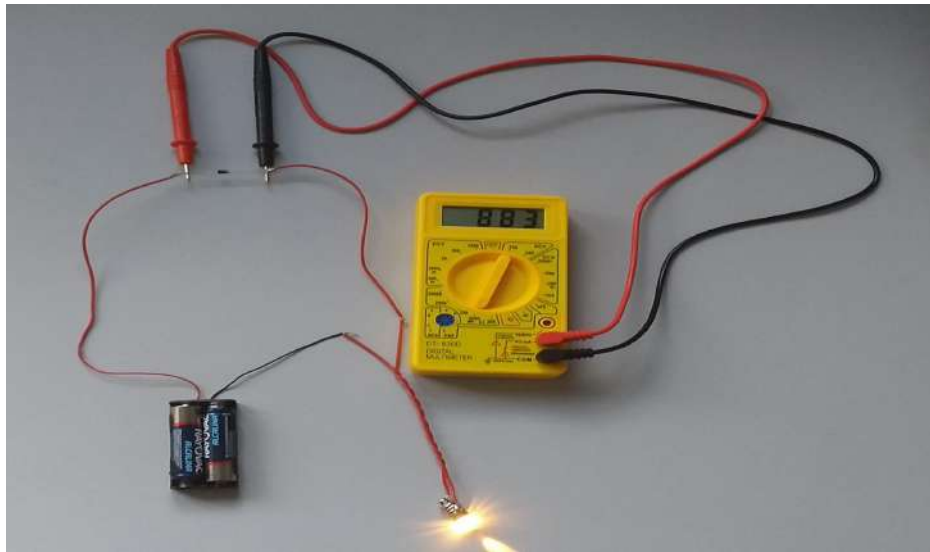
Considerando o princípio da conservação da energia, sabemos que: $U = U_1 + U_2$. Sendo assim, considerando U_1 o valor da tensão no diodo e U a tensão da fonte, temos que a tensão da lâmpada vale $U_2 = U - U_1$. Dessa forma, considerando a leitura do multímetro e a tensão gerada pelas duas pilhas, ambas de $1,5V$, temos:

$$U_2 = 3 - 0,82 = 2,18V$$

3 - Considerando a tensão do diodo, obtida na pergunta anterior, meça o valor da resistência elétrica do diodo e calcule a corrente elétrica que percorre o filamento da lâmpada.

Resposta esperada e montagem:

Figura 4 - Montagem 2.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Sendo a circuito constituído por uma única malha, concluímos que a corrente elétrica que percorre o diodo é a mesma que percorre a lâmpada, sendo assim, utilizando a lei de Ohm, temos:

$$I = \frac{U_1}{R_1}$$

Onde:

$U_1 \rightarrow$ Representa a tensão do diodo.

$R_1 \rightarrow$ Representa a resistência elétrica do diodo.

$I \rightarrow$ Representa a corrente elétrica no diodo e na lâmpada.

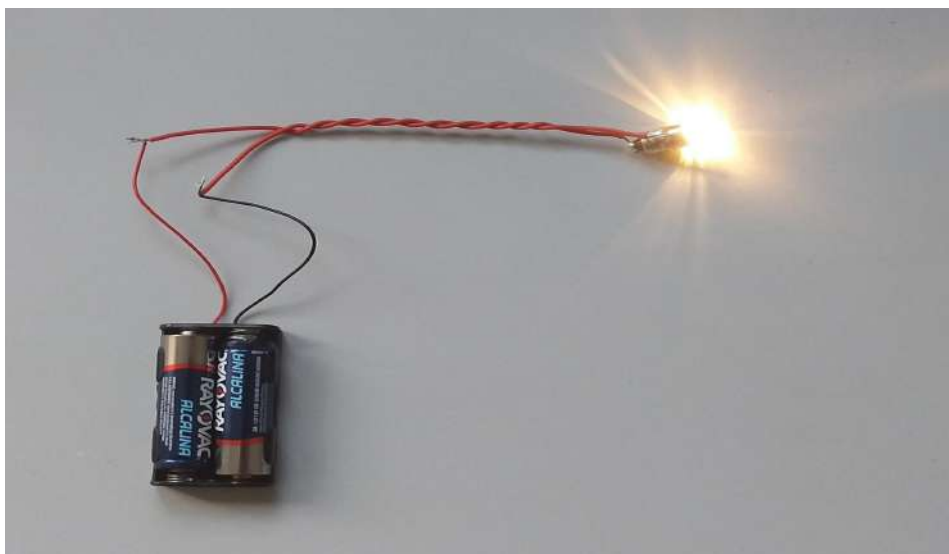
Observando a leitura do multímetro, vemos que a resistência do diodo equivale a 883Ω e considerando a leitura da tensão obtida na pergunta anterior, temos:

$$I = \frac{0,82}{883} = 0,9mA$$

4 - Retire o diodo e ligue a lâmpada diretamente na pilha. Observe a diferença de brilho da lâmpada. O que significa isso? Explique.

Resposta esperada e montagem:

Figura 5 - Montagem 3.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

O diodo, como qualquer componente eletrônico, possui resistência elétrica, dessa forma, ao removermos o diodo, estamos reduzindo a resistência elétrica do circuito o que leva ao aumento da intensidade da corrente elétrica, gerando, por conseguinte, aumento do brilho da lâmpada.

5 - Quando polarizado no sentido inverso, o diodo pode impedir a passagem da corrente sob qualquer tensão? Por que?

Resposta esperada:

Não, pois o diodo possui limite para a tensão inversa de modo que para valores superiores desta tensão o diodo conduzirá de modo forçado, o que pode danificar o componente.

Materiais para a atividade experimental 1:

Quadro 3 — Materiais da atividade experimental didática 1.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none"> • Tensão DC faixas: 200mV, 2000mV, 20V, 200V, 1000V • Tensão AC faixas: 200V, 750V • Corrente DC faixas: 200μA, 2000μA, 20mA, 200mA, 10A • Resistência faixas: 200W, 2000W, 20kW, 200kW, 2000kW 	

- Diodo faixa: Diodo
- Indicação: Queda de tensão aproximada sobre o diodo
- Condição de teste: Corrente direta aproximada de 1mA DC
- Tensão reversa aproximada de 2.8V DC



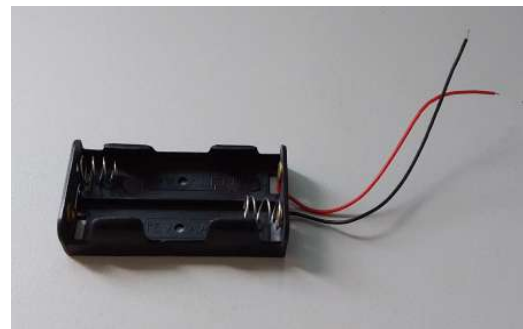
Multímetro Digital

- Corrente Contínua Máxima Direta 1A
- Tensão Repetitiva Inversa de Pico 100V
- Configuração do diodo Simples
- Tipo Junção de silício
- Número de Pinos 2
- Queda de tensão direta máxima 1.1V
- Número de Elementos por Chip 1
- Transitórios de corrente direta no regime de pico 45A
- Diâmetro 2.7mm





Diodo semiconductor 1N4002

- Cor: Preta
- Capacidade: 4 pilhas AA
- Material: Plástico
- Tensão: 4x1,5V (Pilha AA)



Suporte para pilhas

<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpada Filamento Pingo D'água 1,2V E-10 • Base: E-10 • Voltagem: 1,2 V • Pingo D'água 	 <p>Lâmpada</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Pilha alcalina simples • Voltagem: 1,5V • Pequena 	 <p>Pilha alcalina</p>

Fonte: Autor, 2021.

Quantidade de materiais para a atividade experimental 1:

Quadro 4 — Materiais para a atividade experimental 1.

MATERIAL	QUANTIDADE POR GRUPO
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	01
Lampada pingo d'água	01
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02

Fonte: Autor, 2021.

6.2 Aula - 2

6.2.1 Planejamento pedagógico

- **Apresentação do tema:** O professor deve revelar a importância do contexto histórico por trás do desenvolvimento dos semicondutores. Em seguida deve instigar os estudantes a analisar a intimidade atômica dos semicondutores na busca de entender seu comportamento. Nesse momento são apresentados os conceitos de semicondutor intrínseco e extrínseco.

- **Conteúdo:** História e evolução dos semicondutores, conceitos, propriedades e métodos de dopagem, conceito de semicondutor intrínseco e extrínseco.
- **Duração:** 60 minutos.
- **Objetivos:** Apresentar a história da evolução dos materiais semicondutores como um marco no desenvolvimento da ciência fruto da construção humana como reflexo da busca por novas tecnologias capazes de aperfeiçoar nosso cotidiano.
- **Recursos:** Será utilizado projetor de vídeo com o objetivo de ilustrar de forma ampla os conceitos desenvolvidos e as estruturas atômicas dos materiais. Marcadores multicoloridos e quadro branco.
- **Desenvolvimento:** O professor deve iniciar uma exposição dialógica com os estudantes buscando o debate sobre o que motiva o homem a desenvolver novos materiais e novas tecnologias. Neste contexto, deve-se questionar a ideia de genialidade corroborando com a ideia que o avanço da ciência deve-se ao trabalho cumulativo de diversas pessoas localizadas em diferentes contextos da história. Após esta abordagem, define-se o processo de dopagem a partir do conceito de semicondutor intrínseco e extrínseco. Aqui o professor deve descrever o percurso histórico da evolução dos materiais semicondutores ao longo dos últimos dois séculos permitindo ao aluno entender que a descoberta e evolução dos materiais semicondutores é reflexo da própria construção humana influenciada por diversos aspectos, principalmente o aspecto econômico impulsionado pela busca de novas formas de tecnologia. Em seguida deve desenvolver o conceito de semicondutor intrínseco e extrínseco, pontuando as formas de obtenção de matérias com excesso de elétrons (material tipo N) e com falta de elétrons (material tipo P) resgatando a teoria atômica, o conceito de ligações químicas, o conceito de íons e de estabilidade eletrônica para o átomo.

6.2.2 Texto de apoio didático para o professor

6.2.2.1 História dos semicondutores

As primeiras observações fenomenológicas da eletricidade foram desenvolvidas e relatadas pelo grego Tales de Mileto que, ao atritar âmbar (uma espécie de resina fóssil oriunda de árvores) percebeu que podia atrair com este, fios de cabelo e outros pequenos

objetos. Seguiu-se então, durante o século XVII, com William Gilbert, eminente físico e médico inglês, diversos estudos relacionados ao magnetismo, sendo este o primeiro a utilizar o termo eletricidade para definir o deslocamento de entidades eletrizadas. O termo usado por Gilbert possui origem grega: Elektron (SIQUEIRA, 2021, p. 55 *apud* GIBERT, 1982, p. 51).

Seguiu-se então um espantoso desenvolvimento da eletrodinâmica encabeçado por grandes nomes como, Benjamin Franklin, que enunciou o princípio da conservação das cargas elétricas a partir de numerosos experimentos, Charles Augustin de Coulomb, engenheiro e físico francês, que colaborou de forma significativa no desenvolvimento da eletricidade e do magnetismo, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, famoso físico italiano conhecido pela invenção da bateria e de uma série de outras máquinas capazes de gerar corrente elétrica, Thomas Alva Edison, inventor e entusiasta da ciência, desenvolveu a lâmpada incandescente, permitindo uma dramática evolução no campo da eletrotécnica abrindo as portas para o desenvolvimento de diversos outros dispositivos elétricos que revolucionaram diversos campos da tecnologia (GIBERT, 1982, p. 52-55).

Porém, neste cenário frenético de descobertas, protegido das luzes dos holofotes, Michael Faraday, desenvolvendo seus estudos com sulfato de prata, por volta de 1833, percebeu que este sal, ao ser aquecido, apresentava diminuição de sua resistividade elétrica, o que era um fenômeno atípico, pois a maioria dos materiais apresentava aumento da resistividade quando aquecidos. Isso abriu caminho para que Braun, em 1874, descobrisse o efeito semicondutor em alguns sulfetos metálicos, o que levou David E. Hughes, em 1879, a estudar o comportamento semicondutor depois de uma série de observações acidentais e pela própria curiosidade (OKA, 2000, p. 4).

Hughes, a partir de seus estudos e experimentos desenvolveu o detector eletromagnético por efeito semicondutivo, um protótipo do que viria a ser o diodo semicondutor. Iniciava aí a saga dos materiais semicondutores que ganhou amplo destaque e importância a partir do dramático desenvolvimento da física moderna e de seus resultados, o que permitiu não apenas uma revolução na tecnologia eletrônica, como também o desenvolvimento de outros dispositivos a partir do domínio da física do estado sólido (OKA, 2000, p. 5).

Nesse contexto ganham destaque William Bradford Shockley, Walter H. Brattain e John Bardeen, pesquisadores que, a partir dos seus estudos com a física do estado sólido, possibilitaram a criação do transistor em 1947, uma evolução do diodo, mudando drasticamente os rumos da humanidade. A partir da invenção do diodo e do transistor temos a

chance de utilizar computadores, tablets, smartphones, relógios digitais, aparelhos de TV de última geração com funções nunca antes vistas, além do surgimento do campo da microeletrônica que hoje representa a vanguarda da tecnologia (OKA, 2000, p. 5).

Além do diodo e do transistor, também existem atualmente os circuitos impressos, que nada mais são que pequenas placas constituídas por materiais semicondutores onde os componentes (diodos, transistores e etc) são diretamente ‘escritos’ tornando-se um pequeno circuito que pode compor um circuito maior.

6.2.2.2 Semicondutores e dopagem

Os materiais semicondutores não são obtidos diretamente da natureza. Estes materiais, em geral, são sintetizados em laboratório por meio de um processo específico, denominado dopagem. A dopagem consiste em inserir na rede molecular de certas substâncias outros átomos de elementos químicos diversos com o objetivo de torná-los mais ou menos ‘ricos’ em elétrons. Os materiais mais usados na indústria eletrônica para a fabricação de semicondutores são o silício e o germânio (MALVINO, 1987, p. 30).

Estes materiais, após sofrerem o processo de dopagem, são transformados em materiais do tipo N, ‘ricos’ em elétrons, ou materiais do tipo P, ‘pobres’ em elétrons, como ilustrado nas figuras 3 e 4 a seguir. No processo de dopagem para obtenção do material tipo N, introduzimos átomos de arsênio (As) na rede molecular do silício (Si) que resulta, após o arsênio ligar-se quimicamente com o silício, por meio de ligações covalentes, em um elétron livre para cada átomo de arsênio, que pode agora mover-se através da rede molecular do material (MALVINO, 1987, p. 30).

No caso do material tipo P, o processo é idêntico, porém, agora, introduzimos um átomo de índio na rede molecular do silício resultando, após a interação química entre o índio (In) e o silício (Si), na falta de um elétron para cada átomo de índio. Este processo pode ser feito utilizando-se outros elementos químicos e outros materiais base, como por exemplo o germânio, que ao sofrer dopagem também torna-se um material semicondutor tipo N ou tipo P (MALVINO, 1987, p. 30).

É usual chamarmos os átomos dos elementos químicos As e In de impurezas dopantes, é fácil notar o porquê. Uma vez estando os materiais dopados com suas respectivas impurezas, denominamos estes materiais resultantes de semicondutores extrínsecos uma vez que foram obtidos por meio da introdução de impurezas. Também é usual denominar de material

intrínseco os materiais semicondutores que não apresentam elementos dopantes em sua rede molecular e que apresentam propriedades semicondutoras (MALVINO, 1987, p. 31).

6.2.3 Teste de verificação 2

Semelhantemente à aula anterior (e em todas as aulas que compõem esta sequência didática), é aplicado um teste de verificação que tem como objetivo avaliar o aprendizado conceitual dos estudantes diante da exposição teórica. De modo sistemático, cada teste está contido no roteiro de atividades experimentais e deve ser entregue imediatamente antes do término da discussão teórica.

6.1.3.1 Orientações para a aplicação do teste 2

Abaixo seguem as orientações a serem seguidas pelo professor para a aplicação do teste de verificação. Tais orientações devem ser seguidas na sequência apresentada.

- Distribuir o roteiro de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos propostos próximo ao final da exposição teórica do conteúdo.
- Delimitar o tempo de até 5min para a resolução do teste.
- Enfatizar a importância do teste como ferramenta de avaliação.
- Orientar os estudantes a concentrarem-se no conteúdo desenvolvido na aula e nos conhecimentos prévios que dominam.

Quadro 5 — Teste de verificação da aula 2.

PERGUNTA	ENUNCIADO	RESPOSTA CORRETA
Pergunta - 01	Os fenômenos elétricos nunca chamaram a atenção do homem.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 02	Ao longo da história da humanidade os fenômenos elétricos chamaram a atenção dos estudiosos.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 03	O sulfato de prata e seu comportamento elétrico chamaram a atenção permitindo a evolução dos semicondutores.	Verdadeiro (X) Falso ()

Pergunta - 04	O diodo é um dos mais importantes componentes eletrônicos hoje desenvolvidos.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 05	Não é necessário sintetizar os materiais semicondutores, pois a natureza é abundante destes materiais.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 06	O material tipo N é ‘rico’ em elétrons e o material tipo P ‘pobre’ em elétrons.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 07	Os elementos químicos In (Índio) e As (Arsênio) são os dois tipos principais de impurezas presentes nos diodos.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 08	Os elementos químicos In (Índio) e As (Arsênio) não são indicados para a produção de semicondutores.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 09	O silício e o germânio são os materiais menos empregados pela indústria eletrônica.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 10	O diodo é formado pela união de dois tipos de materiais, um do tipo N e outro do tipo P.	Verdadeiro (X) Falso ()

Fonte: Autor, 2021.

6.2.4 Atividade experimental didática 2

Nesta atividade experimental o estudante deve construir um circuito comutador cuja função é comandar o acendimento de duas lâmpadas utilizando chaves comutadoras e diodos. Neste circuito fica demonstrada a importância do diodo como componente capaz de configurar uma rede lógica por meio da condução unidirecional da eletricidade. Os estudantes devem ser capazes de selecionar os componentes e fazer as ligações como esquematizado na figura 5, mais uma vez apropriando-se dos conhecimentos que detém sobre eletrodinâmica e circuitos. Os materiais necessários para a execução da montagem são aqueles listados no quadro 5. Esta atividade tem como objetivo demonstrar para o estudante as primeiras aplicações funcionais do diodo permitindo, nas atividades subsequentes, ampliar este espectro de aplicações.

6.2.4.1 Orientações para a atividade experimental 2

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 5. Inicialmente o estudante é solicitado a construir um circuito composto por uma fonte de tensão, duas lâmpadas, duas chaves comutadoras, uma chave simples liga/desliga e dois diodos. Ele deve ser capaz de construir um circuito que permita acender uma ou outra lâmpada a partir das posições das chaves comutadoras, como indicado na figura 5. Dessa forma, as etapas de realização devem ser seguidas pelo professor na ordem apresentada.

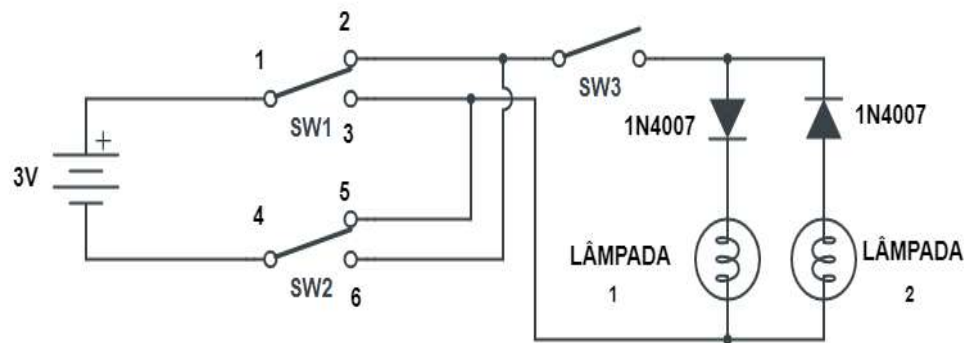
Antes do experimento:

- O professor deve entregar o kit contendo todos os componentes e ferramentas manuais para a execução da atividade.
- Deve entregar o kit ao líder do grupo que deve orientar e auxiliar os demais integrantes.
- Deve pedir para que todos leiam o roteiro de atividades e realizem a montagem do circuito proposto de acordo com as instruções.
- Deve pedir para que todos, durante a montagem, respondam as perguntas discursivas no final do roteiro.

Durante o experimento:

- O professor deve acompanhar cada grupo dialogando, dirimindo dúvidas e analisando a interação dos estudantes, incentivando a participação de todos.
- Analisar a montagem que deve ser idêntica à da figura 5, sugerindo modificações diante de problemas ou dúvidas de montagem.
- Deve fazer indagações preliminares sobre o funcionamento do circuito comutador gerando reflexões e debates com o intuito de subsidiar a resolução das perguntas que devem ser respondidas durante a atividade.
- Identificar as potencialidades de cada grupo no tocante à organização, trabalho em equipe e capacidade de montar e interpretar o circuito.

Figura 6 - Circuito comutador de controle.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

6.1.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas

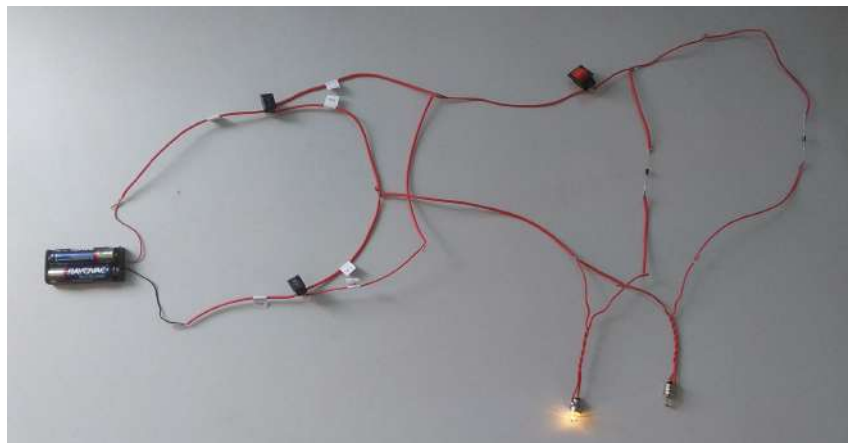
Nesta subseção, apresentamos as perguntas discursivas a serem analisadas e respondidas pelos estudantes durante a execução da atividade, também apresentamos as respostas esperadas.

1 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 2 e 5 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

Resposta esperada e montagem:

Após comutarmos as chaves para as posições 2 e 5, a lâmpada 1 irá acender uma vez que é estabelecido um circuito composto por uma malha contendo a fonte de tensão, a lâmpada 1 e o diodo 1. Como o diodo 2 está inversamente polarizado, a corrente elétrica não pode acionar a lâmpada 2.

Figura 7 - Montagem 4.



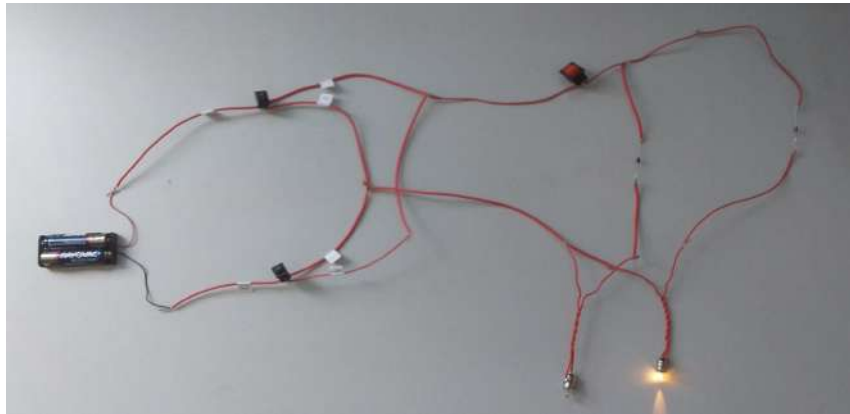
Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Apenas a lâmpada 1 acende.

2 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 3 e 6 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

Resposta esperada e montagem:

Figura 8 - Montagem 5.



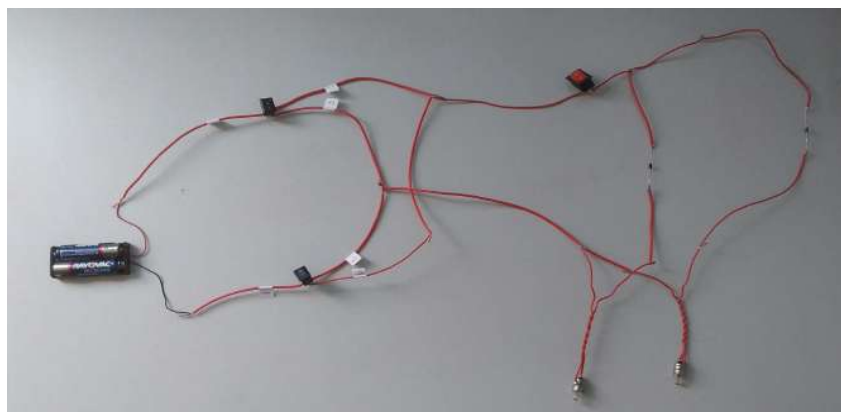
Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Após comutarmos as chaves para as posições 3 e 6, a lâmpada 2 irá acender uma vez que é estabelecido um circuito composto por uma malha contendo a fonte de tensão, a lâmpada 2 e o diodo 2. Como o diodo 1, nesta configuração, está inversamente polarizado, a corrente elétrica não pode acionar a lâmpada 1.

3 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 3 e 5 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

Resposta esperada e montagem:

Figura 9 - Montagem 6.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

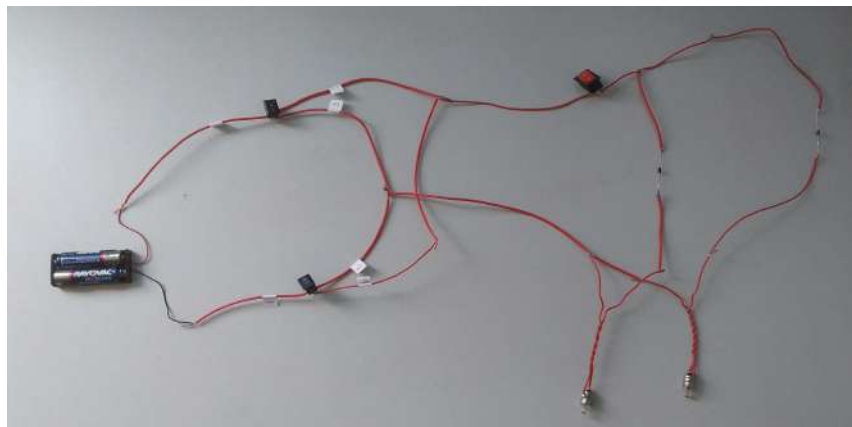
Nenhuma lâmpada acenderá, pois foi estabelecido um curto-circuito entre os terminais da fonte.

4 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 2 e 6 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

Resposta esperada e montagem:

É estabelecido um curto circuito entre os terminais da fonte levando ao não acendimento das lâmpadas e superaquecimento das pilhas por efeito Joule.

Figura 10 - Montagem 7.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.


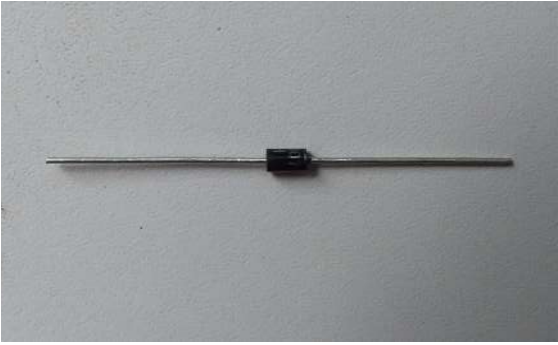
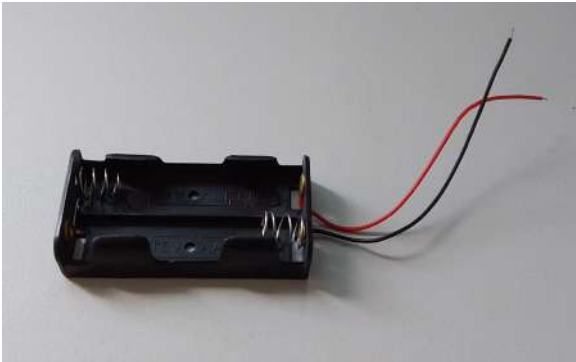

5 - Você considera seguro comutar as chaves nas posições 3 e 5? E nas posições 2 e 6? Explique sua resposta e proponha uma solução para a situação observada.




Semelhantemente ao comutarmos as chaves nas posições 2 e 6, é estabelecido um curto circuito entre os terminais da fonte levando ao não acendimento das lâmpadas e superaquecimento das pilhas por efeito Joule. Para solucionar este problema, é possível adicionar ao circuito um fusível de proteção.

Materiais para a atividade experimental 2:

Quadro 6 — Materiais da atividade experimental didática 2.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none"> Tensão DC faixas: 200mV, 2000mV, 20V, 200V, 1000V Tensão AC faixas: 200V, 750V Corrente DC faixas: 200μA, 	

<ul style="list-style-type: none"> 2000μA, 20mA, 200mA, 10A Resistência faixas: 200W, 2000W, 20kW, 200kW, 2000kW Diodo faixa: Diodo Indicação: Queda de tensão aproximada sobre o diodo Condição de teste: Corrente direta aproximada de 1mA DC Tensão reversa aproximada de 2.8V DC 	 <p>Multímetro Digital</p>
<ul style="list-style-type: none"> Corrente Contínua Máxima Direta 1A Tensão Repetitiva Inversa de Pico 100V Configuração do diodo Simples Tipo Junção de silício Número de Pinos 2 Queda de tensão direta máxima 1.1V Número de Elementos por Chip 1 Transitórios de corrente direta no regime de pico 45A Diâmetro 2.7mm 	 <p>Diodo semiconductor 1N4002</p>
<ul style="list-style-type: none"> Cor: Preta Capacidade: 4 pilhas AA Material: Plástico Tensão: 4x1,5V (Pilha AA) 	 <p>Case para pilhas</p>
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpada Filamento Pingo D'água 1,2V E-10 Base: E-10 Voltagem: 1,2 V Pingo D'água 	 <p>Lâmpada</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Pilha alcalina simples • Voltagem: 1,5V • Pequena 	 <p>Pilha alcalina</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Chave Comutadora DNI 2091 • Potência Máxima: 80W • 2 posições: ON/ON • 3 terminais 	 <p>Chave comutadora</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Chave Gangorra • Dois terminais • Liga/Desliga • Corrente 6A • Tensão 250V 	 <p>Chave gangorra liga/desliga</p>

Fonte: Autor, 2021.

Quantidade de materiais para a atividade experimental 2:

Quadro 7 — Materiais para a atividade experimental 2.

MATERIAL	QUANTIDADE POR GRUPO
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02
Lampada pingo d'água	02
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02

Chave gangorra liga/desliga	01
Chave comutadora	02

Fonte: Autor, 2021.

6.3 Aula - 3

6.3.1 Planejamento pedagógico

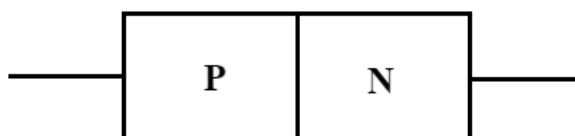
- **Apresentação do tema:** Aqui o professor irá enfatizar a importância dos mecanismos de condução nos semicondutores revelando como se comportam os portadores de carga próximos à junção do semicondutor.
- **Conteúdo:** Deslocamento de cargas elétricas no diodo, definição de camada de depleção e seu comportamento elétrico.
- **Duração:** 60 minutos.
- **Objetivos:** Mostrar a comportamento da camada de depleção em função do fluxo de portadores de carga no diodo e como este comportamento está relacionado com a polarização do diodo.
- **Recursos:** Será utilizado projetor de vídeo com o objetivo de ilustrar de forma ampla os conceitos desenvolvidos e as estruturas atômicas dos materiais. Marcadores multicoloridos e quadro branco.
- **Desenvolvimento:** Tendo o estudante aprendido os conceitos de semicondutor intrínseco e extrínseco, como também já dominado o conceito de dopagem, tendo o diodo já sido apresentado, na sequência, o professor deve desenvolver a noção de fluxo de portadores de carga tomando como base os princípios elementares da eletrostática partindo do fenômeno da atração de cargas elétricas de sinais contrários. Este é o ponto de partida para desenvolver a noção de camada ou zona de depleção, fundamental para o estudante entender os fenômenos eletrostáticos associados à polarização direta e inversa do diodo.

6.3.2 Texto de apoio didático para o professor

6.3.2.1 O diodo semiconductor

Tendo em mãos os dois tipos de materiais é possível agora combinarmos ambos formando um dispositivo denominado diodo semiconductor. Na figura abaixo temos uma representação esquemática do diodo a partir dos materiais tipo N e P anteriormente discutidos.

Figura 11 - Diodo semiconductor.

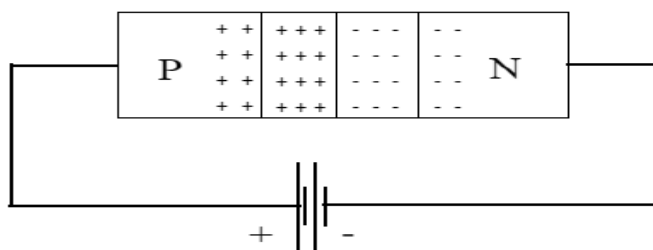


Fonte: Autor, 2021.

Este é o aspecto construtivo do diodo. Ele é formado por duas camadas de materiais, uma P e outra N, o que possibilita gerar corrente elétrica que flui do material tipo N para o material tipo P. É fácil para o leitor perceber que esta corrente possui uma direção natural de fluxo, ou seja, do lado N, ‘rico’ em elétrons, para o lado P, ‘pobre’ em elétrons, e que o fluxo no sentido contrário, ou seja, do lado P, pobre em elétrons, para o lado N, rico em elétrons, não é possível, de forma espontânea. Diante disso, concluímos que o diodo funciona como uma espécie de válvula unidirecional que permite apenas a passagem da corrente elétrica em apenas um sentido (MALVINO, 1987, p. 32).

Dessa forma, podemos introduzir o conceito de polarização do diodo. Para tanto consideremos uma fonte de tensão qualquer e um diodo. Consideremos um diodo polarizado diretamente, quando os pólos positivo e negativo da fonte estão conectados aos terminais P e N respectivamente como ilustrado na figura 5 abaixo.

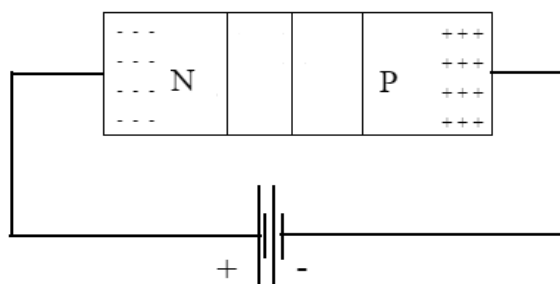
Figura 12 - Diodo polarizado diretamente.



Fonte: Autor, 2021.

Neste caso, observamos o surgimento de uma corrente elétrica denominada corrente direta, que flui do pólo positivo para o negativo da fonte (estamos considerando o sentido convencional da corrente, sentido este que será adotado ao longo deste produto educacional) (MALVINO, 1987, p. 32). Para a polarização inversa, temos os pólos positivo e negativo da fonte ligados, respectivamente, aos terminais N e P, ou seja, como ilustrado na figura 6 abaixo.

Figura 13 - Diodo polarizado inversamente.



Fonte: Autor, 2021.

Dessa forma, como podemos visualizar na figura que a polarização inversa do material gera uma ampla região livre de portadores de carga impedindo assim a formação de uma corrente elétrica entre os materiais. Neste caso, dizemos que o material está em corte.

6.3.2.2 Polarização direta

Na polarização direta, como visto anteriormente, podemos observar que os pólos (-) e (+) da fonte de tensão aplicada ao diodo coincidem com os respectivos materiais N e P. Vimos também que esta configuração permite o surgimento de uma corrente direta que, convencionalmente, flui do material P para o material N. Observando a curva característica do diodo (que será tratada em aulas posteriores), percebemos que apenas ao aplicarmos uma tensão mínima V_0 em seus terminais teremos efetivamente a circulação de corrente, que toma valores cada vez maiores mesmo com pequenas variações positivas de V_0 . A este valor de tensão mínima damos o nome de tensão de operação (MALVINO, 1987, p. 33).

Dessa forma, para valores abaixo de V_0 o diodo estará na iminência do funcionamento. Podemos pensar analogamente ao que acontece quando estamos empurrando um bloco de massa m sob uma superfície horizontal com atrito. Ao aplicarmos uma força para deslocar o bloco, percebemos que imediatamente o bloco tende a permanecer parado, no entanto quando aumentamos o valor desta força o bloco inicia gradualmente seu movimento e logo em

seguida, quando o movimento efetivamente inicia, percebemos que não precisamos exercer a mesma força inicialmente aplicada, ou seja, podemos empregar uma força menor do que aquela necessária para colocar o bloco em movimento.

O caso do semicondutor é análogo. Após vencermos a ‘inércia elétrica’ do material e assim estabelecermos um regime de corrente, não precisamos de grandes variações positivas de tensão para mantê-lo em operação.

6.3.2.3 Polarização inversa

Na polarização inversa, como visto na aula anterior, temos os pólos (+) e (-) da fonte de tensão aplicada ao diodo coincidindo com os materiais P e N, respectivamente. Dessa forma, não haverá, teoricamente, corrente elétrica no sentido inverso. No entanto, observando a curva característica do diodo para a polarização inversa, percebemos o surgimento de uma corrente inversa, de valor pequeno, denominada, corrente de fuga (MALVINO, 1987, p. 34).

À medida que vamos aumentando o módulo da tensão aplicado ao diodo, vencendo assim sua resistência à passagem da corrente, chegamos a um valor denominado tensão de ruptura, V_R , a partir do qual, a corrente de fuga aumenta significativamente revelando que o diodo agora conduz plenamente no sentido inverso. Nesse momento, a ‘inércia elétrica’ no sentido inverso é vencida e o diodo passa, forçosamente, a conduzir no sentido inverso. Esta situação compromete a integridade do dispositivo que certamente será danificado caso seja submetido ao regime de condução inversa por um longo período.

É importante destacar que tanto a tensão de operação quanto a tensão de ruptura dependem da temperatura, dessa forma, quanto maior a temperatura do diodo menores serão seus valores, uma vez que a energia térmica permite que mais elétrons, principalmente aqueles pertencentes à banda de valência, participem do processo de condução elétrica após alcançarem a banda de condução. Outra forma de entendermos os mecanismos de condução direta e inversa no diodo é por meio da chamada zona, ou camada de depleção (GRAY e SEARLE, 1977, p. 55).

6.3.2.4 Zona de depleção

A zona, ou camada de depleção, é uma região localizada na parte central do diodo que contém a junção entre os dois materiais tipo N e P. Esta zona pode ser tanto maior quanto menor, dependendo da concentração de portadores de cargas próximas da junção. Fica fácil ver que para iniciarmos o processo de condução elétrica devemos vencer esta região e isso ocorre gradualmente quando aplicamos uma tensão direta no diodo (MALVINO, 1987, p. 32).

No caso da polarização direta, observamos que à medida que nos aproximamos da tensão de operação V_0 , a largura da zona de depleção vai diminuindo até não ser mais perceptível, indicando assim o início do processo de condução direta. No caso da polarização inversa, ocorre o contrário, ou seja, ao polarizar inversamente o diodo, estamos apenas aumentando a largura da zona dificultando ainda mais a interação entre os materiais N e P (MALVINO, 1987, p. 33).

Figura 14 - Zona de depleção no diodo.



Fonte: Autor, 2021.

6.3.2.5 Entendendo a condução elétrica: teoria de bandas eletrônicas

Sabemos que a condução elétrica nos materiais semicondutores deve-se aos portadores de carga tipo N, elétrons, e tipo P, lacunas, ou buracos. Ao estabelecermos uma diferença de potencial entre os terminais do diodo, podemos estabelecer uma corrente elétrica que percorre toda a extensão do dispositivo, fluindo do material P para o material N, ou, no caso da polarização inversa, nenhuma corrente (em tese). Em ambos os casos podemos explicar este mecanismo recorrendo à teoria de condução por bandas eletrônicas (MALVINO, 1987, p. 34).

Da teoria atômica da matéria, admitimos que para cada nível eletrônico corresponde a uma energia específica e que o elétron de cada um destes níveis deveria absorver uma energia maior ou igual a este valor para ser ‘promovido’, e assim, ocupar níveis eletrônicos superiores.

Figura 15 - Teoria de bandas eletrônicas.



Fonte: Autor, 2021.

Antes de analisarmos especificamente o caso dos semicondutores, devemos compreender de forma clara no que consiste a teoria de condução de bandas eletrônicas. De forma simples, a teoria de bandas eletrônicas estabelece que os elétrons de condução, ou seja, os elétrons capazes de deslocar-se no interior da rede molecular de determinado material, podem fazê-lo em determinadas regiões formadas pela interação dos orbitais atômicos que formam a rede molecular do material (MALVINO, 1987, p. 35).

Dessa forma, levando em conta que cada orbital molecular possui uma energia característica e que estes orbitais podem formar ligações atômicas estáveis, ocorre a formação de regiões, ou ‘bandas’ no interstício molecular que delimitam onde os elétrons podem ser conduzidos e onde não podem. No caso da banda de condução, temos uma região que essencialmente não está preenchida com elétrons, permitindo assim baixa repulsão eletrostática entre os elétrons, dando condição para que haja fluxo destes portadores de carga nesta banda (VLACK, 1988, p. 115).

Entre a banda de condução e a banda de valência (ou banda proibida), existe uma região denominada *gap*. Esta região não apresenta elétrons e isola as bandas de valência e condução de forma que para um elétron saltar da banda de valência para a banda de condução deve receber uma quantidade mínima de energia dada pela equação de Planck. Na figura 10, ilustramos a disposição das bandas eletrônicas dos principais tipos de materiais encontrados ao nosso redor, os condutores, isolantes e semicondutores (VLACK, 1988, p. 115).

Para os condutores percebe-se que a banda de valência possui um pequeno trecho não preenchido por elétrons, o que torna esta pequena faixa condutora, juntamente com a banda de valência. Isto explica o caráter altamente condutor dos metais. Já observando as bandas dos materiais isolantes, percebemos a ausência de qualquer faixa condutora na banda de valência, pois esta encontra-se totalmente preenchida por elétrons o que impede o surgimento de qualquer corrente (VLACK, 1988, p. 115).

Neste caso, para que um material isolante torne-se um condutor, é necessário fornecer para este energia suficiente para que os elétrons da banda de valência vençam o *gap* e passem para a banda de condução. Para os materiais semicondutores, é fácil ver, pela figura, que o *gap* é menor, quando comparado com os condutores e isolantes. Isso dá ao semicondutor um caráter intermediário (VLACK, 1988, p. 117).

6.3.3 Teste de verificação 3

Concluída a exposição teórica, o professor deve distribuir o roteiro de atividades experimentais solicitando que cada estudante responda ao teste de verificação contido na parte inicial do roteiro. O professor deve seguir as mesmas etapas listadas para a aplicação dos testes anteriores.

6.3.3.1 Orientações para a aplicação do teste 3

Abaixo seguem as orientações a serem seguidas pelo professor para a aplicação do teste de verificação. Tais orientações devem ser seguidas na sequência apresentada.

- Distribuir o roteiro de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos propostos próximo ao final da exposição teórica do conteúdo.
- Delimitar o tempo de até 5min para a resolução do teste.
- Enfatizar a importância do teste como ferramenta de avaliação.
- Orientar os estudantes a concentrarem-se no conteúdo desenvolvido na aula e nos conhecimentos prévios que dominam.

Quadro 8 — Teste de verificação da aula 3.

PERGUNTA	ENUNCIADO	RESPOSTA CORRETA
Pergunta - 01	O diodo pode ser polarizado diretamente ou inversamente.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 02	O diodo quando polarizado diretamente conduz corrente elétrica.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 03	O diodo quando polarizado inversamente não conduz corrente elétrica.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 04	O diodo não pode conduzir corrente elétrica estando polarizado diretamente.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 05	Após o diodo atingir a tensão de operação a zona de depleção tende a ficar pequena permitindo a livre passagem da corrente elétrica.	Verdadeiro (X) Falso ()

Pergunta - 06	Após o diodo atingir a tensão de operação a zona de depleção tende a ficar maior permitindo a livre passagem da corrente elétrica.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 07	A largura da zona de depleção não influencia na operação do diodo.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 08	Quanto maior a zona de depleção maior a dificuldade de gerar corrente elétrica no diodo.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 09	Os elétrons apenas podem saltar da banda de condução para a banda de valência se estes receberem energia para vencer o gap.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 10	Para os semicondutores o gap que separa banda de condução e a banda de valência é maior que o gap que separa estas mesmas bandas no caso dos isolantes.	Verdadeiro () Falso (X)

Fonte: Autor, 2021.

6.3.4 Atividade experimental didática 3

Nesta atividade o estudante deve ser capaz de construir um circuito controlador de potência utilizando dois diodos, duas chave liga/desliga, duas fontes de tensão e um motor de corrente contínua. Por meio da construção do circuito o estudante perceberá que, ao acionar inicialmente a chave liga/desliga SW2 e em seguida a chave SW1, a rotação do motor irá aumentar levando ao aumento da potência consumida. Neste circuito, os diodos impedem o retorno da corrente evitando um curto-circuito nas fontes de tensão.

6.3.4.1 Orientações para a atividade experimental 3

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 7. Inicialmente o estudante é solicitado a construir um circuito composto por duas fontes de tensão, duas chaves liga/desliga, dois diodos e um motor de corrente contínua. Ele deve ser capaz de construir um circuito que permita variar a potência do motor a partir do acionamento das chaves liga/desliga, como indicado na figura 11. Dessa forma, as etapas de realização devem ser seguidas pelo professor na ordem apresentada.

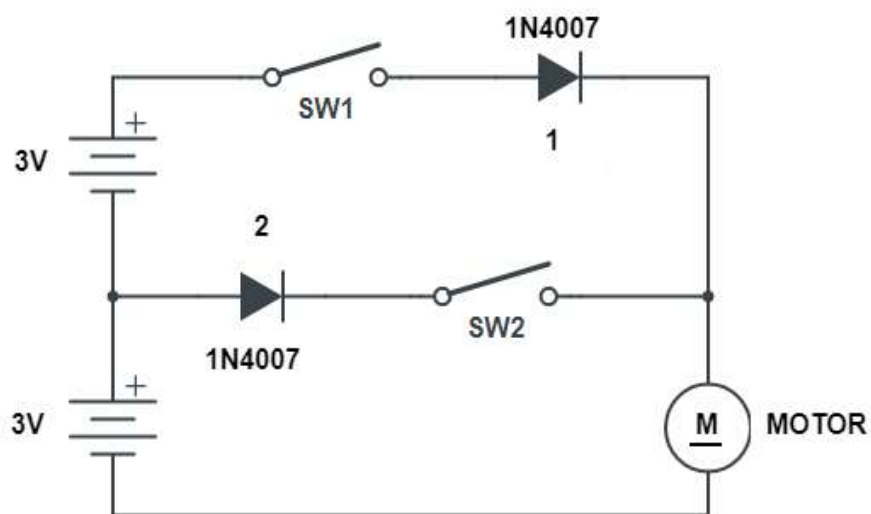
Antes do experimento:

- O professor deve entregar o kit contendo todos os componentes e ferramentas manuais para a execução da atividade.
- Deve entregar o kit ao líder do grupo que deve orientar e auxiliar os demais integrantes.
- Deve pedir para que todos leiam o roteiro de atividades e realizem a montagem do circuito proposto de acordo com as instruções.
- Deve pedir para que todos, durante a montagem, respondam as perguntas discursivas no final do roteiro.

Durante o experimento:

- O professor deve acompanhar cada grupo dialogando, dirimindo dúvidas e analisando a interação dos estudantes, incentivando a participação de todos.
- Analisar a montagem que deve ser idêntica à da figura 11, sugerindo modificações diante de problemas ou dúvidas de montagem.
- Deve fazer indagações preliminares sobre o funcionamento do circuito controlador gerando reflexões e debates com o intuito de subsidiar a resolução das perguntas que devem ser respondidas durante a atividade.
- Identificar as potencialidades de cada grupo no tocante à organização, trabalho em equipe e capacidade de montar e interpretar o circuito.

Figura 16 - Controlador de potência.



Fonte: Autor, 2021.

6.3.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas

Nesta subseção, apresentamos as perguntas discursivas a serem analisadas e respondidas pelos estudantes durante a execução da atividade, também apresentamos as respostas esperadas.

1 - Tendo montado o circuito, acione a chave SW2 e logo em seguida a chave SW1. O que você percebeu? Meça a tensão nos diodos e explique os resultados.

Resposta esperada e montagem:

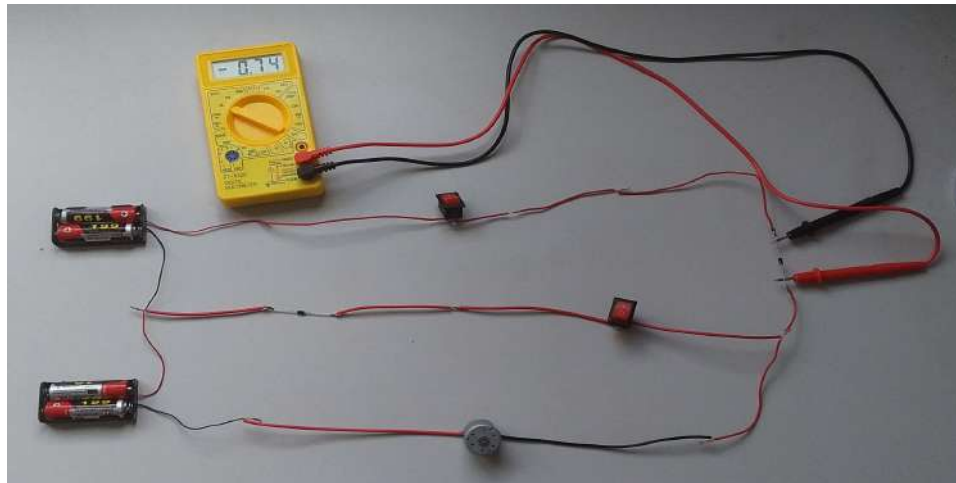
Figura 17 - Montagem 8.



Fonte: Arquivo do autor.

Ao acionarmos apenas a chave SW2, percebemos que o motor começa a funcionar. Medindo a tensão no diodo, como ilustrado pela figura 17, vemos que a tensão indicada vale 0,73V, ou seja, o diodo opera segundo sua tensão mínima. Observando a rotação do eixo do motor, também percebemos que apenas uma parte da tensão total fornecida ao circuito está sendo disponibilizada para o seu acionamento. Ao acionarmos a chave SW1, percebemos que o motor aumenta sua rotação, consumindo maior quantidade de energia elétrica. Dessa forma, o diodo 1 funciona como elemento de proteção do circuito impedindo a formação de um curto circuito entre os terminais da fonte ligada à chave SW1. Nesse sentido, o diodo 2 também funciona como elemento de proteção para a fonte diretamente ligada ao motor. Dessa forma, podemos controlar a potência do motor, aumentando-a ou diminuindo-a de acordo com a finalidade exigida.

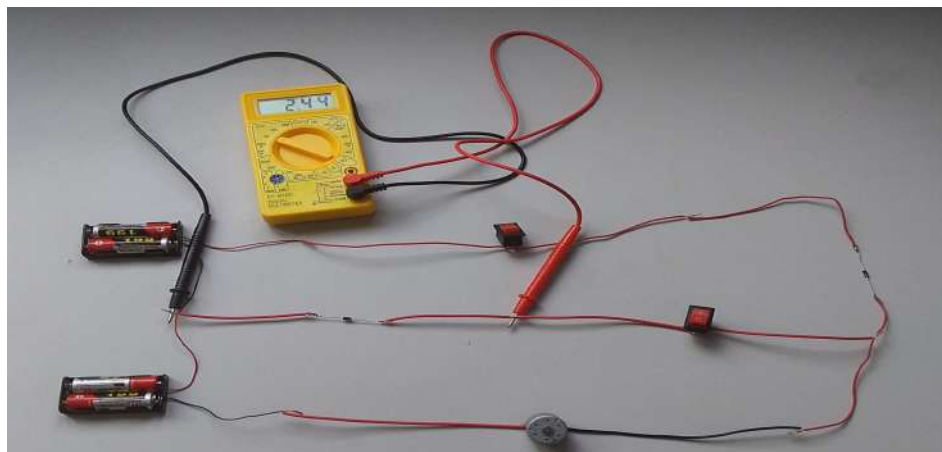
Figura 18 - Montagem 9.



Fonte: Gerado pelo autor, 2021.

Após acionarmos a chave SW1 e medirmos a tensão no diodo 1, percebemos que este opera segundo sua tensão mínima nominal, indicando que o diodo interfere minimamente no circuito elétrico analisado, gerando pequena queda de tensão. Em contrapartida, ao medirmos a tensão no diodo 2, estão SW1 e SW2 acionadas, notamos que a tensão medida equivale a 2,44V, pois, nessa configuração o diodo está reversamente polarizado impedindo a formação de um curto circuito nos terminais da fonte ligada à chave SW1.

Figura 19 - Montagem 10.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

2 - Agora, acione apenas a chave SW1. O que você percebeu? Explique.

Resposta esperada:

Com apenas o acionamento da chave SW1, o motor ficará submetido a uma tensão total de 6V sem a possibilidade de redução de potência, caso a chave SW2 não seja acionada.

3 - Você considera seguro remover o diodo 2 e a chave SW2 do circuito? Explique.

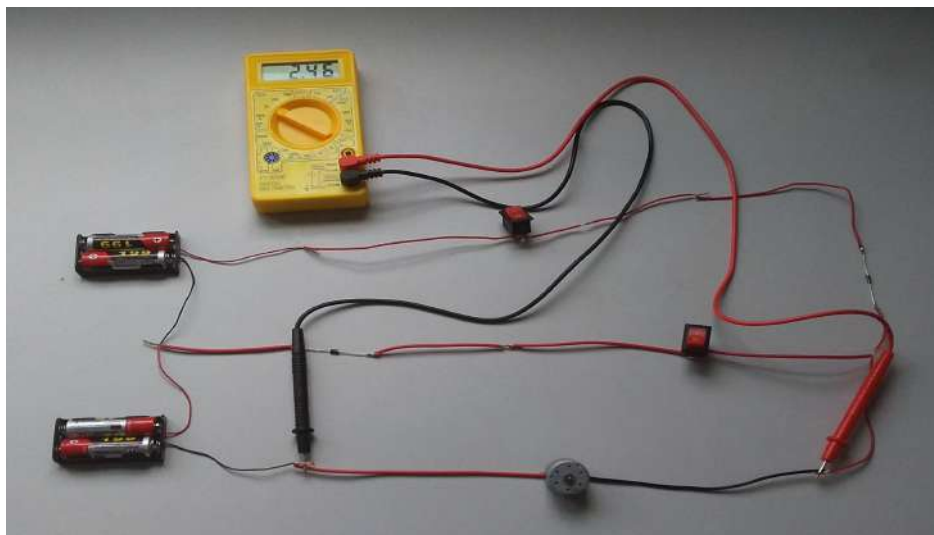
Resposta esperada:

Não é seguro remover o diodo 2 do circuito, uma vez que, como observado na pergunta de número 1, o diodo 2 funciona como elemento de proteção, ficando reversamente polarizado, impedindo a formação de um curto-circuito que diminuirá a potência fornecida para o motor, ao mesmo tempo causará o superaquecimento da fonte de tensão ligada à chave SW1.

4 - Com a chave SW1 acionada, utilize o multímetro e meça a tensão entre os terminais do motor? Repita o procedimento para a chave SW2 e meça a tensão no motor. Considerando que a resistência elétrica do motor vale $9,5\Omega$, qual a corrente que alimenta o motor em ambos os casos?

Resposta esperada e montagem:

Figura 20 - Montagem 11.

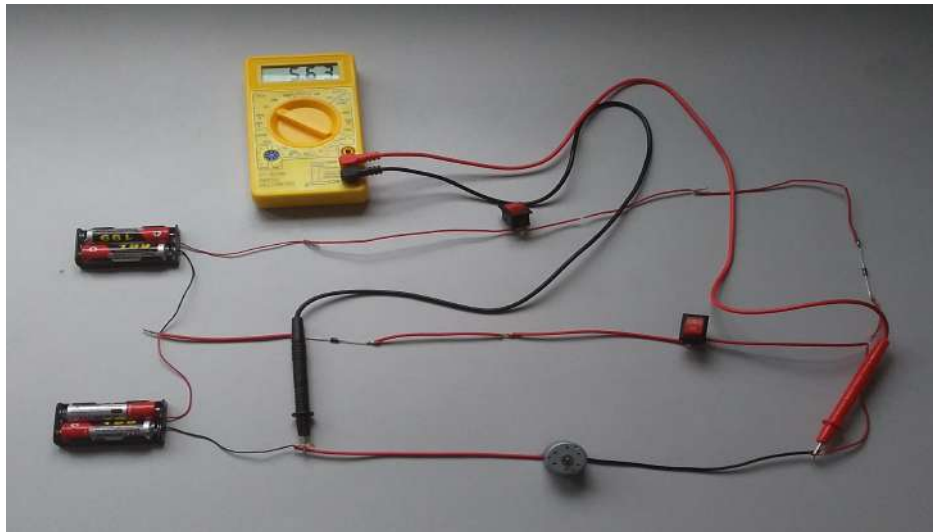


Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Como vemos, a tensão medida no motor, quando apenas SW2 está acionada, equivale a 2,46V. Considerando a resistência do motor equivalente a $9,5\Omega$, pela lei de Ohm, temos:

$$i = \frac{U}{R} = \frac{2,46}{9,5} = 0,25A = 250mA$$

Figura 21 - Montagem 12.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Da mesma forma, a tensão medida no motor, quando apenas SW1 está acionada, equivale a 5,63V. Considerando a resistência do motor equivalente a $9,5\Omega$, pela lei de Ohm, temos:

$$i = \frac{U}{R} = \frac{5,63}{9,5} = 0,6A = 600mA$$

5 - Considerando a resposta da pergunta anterior, você julga que os diodos estão sendo utilizados foram bem dimensionados? Explique.



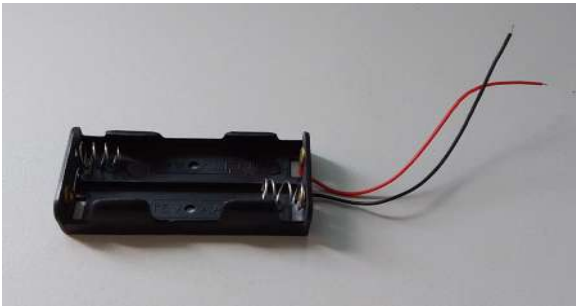

Resposta esperada:


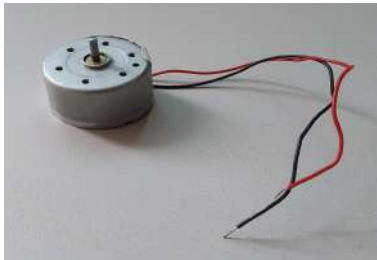
Sim, pois os diodos utilizados possuem valores limites de corrente muito acima daqueles utilizados pelo motor para seu funcionamento. Sendo assim, os diodos não sofrerão e não funcionarão de forma incorreta.

Materiais para a atividade experimental 3:

Quadro 9 — Materiais da atividade experimental didática 3.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none"> • Tensão DC faixas: 200mV, 2000mV, 20V, 200V, 1000V • Tensão AC faixas: 200V, 750V • Corrente DC faixas: 200μA, 2000μA, 20mA, 200mA, 10A • Resistência faixas: 200W, 2000W, 20kW, 200kW, 2000kW 	

<ul style="list-style-type: none"> • Diodo faixa: Diodo • Indicação: Queda de tensão aproximada sobre o diodo • Condição de teste: Corrente direta aproximada de 1mA DC • Tensão reversa aproximada de 2.8V DC 	 <p>Multímetro Digital</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Corrente Contínua Máxima Direta 1A • Tensão Repetitiva Inversa de Pico 100V • Configuração do diodo Simples • Tipo Junção de silício • Número de Pinos 2 • Queda de tensão direta máxima 1.1V • Número de Elementos por Chip 1 • Transitórios de corrente direta no regime de pico 45A • Diâmetro 2.7mm 	 <p>Diodo semiconductor 1N4007</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Cor: Preta • Capacidade: 4 pilhas AA • Material: Plástico • Tensão: 4x1,5V (Pilha AA) 	 <p>Suporte para pilhas</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Pilha alcalina simples • Voltagem: 1,5V • Pequena 	 <p>Pilha alcalina</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Chave Gangorra • Dois terminais • Liga/Desliga • Corrente 6A • Tensão 250V 	 <p>Chave gangorra liga/desliga</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Motor DC • Tensão de funcionamento: 3-6V; • Corrente sem carga: 195 mA (3V) e 300mA (6V); • Diâmetro do eixo: 2mm; • Saída do comprimento do eixo: 75mm; • Velocidade: 15.400RPM (3V) e 23.000RPM (6V); 	 <p>Motor DC 6V</p>

Fonte: Autor, 2021.

Quantidade de materiais para a atividade experimental 3:

Quadro 10 — Materiais para a atividade experimental 3.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02
Motor de corrente contínua	01
Suporte para pilhas	02
Pilhas alcalinas de 1,5V	04
Chave gangorra liga/desliga	02

Fonte: Autor, 2021.

6.4 Aula - 4

6.4.1 Planejamento pedagógico

- **Apresentação do tema:** Pode-se iniciar com uma indagação acerca da possibilidade de analisarmos o funcionamento do diodo de forma prática por meio de representações

gráficas. Nesse sentido, o professor deve mencionar a curva característica do diodo e suas possibilidades no estudo do diodo. Em seguida deve apresentar o transistor como elemento resultante da evolução do diodo cujas características e funcionamento se destacam em relação aos componentes anteriormente estudados.

- **Conteúdo:** Curva característica do diodo, transistor bipolar de junção, transistor como amplificador de sinais e elemento de chaveamento, tipos de transistor e teoria de funcionamento.
- **Duração:** 60 minutos.
- **Objetivos:** Desenvolver a curva característica do diodo como elemento didático que possibilita compreender seu funcionamento. Compreender o funcionamento do transistor em suas configurações funcionais mais comuns.
- **Recursos:** Será utilizado projetor de vídeo com o objetivo de ilustrar de forma ampla os conceitos desenvolvidos e as estruturas atômicas dos materiais. Marcadores multicoloridos e quadro branco.
- **Desenvolvimento:** Inicialmente o professor deve lembrar, de forma breve, os conceitos de polarização direta e inversa para o diodo, ao mesmo tempo apresentar de forma gráfica a curva característica do diodo destacando as regiões da curva onde este se apresenta polarizado. Deve indicar na curva onde se localizam as tensões de joelho e de ruptura, explicando como a tensão e a corrente elétrica no diodo se comportam após serem atingidas estas tensões, ao mesmo tempo discutir os fenômenos de transporte de cargas nas diferentes regiões da curva. Em seguida o professor deve apresentar o transistor como elemento resultante do aperfeiçoamento do diodo destacando suas características físicas e funcionais, mencionando os dois tipos básicos, PNP e NPN, a terminologia de seus terminais (base, coletor e emissor) e explicar, por meio de analogias relacionadas ao funcionamento do diodo, como o transistor pode ser utilizado como amplificador de sinais e elemento de chaveamento em função do transporte de portadores de carga e das diferentes polarizações possíveis.

6.4.2 Texto de apoio didático para o professor

6.6.2.1 Curva característica do diodo

Como qualquer outro dispositivo eletrônico, o diodo possui uma relação específica para a tensão aplicada em seus terminais e a corrente que surge a partir desta tensão. Para entender melhor o funcionamento do diodo e seu comportamento do ponto de vista físico, podemos construir o que denominamos de curva característica do diodo.

Esta curva está representada de forma genérica na figura 20. Nesta curva ficam ilustradas as polarizações direta e inversa. A polarização direta fica representada pela curva localizada à direita do eixo coordenado (corrente) e possui sentido ascendente. Já a polarização inversa é representada pela curva localizada à esquerda do eixo coordenado cujo sentido é sempre descendente uma vez que, neste caso, a polarização possui sinal negativo. Vamos analisar atentamente os dois casos (BERTOLI, 2000, p. 8).

6.6.2.1.1 Zona de polarização direta

Esta região, localizada à direita do gráfico, representa o comportamento do diodo em polarização direta. Nesta configuração, o diodo progressivamente tem sua zona de depleção diminuída em função do aumento da tensão em seus terminais, o que gera maior concentração e fluxo de portadores em torno da junção semicondutora. Ao aumentarmos o valor da tensão, atingimos a tensão de ‘joelho’, ou tensão de operação, cujo valor, para o diodo 1N4007 e similares vale 0,7V. Atingido este valor o diodo entra em operação de modo que qualquer incremento na tensão produz rápido aumento na corrente elétrica como é possível verificar no gráfico.

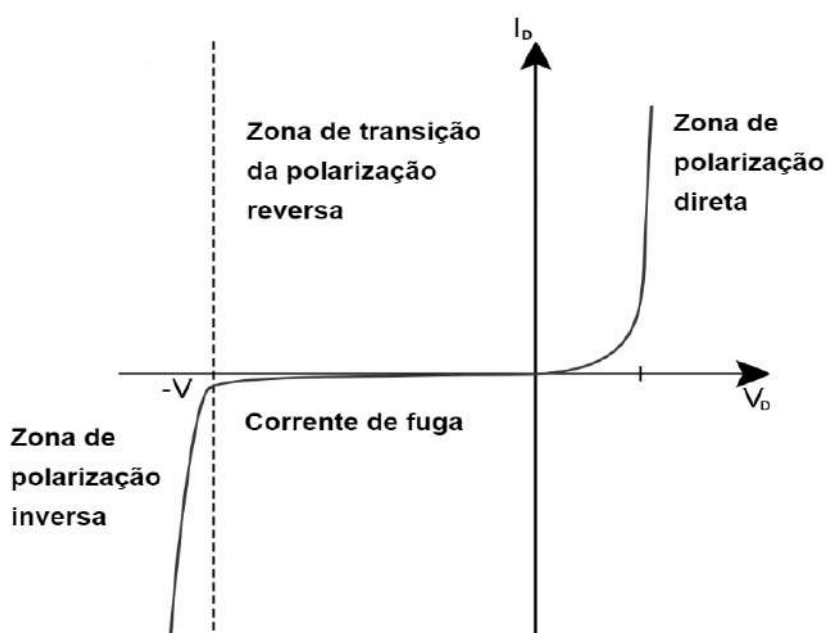
6.6.2.1.2 Zona de transição da polarização reversa

Nesta região do gráfico o diodo encontra-se reversamente polarizado, de modo que a zona de depleção aumenta progressivamente em função do aumento da tensão reversa. Nessa configuração, o diodo restringe a passagem da corrente elétrica, ao mesmo tempo observa-se a formação de um pequeno acúmulo de portadores de carga nas proximidades da junção semicondutora. Considerando o aumento da tensão reversa, percebemos o surgimento de uma corrente de fuga, o que caracteriza a iminência da condução elétrica no diodo no sentido reverso quando o diodo atinge a tensão de ruptura, na qual o diodo conduz livremente no sentido reverso.

6.6.2.1.3 Zona de polarização inversa

Na zona de polarização inversa o diodo conduz livremente assemelhando-se a um resistor convencional. Nesta configuração também percebemos que para pequenos incrementos de tensão obtemos aumentos rápidos na corrente elétrica, como observado no gráfico da figura 22. Devemos destacar que tal configuração não é típica, uma vez que o diodo clássico não é desenvolvido para operar em configuração reversa, representando risco de danos ao componente ou ao circuito ao qual está conectado (BERTOLI, 2000, p. 8). .

Figura 22 - Curva característica do diodo.



Fonte: Autor, 2021.

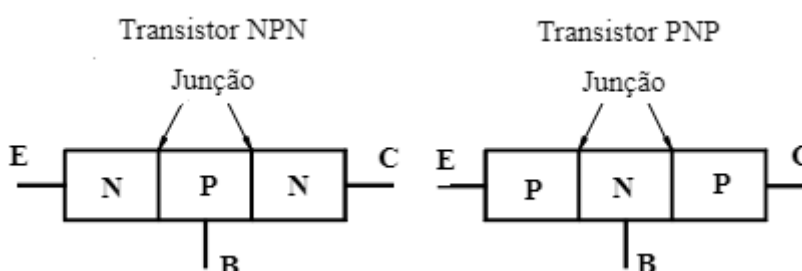
Sendo assim, para efeito de estudo do comportamento elétrico do diodo, é fundamental o conhecimento da sua curva característica o que permite prever e dimensionar de forma correta o tipo de diodo a ser utilizado de forma prática. Ao mesmo tempo, a curva característica mostra-se como recurso didático para o ensino conceitual do comportamento elétrico do diodo, permitindo reunir todas as suas possíveis configurações de funcionamento. Ainda nesse sentido, cada fabricante de dispositivos eletrônicos fornece a curva característica de seus componentes, incluindo o diodo, de forma que suas propriedades funcionais podem ser consultadas de forma simples subsidiando a prática de ensino.

6.6.2.2 Transistor bipolar de junção

Diversos sinais elétricos de interesse na eletrônica possuem baixa intensidade, sendo necessário a amplificação destes sinais para que estes tenham utilidade prática. Dessa forma, até o início dos anos 50, era comum a utilização de válvulas termiônicas cuja função era amplificar estes sinais em rádios, televisores, dentre outros. No entanto, com o surgimento do diodo, foi possível conceber um dispositivo capaz de realizar as mesmas funções das válvulas termiônicas de forma mais simples, compacta e econômica. Tal possibilidade veio com o surgimento do transistor, que nada mais é do que um componente eletrônico capaz de amplificar, detectar, comutar e gerar oscilações. Desde então, a eletrônica vem avançando de forma vertiginosa, sendo diversos os tipos de transistores disponíveis, dentre estes o transistor bipolar de junção é o mais comum (BERTOLI, 2000, p. 39).

O transistor bipolar é composto por três camadas de materiais semicondutores formando uma única pastilha do tipo NPN ou PNP, como ilustrado na figura 23.

Figura 23 - Transistores de junção NPN e PNP.



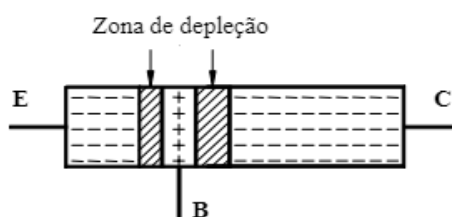
Fonte: Autor, 2021.

Cada um dos três terminais do transistor é identificado e denominado de E - emissor, C - coletor e B - base. A base, em geral, está localizada no centro e é comum aos outros dois cristais semicondutores, sendo levemente dopada (cuja espessura é da ordem de micros). Já o cristal denominado de emissor, recebe esta terminologia por ser o mais dopado entre os três e por ser aquele que emite portadores de carga durante o funcionamento do transistor. Por fim, temos o coletor, que tem por objetivo receber os portadores de carga provenientes do emissor. O coletor geralmente possui dopagem média. É fácil ver a semelhança do transistor com o diodo, de modo que, é frequente denominarmos o par emissor-base de diodo emissor e o par coletor-base de diodo coletor. Tal analogia será de grande importância quando estudarmos o comportamento eletrodinâmico do transistor (BERTOLI, 2000, p. 40).

6.6.2.2.1 Análise de funcionamento do transistor

Para a análise do funcionamento, vamos considerar o transistor NPN, uma vez que para o transistor PNP as considerações são análogas, diferindo apenas o sentido das correntes de funcionamento. Vamos considerar inicialmente o transistor em regime não polarizado e entender seu comportamento. A figura 24 ilustra o transistor NPN e sua configuração eletrostática.

Figura 24 - Distribuição dos portadores de carga no transistor NPN não polarizado.

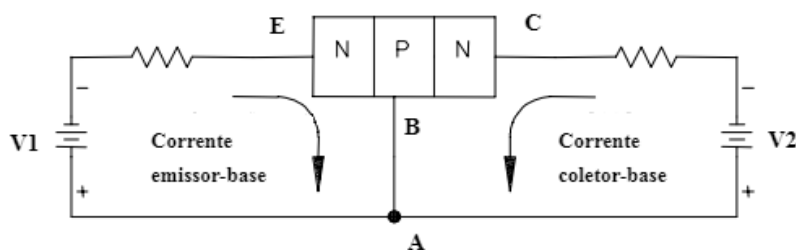


Fonte: Autor, 2021.

Observando a figura 24, podemos perceber que as zonas de depleção possuem larguras diferentes, considerando a temperatura ambiente de 25°C . A esta temperatura cada zona possui uma barreira de potencial de $0,7\text{V}$, sendo que a largura depende do grau de dopagem de cada uma das camadas semicondutoras, de modo que, quanto menor a dopagem, maior a largura da zona e quanto maior a dopagem menor sua largura. A partir dessa configuração, podemos polarizar o transistor, que pode exibir três configurações distintas, são elas:

- **Polarização direta:** Neste caso os terminais emissor e coletor estão diretamente polarizados em relação a uma fonte de tensão externa, como ilustrado na figura 25. Da mesma forma, os terminais coletor e base. Nesta configuração, podemos observar que as duas correntes de sentido direto, emissor-base e coletor-base, encontram-se no nó A retornando para a bateria.

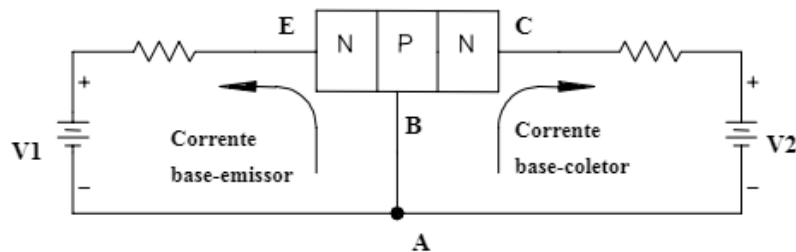
Figura 25 - Transistor NPN em polarização direta.



Fonte: Autor, 2021.

- **Polarização reversa:** Nesta configuração, os terminais emissor e coletor estão inversamente polarizados, da mesma forma os terminais coletor e base. Como pode ser visto na figura 26, existe a circulação de corrente, no entanto esta possui valor extremamente baixo, sendo denominada de corrente de fuga.

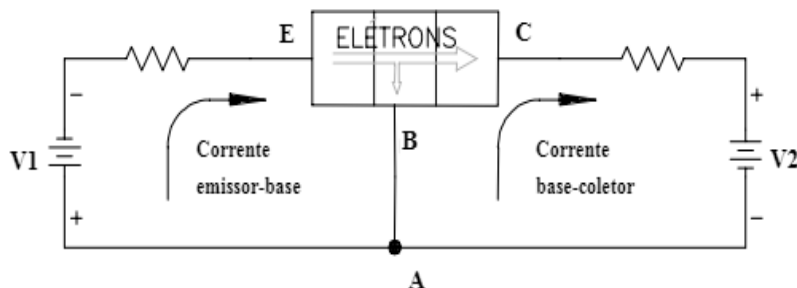
Figura 26 - Transistor NPN em polarização reversa.



Fonte: Autor, 2021.

- **Polarização direta-reversa:** Nesta montagem (figura 27) o diodo emissor está diretamente polarizado e o diodo coletor inversamente polarizado. Desta forma, espera-se que a corrente emissor-base seja alta e a corrente base-coletor muito pequena, no entanto não é o que se verifica. Percebe-se que nesta configuração, ambas as correntes são altas. Tal fenômeno deve-se à injeção de elétrons que atravessam a barreira base-coletor, amplificando a corrente na junção inversamente polarizada.

Figura 27 - Transistor NPN em polarização direta-reversa.



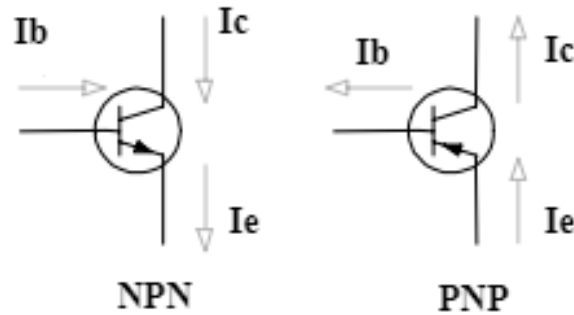
Fonte: Autor, 2021.

6.6.2.2.2 Correntes no transistor

De forma simplificada, podemos ilustrar, como na figura 28, as correntes típicas de funcionamento do transistor considerando os tipos NPN e PNP. É fácil ver que a única

diferença entre os dois tipos é o sentido de suas correntes, função direta do tipo de portadores de carga predominante em sua estrutura cristalina.

Figura 28 - Correntes no transistor.



Fonte: Autor, 2021.

Observando a figura 26 e aplicando a lei dos nós de Kirchhoff, é fácil ver que a corrente do emissor é igual à soma das correntes da base e do coletor. Dessa forma, denotando por I_e a corrente na base, I_c a corrente no coletor e I_b a corrente na base, podemos generalizar:

$$I_e = I_c + I_b \quad (1)$$

Nesse contexto, denominamos de corrente de ganho, simbolizada por β_{cc} , a seguinte relação:

$$\beta_{cc} = \frac{I_c}{I_b} \quad (2)$$

Onde I_c corresponde à corrente no coletor e I_b é corrente na base. Analogamente, podemos definir o parâmetro α_{cc} como o ganho em relação ao terminal emissor do transistor, sendo assim:

$$\alpha_{cc} = \frac{I_c}{I_e} \quad (3)$$

6.6.2.2.3 Transistor como amplificador de sinal

Dentre as diversas aplicações do transistor, podemos destacar sua capacidade de amplificar sinais elétricos de baixa intensidade. Tal possibilidade está relacionada com a polarização direta-reversa, que permite a injeção de elétrons no sentido base-coletor, permitindo assim gerar a amplificação desta corrente. Dessa forma, podemos não apenas

amplificar o sinal base-coletor, mas também, por meio da variação da tensão diretamente ligada ao terminal base, aumentar ou diminuir esta corrente, permitindo utilizar o transistor como sensor por meio da regulação de sua base. Tal possibilidade será ilustrada e utilizada ativamente na atividade experimental didática 4, onde será construído um circuito transistorizado capaz de acionar um pequeno led por meio do ‘toque’ (touch) no terminal base com o objetivo demonstrar tal aplicação.

6.4.3 Teste de verificação 4

Concluída a exposição dialógica do conteúdo, o professor deve distribuir o roteiro de atividades solicitando que cada estudante responda ao teste de verificação respeitando o tempo limite de resolução contido na parte inicial do roteiro. O professor deve seguir as mesmas etapas listadas para a aplicação dos testes anteriormente descritos.

6.4.3.1 Orientações para a aplicação do teste 4

Abaixo seguem as orientações a serem seguidas pelo professor para a aplicação do teste de verificação. Tais orientações devem ser seguidas na sequência apresentada.

- Distribuir o roteiro de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos propostos próximo ao final da exposição teórica do conteúdo.
- Delimitar o tempo de até 5min para a resolução do teste.
- Enfatizar a importância do teste como ferramenta de avaliação.
- Orientar os estudantes a concentrarem-se no conteúdo desenvolvido na aula e nos conhecimentos prévios que dominam.

Quadro 11 — Teste de verificação da aula 4.

PERGUNTA	ENUNCIADO	RESPOSTA CORRETA
Pergunta - 01	A tensão de operação coincide com o repentino aumento da corrente no diodo a partir de pequenas variações na tensão.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 02	Atingida a tensão de ruptura, qualquer pequeno aumento na tensão gera um grande aumento na corrente do diodo.	Verdadeiro (X) Falso ()

Pergunta - 03	A curva característica nos dá noções vagas sobre o funcionamento do diodo.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 04	Cada diodo possui sua própria curva característica.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 05	A corrente de fuga é uma pequena corrente que antecede o funcionamento do diodo no sentido reverso.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 06	Não existe relação entre o diodo e o transistor uma vez que ambos possuem naturezas diferentes.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 07	Os sentidos das correntes de operação dos transistores NPN e PNP são os mesmos e independem da polarização do diodo.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 08	O transistor pode ser polarizado diretamente, inversamente e direta-inversamente.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 09	As correntes de operação do transistor obedecem às leis de Kirchhoff.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 10	β_{cc} representa o ganho na corrente base-coletor quando o transistor está em polarização direta-reversa.	Verdadeiro (X) Falso ()

Fonte: Autor, 2021.

6.4.4 Atividade experimental didática 4

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 12. Nesta atividade o estudante é solicitado a construir um circuito composto por uma fonte de tensão AC/DC variável, um transistor BC548, um resistor de 100Ω e um diodo emissor de luz (LED). O estudante deve ser capaz de construir um circuito série a partir do esquema representado no roteiro fornecido. O circuito deve ilustrar a capacidade de amplificação de sinais realizada pelo transistor como ilustrado na figura 21. O estudante deve deixar o terminal base do transistor livre para posterior análise funcional e resolução das questões discursivas. Dessa forma, as etapas de realização devem ser seguidas pelo professor na ordem apresentada.

6.4.4.1 Orientações para a atividade experimental 4

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 12. Inicialmente o estudante é solicitado a construir o circuito da figura 29. Ele deve ser capaz de construir um circuito que permita demonstrar o acendimento do LED por meio da variação de tensão na base do transistor, com apenas um toque do seu dedo, o que permite amplificar a corrente emissor-coletor do transistor. Dessa forma, as etapas de realização devem ser seguidas pelo professor na ordem apresentada a seguir.

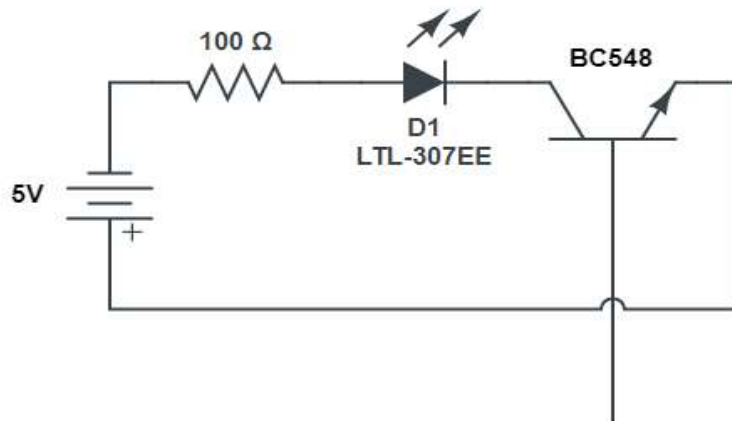
Antes do experimento:

- O professor deve entregar o kit contendo todos os componentes e ferramentas manuais para a execução da atividade.
- Deve entregar o kit ao líder do grupo que deve orientar e auxiliar os demais integrantes.
- Deve pedir para que todos leiam o roteiro de atividades e realizem a montagem do circuito proposto de acordo com as instruções.
- Deve pedir para que todos, durante a montagem, respondam as perguntas discursivas no final do roteiro.

Durante o experimento:

- O professor deve acompanhar cada grupo dialogando, dirimindo dúvidas e analisando a interação dos estudantes, incentivando a participação de todos.
- Analisar a montagem que deve ser idêntica à da figura 21, sugerindo modificações diante de problemas ou dúvidas de montagem.
- Deve fazer indagações preliminares sobre o funcionamento do circuito, principalmente destacando as propriedades do transistor, gerando reflexões e debates com o intuito de subsidiar a resolução das perguntas que devem ser respondidas durante a atividade.
- Identificar as potencialidades de cada grupo no tocante à organização, trabalho em equipe e capacidade de montar e interpretar o circuito.

Figura 29 - Circuito amplificador básico.



Fonte: Autor, 2021.

6.4.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas

Nesta subseção, apresentamos as perguntas discursivas a serem analisadas e respondidas pelos estudantes durante a execução da atividade, também apresentamos as respostas esperadas.

1 - Tendo montado o circuito corretamente, conecte-o à fonte de tensão (tomando cuidado para selecionar a tensão correta, como indicado no diagrama) e observe o que acontece. Após a observação, com a ponta do seu dedo, toque o fio ligado ao terminal base do transistor. O que ocorreu? Explique.

Resposta esperada:

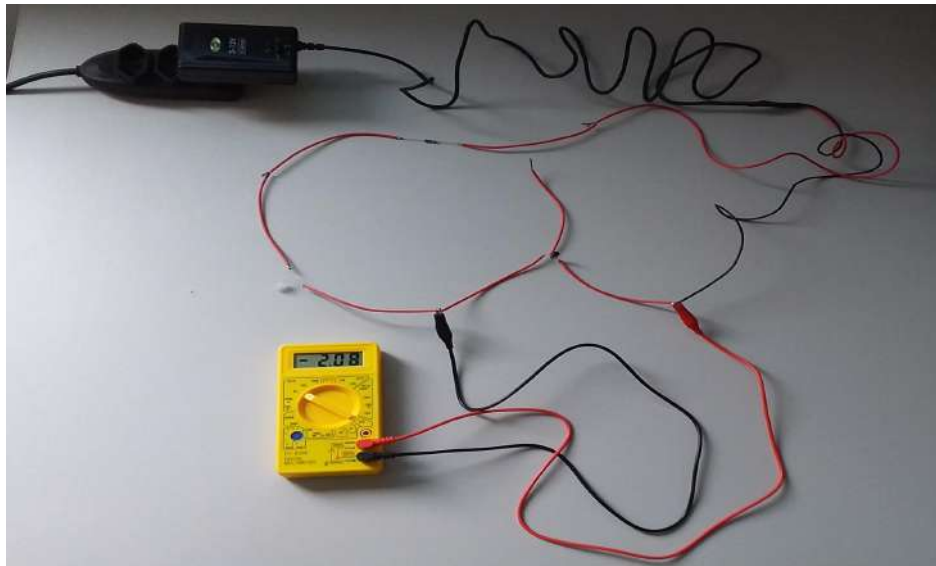
Estando o circuito montado corretamente, como ilustrado no diagrama, observa-se que nada acontece, uma vez que a tensão V_{CE} (coletor-emissor) não é suficiente para fazer o circuito funcionar. No entanto, ao tocarmos a ponta do fio ligado à base do transistor, percebemos que o LED acende, pois, com o simples toque do nosso dedo, somos capazes de mudar o valor de V_{CE} , tornando seu valor suficiente para iniciar o funcionamento do circuito. é importante destacar também que a corrente I_{CE} é controlado pelo terminal base do transistor.

2 - Qual o valor da tensão V_{CE} (tensão coletor-emissor) entre o coletor e o emissor do transistor estando o LED desligado?

Resposta esperada e montagem:

O estudante deve ser capaz de executar a medição conforme a figura 30, obtendo o valor $V_{CE} = 2,08V$ aproximadamente..

Figura 30 - Montagem 13.



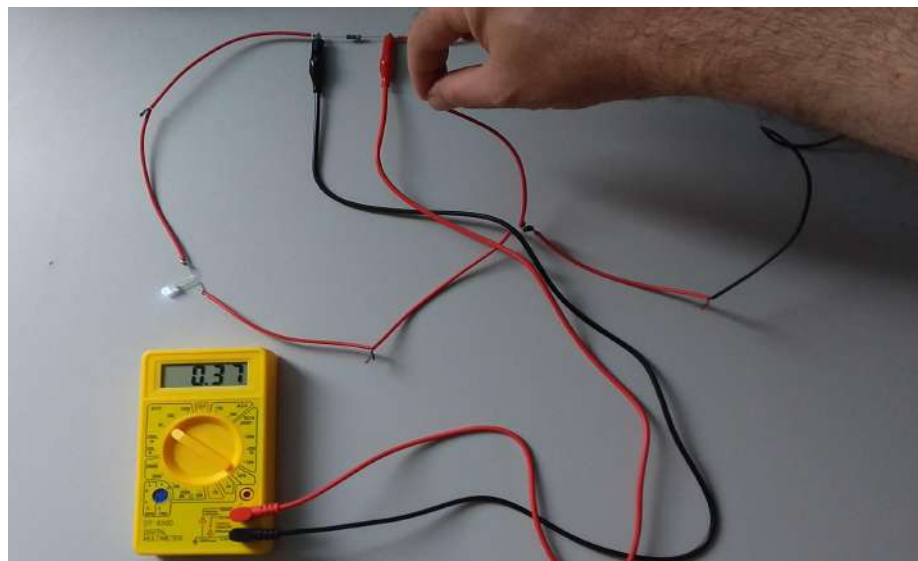
Fonte: Arquivo do autor, 2021.

3 - Estando o circuito em funcionamento, meça a tensão no resistor, no LED e entre os terminais coletor e emissor do transistor e some esses valores. O resultado é familiar? Explique.

Resposta esperada e montagem:

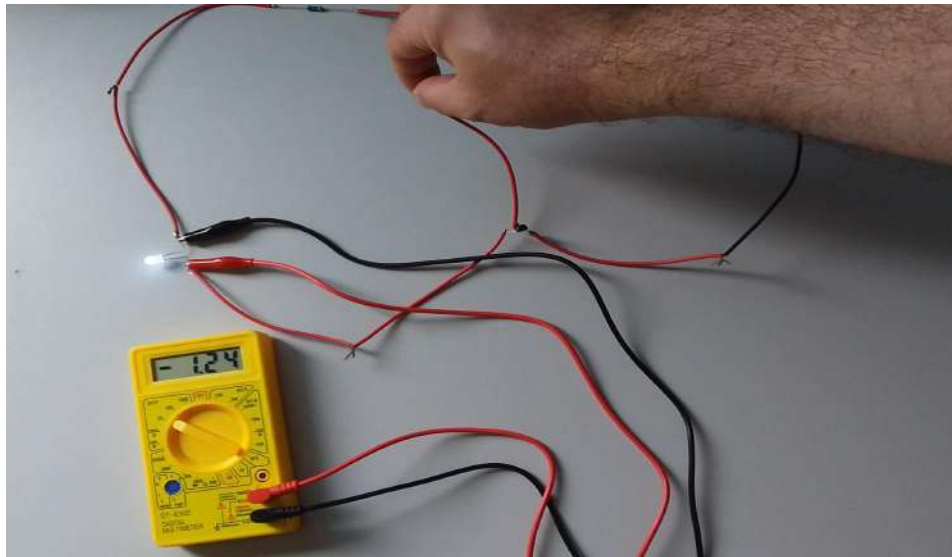
De posse do multímetro, e segurando o terminal base do transistor, o estudante deve medir a tensão no resistor, como indicado na figura 31 e encontrar o 0,37V.

Figura 31 - Montagem 14.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Figura 32 - Montagem 15.



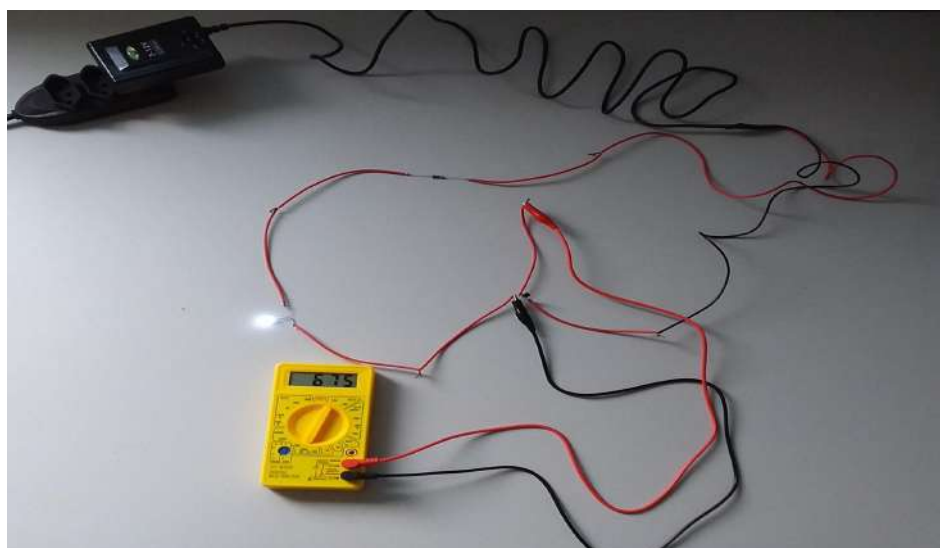
Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Da mesma forma, deve medir a tensão no LED encontrando 1,24V. Somando este valor, com a tensão do resistor, obtemos 1,61V. Medindo a tensão V_{BC} encontramos 1,59V, ou seja, aproximadamente 1,61V.

4 - Com o circuito em funcionamento, meça a tensão V_{BC} (tensão base-coletor), depois, com o circuito desligado, meça a resistência entre os terminais base-coletor. Com estes dados, calcule a corrente I_{BC} .

Resposta esperada e montagem:

Figura 33 - Montagem 16.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Medindo a resistência elétrica entre os terminais base e coletor com o circuito desligado, obtemos 675Ω. Sendo assim, sabendo que $V_{CB} = 1,59V$, temos:

$$I = \frac{1,59}{675} = 0,002A = 2mA$$


5 - Observando o diagrama do circuito apresentado que tipo de polarização o transistor está submetido? Explique.


Resposta esperada:

Considerando o tipo de montagem e a finalidade do circuito, observamos que o transistor está em polarização direta-reversa.

Materiais para a atividade experimental 4:

Quadro 12 — Materiais da atividade experimental didática 4.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none">• Tensão DC faixas: 200mV, 2000mV, 20V, 200V, 1000V• Tensão AC faixas: 200V, 750V• Corrente DC faixas: 200μA, 2000μA, 20mA, 200mA, 10A• Resistência faixas: 200W, 2000W, 20kW, 200kW, 2000kW• Diodo faixa: Diodo• Indicação: Queda de tensão aproximada sobre o diodo• Condição de teste: Corrente direta aproximada de 1mA DC• Tensão reversa aproximada de 2.8V DC	<div></div> <p>Multímetro Digital</p>

<ul style="list-style-type: none">• Fonte de tensão variável.• Entrada: 220V/110V• Saída: 3V, 4,5V, 6V, 7,5V, 9V, 12V• Corrente: 2500mA máximo	 <p>Fonte regulável de tensão</p>
<ul style="list-style-type: none">• Tensão coletor emissor 30V• Tensão coletor base 30V• Tensão emissor base 5V• Corrente de coletor mA• Temperatura de operação -55° C a 150° C	 <p>Transistor BC548</p>
<ul style="list-style-type: none">• Diâmetro: 5mm• Cor: Vermelho, Verde, Branco e Amarelo• Tensão: 2V• Corrente: 20mA	 <p>Diodo emissor de luz (LED)</p>
<ul style="list-style-type: none">• Resistência 100Ω• Tolerância 5%• Código de cores Marrom, preto, marrom e ouro• Tipo carbono• Voltagem máxima 350V	

	Resistor 100Ω
--	---------------

Fonte: Autor, 2021.

Quantidade de materiais para a atividade experimental 4:

Quadro 13 — Materiais para a atividade experimental 4.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Resistor	01
Transistor	01
Diodo emissor de luz (LED)	01
Fonte regulável de tensão AC/DC	01

Fonte: Autor, 2021.

6.5 Aulas - 5 e 6

6.5.1 Planejamento pedagógico

- **Apresentação do tema:** O professor pode iniciar uma discussão sobre as aplicações dos semicondutores no universo tecnológico, pontuando suas propriedades elétricas até então discutidas. Neste momento, o professor deve trazer a baila como os principais aparelhos eletrodomésticos funcionam a partir da utilização do diodo e do transistor, estabelecendo relações entre as propriedades destes componentes e a funcionalidade de alguns aparelhos. Ainda nesta etapa o professor deve apresentar as possíveis configurações de circuito a serem utilizadas para o transistor, problematizando sua capacidade de amplificação de corrente lembrando o experimento da aula 4.
- **Conteúdo:** Aplicações tecnológicas dos semicondutores e resolução de problemas através da modelagem de circuitos.
- **Duração:** 120 minutos.
- **Objetivos:** Mostrar para o estudante as aplicações do diodo e do transistor na solução do problema de monitorar o nível de água de um reservatório.

- **Recursos:** Será utilizado o projetor de vídeo com o objetivo de ilustrar de forma ampla as etapas de montagem do circuito e o dialogismo por meio da apresentação de exemplos variados da aplicação de circuitos na solução de problemas tecnológicos.
- **Desenvolvimento:** Inicialmente o professor pode introduzir o assunto com uma pergunta: Quais as principais aplicações do diodo e do transistor? É natural que boa parte dos estudantes não consigam responder ao questionamento de forma imediata, ou remontar as aplicações das atividades anteriormente realizadas, porém o professor deve lembrar aos estudantes as principal característica do diodo e do transistor, que é conduzir corrente elétrica apenas em um sentido, para o diodo e funcionar como amplificador de corrente ou chave liga/desliga, para o transistor. Neste momento o professor deve discutir como desenvolver estas propriedades na construção de circuitos funcionais capazes de solucionar problemas do cotidiano. Dessa forma, o professor deve apresentar o problema do monitoramento do nível de água de um reservatório contendo água considerando as propriedades elétricas do diodo e do transistor, como possibilidade tecnológica. Sendo assim, o professor deve instigar os estudantes a montar um sensor de nível de água que aproveite a capacidade de amplificação de sinais do transistor em polarização direta-reversa com esse objetivo. É importante frisar que a utilização de recursos multimídia nesta etapa é fortemente recomendada.

6.5.2 Texto de apoio para o professor

6.5.2.1 Circuitos como meio de solução de problemas

É papel da física compreender e explicar os diferentes fenômenos naturais que nos cercam estabelecendo leis, princípios e teorias. Nesse cenário onde o mundo material é investigado, a solução de problemas por meio dos resultados acumulados pela física permite o aperfeiçoamento contínuo das diferentes tecnologias empregadas pelo homem em seu contexto de vida. Dessa forma, a construção de circuitos eletrônicos é um exemplo de possibilidade técnica, amparada nos princípios físicos da eletrodinâmica, que permite o desenvolvimento de sistemas capazes de controlar, de forma ativa ou passiva, o comportamento de variáveis intervenientes como a temperatura, pressão, dilatação térmica, níveis de radiação, umidade, dentre outros tipos associados a sistemas mecânicos, hidráulicos, ópticos, energéticos, automatizados, dentre outras possibilidades.

Nesse sentido, a construção de circuitos eletrônicos mostra-se importante na solução de problemas corriqueiros do nosso dia a dia, como por exemplo, o monitoramento do nível de água de um reservatório. Tal possibilidade mostra-se acessível do ponto de vista material uma vez que os componentes eletrônicos utilizados para este projeto são facilmente encontrados e possuindo baixo custo. Sendo assim, propomos como meio de integralização do conteúdo ministrado nesta sequência didática, a construção de um medidor de nível de água transistorizado, cujos elementos de saída de sinal são diodos emissores de luz (LED) que indicam o nível de líquido contido no recipiente. Sendo assim, é possível para o estudante perceber a importância das propriedades dos semicondutores no contexto tecnológico permitindo que este amplie sua percepção acerca destes materiais.

Ao mesmo tempo que o estudante deve apropriar-se dos conteúdos desenvolvidos nas aulas anteriores, nesta etapa, deve demonstrar habilidades de montagem que envolvem a utilização de ferramentas básicas de bancada, como alicates de corte e bico, descascador de fios, multímetro e ferro de solda (este deve ser utilizado sob supervisão direta do professor com o intuito de evitar acidentes) de modo que o estudante desenvolva capacidade manual, importante para a construção de circuitos como também em outros contextos semelhantes. Dessa forma, além de promover a educação científica dos estudantes, em concordância com os PCN, estimulamos a possibilidade destes buscarem formação profissional ligada à eletrônica ou áreas correlatas.

Nesse sentido, é importante que o professor estimule o trabalho em equipe atuando como um conselheiro, propondo caminhos e formas que potencializam a integração dos estudantes na solução de eventuais problemas de montagem. De forma concomitante deve estimular o dialogismo na solução das perguntas discursivas resgatando os resultados obtidos nas atividades precedentes de modo que os estudantes interpretem a construção e análise do circuito medidor como o acúmulo de sua própria aprendizagem. Não obstante, a construção de circuitos como meio de solução de problemas representa uma estratégia movimentacional no sentido de promover a cultura científica dos estudantes que são levados a problematizar, tecer hipóteses e desenvolver soluções como resposta (BAPTISTA e SIQUEIRA M., 2018, p. 552).

Sendo assim, os circuitos eletrônicos, desde os mais simples aos mais sofisticados permitem explorar e solucionar diversos problemas de forma prática e didática levando à construção do saber de modo concreto e substantivo. É importante frisar que tal possibilidade possui amplo espectro de aplicação de modo que é possível a combinação de diversos recursos, como placas controladoras e de aquisição de dados, componentes mecânicos, e

dispositivos eletrônicos variados. Vale ressaltar que a escolha dos recursos a serem aplicados vão depender do tipo de problema a ser solucionado como também dos objetivos de ensino previamente estabelecidos.

6.5.3 Teste de verificação 5

Concluída a exposição teórica, o professor deve distribuir o roteiro de atividades experimentais solicitando que cada estudante responda ao teste de verificação contido na parte inicial do roteiro. O professor deve seguir as mesmas etapas listadas para a aplicação dos testes anteriores.

6.5.3.1 Orientações para a aplicação do teste 5

Abaixo seguem as orientações a serem seguidas pelo professor para a aplicação do teste de verificação. Tais orientações devem ser seguidas na sequência apresentada.

- Distribuir o roteiro de atividades contendo o teste de verificação e os experimentos propostos próximo ao final da exposição teórica do conteúdo.
- Delimitar o tempo de até 5min para a resolução do teste.
- Enfatizar a importância do teste como ferramenta de avaliação.
- Orientar os estudantes a concentrarem-se no conteúdo desenvolvido na aula e nos conhecimentos prévios que dominam.

Quadro 14 — Teste de verificação da aula 5.

PERGUNTA	ENUNCIADO	RESPOSTA CORRETA
Pergunta - 01	É papel da física compreender a natureza e por meio desta compreensão elaborar meios tecnológicos para a solução de problemas do dia a dia.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 02	Circuitos eletrônicos não são importantes para a solução de problemas cotidianos.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 03	Circuitos podem ser utilizados em contextos tecnológicos diferentes.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 04	A eletrônica, quando associada a outras áreas da tecnologia, permite	Verdadeiro (X) Falso ()

	aumentar a possibilidade de resolução de problemas.	
Pergunta - 05	Diodos e transistores possuem utilização restrita e pouco diversificada.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 06	Uma das vantagens de construir circuitos eletrônicos é seu baixo custo e viabilidade prática.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 07	Não é necessário compreender bem um problema tecnológico para então modelar um circuito que permita solucioná-lo.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 08	É fundamental possuir domínio da eletrodinâmica para utilizar de forma racional os diversos componentes eletrônicos existentes para modelar e construir um circuito.	Verdadeiro (X) Falso ()
Pergunta - 09	O campo da eletrônica é auto suficiente dispensando a utilização de componentes mecânicos para a construção de sistemas.	Verdadeiro () Falso (X)
Pergunta - 10	Circuitos de monitoramento podem ser utilizados em diversos contextos, como controle de temperatura, pressão, dilatação, nível de água, radiação, dentre outros.	Verdadeiro (X) Falso ()

Fonte: Autor, 2021.

6.5.4 Atividade experimental didática 5

Tendo o estudante compreendido os aspectos teóricos desenvolvidos ao longo desta sequência didática, idealizamos nesta etapa uma atividade experimental capaz de integralizar estes aspectos permitindo ao estudante estabelecer conexão entre a teoria estudada e a prática desenvolvida. Nesse sentido, semelhantemente às aulas anteriores, o professor deve dividir a turma preferencialmente em 5 grupos compostos por 6 estudantes (estamos considerando uma sala formada por 30 alunos, caso a quantidade de estudantes exceda ou seja inferior a este número, é possível tornar os grupos maiores ou menores sem prejuízo da atividade).

Cada estudante inicialmente será responsável por uma etapa do experimento, as quais devem ocorrer de forma concomitante, por exemplo, um deles irá selecionar os elementos do circuito, outro deverá fazer as ligações elétricas, outro irá organizar a resolução das questões

fazendo medições elétricas, outro selecionará as ferramentas necessárias e outro fará a leitura do circuito representado esquematicamente no roteiro de atividades. Feito isso, a próxima tarefa do grupo será discutir e responder às questões propostas ao final do experimento.

6.5.4.1 Orientações para a atividade experimental 5

Para a execução da atividade são necessários os materiais presentes no quadro 15. Nesta atividade o estudante é solicitado a construir um circuito composto por uma fonte de tensão variável, cinco transistores BC548, cinco resistor de 100Ω e cinco diodos emissores de luz (LED). O estudante deve ser capaz de construir um circuito composto por cinco ramos ligados em paralelo, onde cada ramo é composto por um resistor, um diodo led e um transistor a partir do esquema representado no roteiro. O circuito deve ser capaz de identificar o nível de água no reservatório a partir do contato da água com a ponta anterior do fio ligado ao terminal base de cada transistor. O estudante deve fixar os fios dos terminais base dos transistores em um tubo de PVC de 20cm utilizando cintas plásticas, ordenando os níveis do mais baixo para o mais alto. Dessa forma, as etapas de realização devem ser seguidas pelo professor na ordem apresentada.

Antes do experimento:

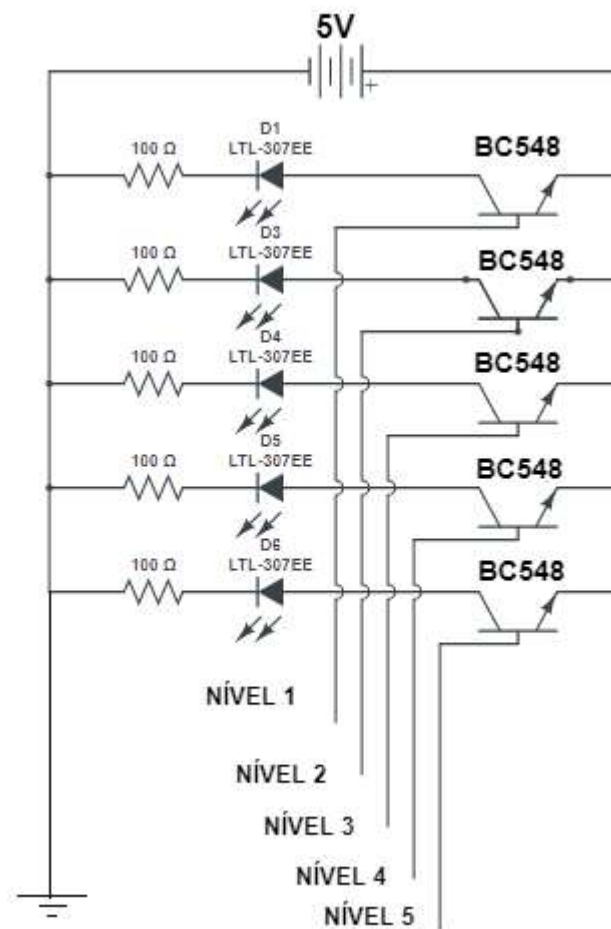
- O professor deve entregar o kit contendo todos os componentes e ferramentas manuais para a execução da atividade.
- Deve entregar o kit ao líder do grupo que deve orientar e auxiliar os demais integrantes.
- Deve pedir para que todos leiam o roteiro de atividades e realizem a montagem do circuito proposto de acordo com as instruções.
- Deve pedir para que todos, durante a montagem, respondam as perguntas discursivas no final do roteiro.

Durante o experimento:

- O professor deve acompanhar cada grupo dialogando, dirimindo dúvidas e analisando a interação dos estudantes, incentivando a participação de todos.
- Analisar a montagem que deve ser idêntica à da figura 33, sugerindo modificações diante de problemas ou dúvidas de montagem.

- Deve fazer indagações preliminares sobre o funcionamento do circuito, principalmente destacando as propriedades do transistor, gerando reflexões e debates com o intuito de subsidiar a resolução das perguntas que devem ser respondidas durante a atividade.
- Identificar as potencialidades de cada grupo no tocante à organização, trabalho em equipe e capacidade de montar e interpretar o circuito.

Figura. 34 - Circuito medidor de nível de água.



Fonte: Autor, 2021.

6.5.4.1.1 Perguntas discursivas e respostas esperadas

Nesta subseção, apresentamos as perguntas discursivas a serem analisadas e respondidas pelos estudantes durante a execução da atividade, também apresentamos as respostas esperadas.

1 - É possível utilizar este circuito para o monitoramento e controle de um reservatório contendo soluções iônicas? E para monitorar a variação de comprimento de uma barra metálica aquecida (neste último caso, despreze os possíveis efeitos do calor sob o circuito)? Explique.

Resposta esperada:

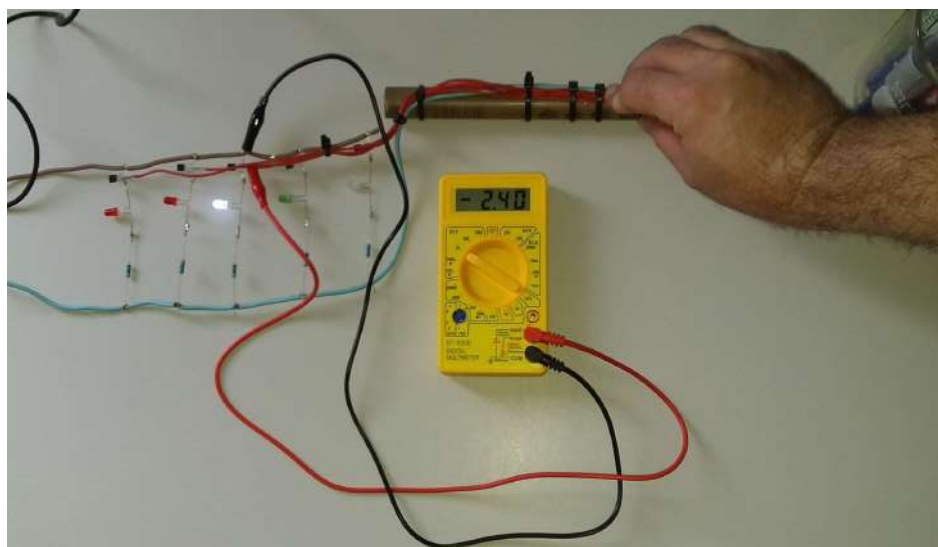
Soluções iônicas são meios aquosos capazes de conduzir eletricidade. Considerando que esta solução estará em contato direto com os terminais da base dos cinco transistores do circuito, existe a possibilidade da solução estabelecer um curto circuito entre estes terminais prejudicando seu funcionamento ou danificando o circuito. Dessa forma, o circuito deve ser usado para medir o nível de líquidos não condutores. Considerando o monitoramento do comprimento de uma barra que varia no tempo, não há qualquer impossibilidade do ponto de vista funcional, sendo o circuito passível de executar esta função a partir de certas modificações.

2 - Com o circuito em funcionamento, escolha um dos transistores e meça a tensão base-emissor e a tensão coletor-emissor deste transistor, em seguida some esses valores. O resultado chama a sua atenção? Explique.

Resposta esperada e montagem:

Escolhemos qualquer transistor e tocamos na extremidade do fio ligado à sua base. Dessa forma, obtém-se $V_{BE} = 2,4V$.

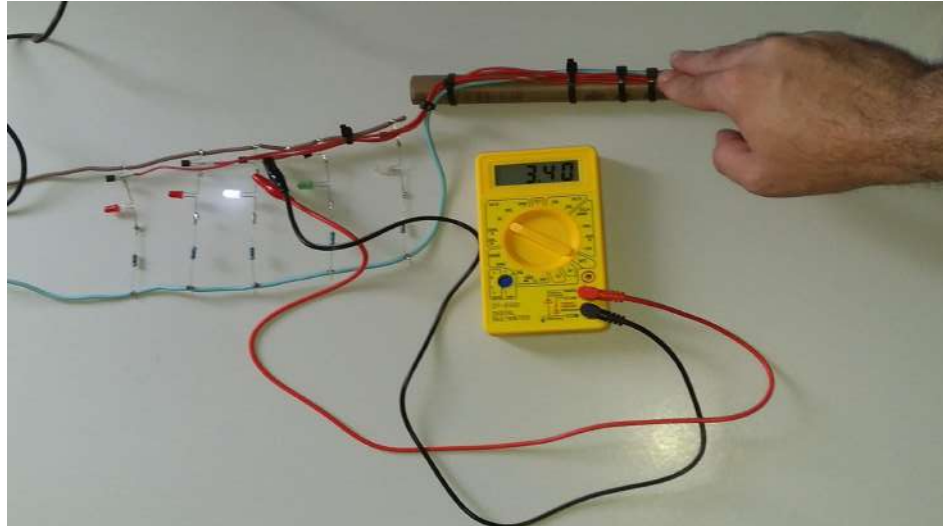
Figura 35 - Montagem 17.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Da mesma forma, medimos a tensão, obtendo $V_{CB} = 3,4V$. Desconsiderando as flutuações decorrentes do próprio processo de medição, podemos concluir que $V_{BE} + V_{CB} = V_{FONTE}$.

Figura 36 - Montagem 18.



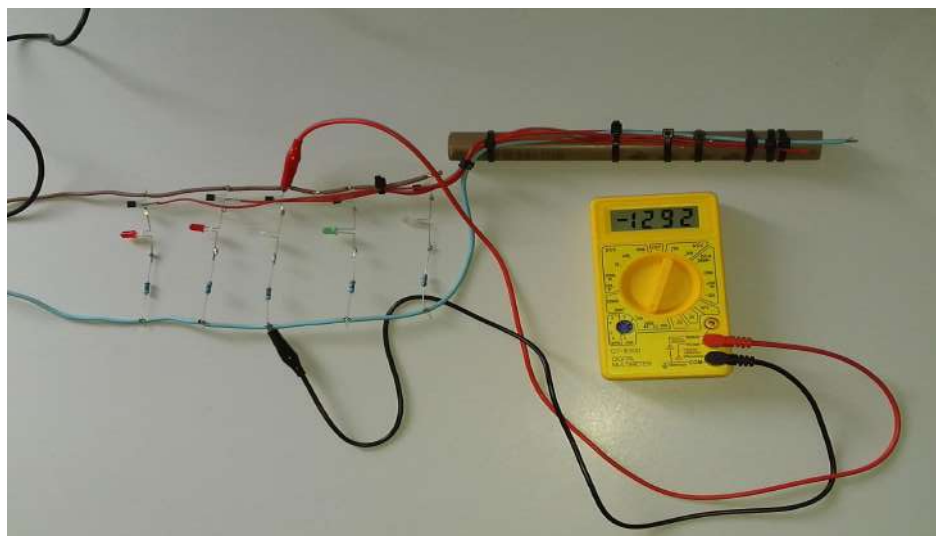
Fonte: Arquivo do autor, 2021.

3 - Com o circuito desligado, determine sua resistência equivalente.

Resposta esperada e montagem:

O circuito é composto por cinco ramos, cada qual formado por um transistor, um LED e um resistor. Sendo assim, devemos medir a resistência elétrica (como indicado na figura 34) de cada ramo e calcular a resistência equivalente do circuito.

Figura 37 - Montagem 19.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

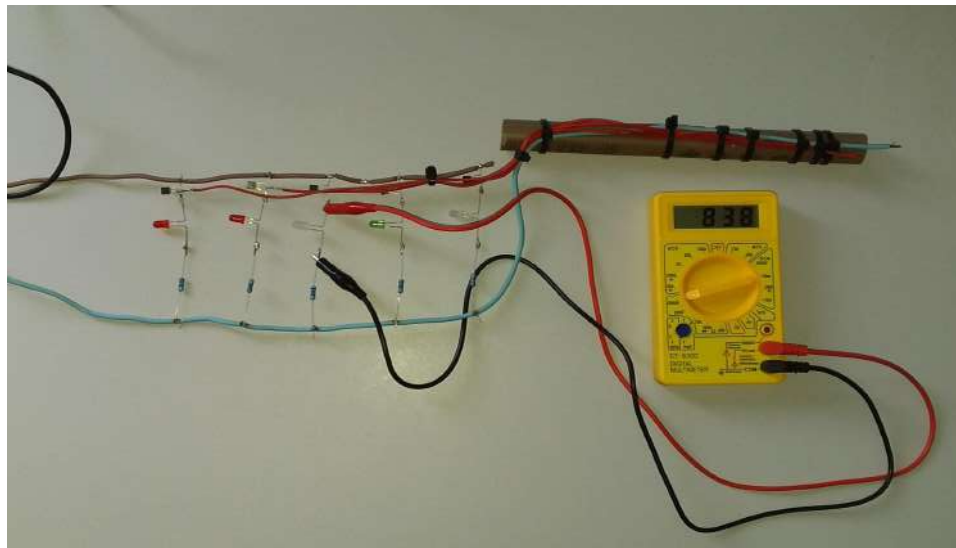
Sendo assim, o valor encontrado para a resistência é de 1292Ω . Lembrando que os cinco ramos estão associados em paralelo e apresentam mesma resistência, temos:

$$R = \frac{1292}{5} = 258,4\Omega$$

4 - Qual a corrente que percorre cada diodo LED durante o funcionamento do circuito?

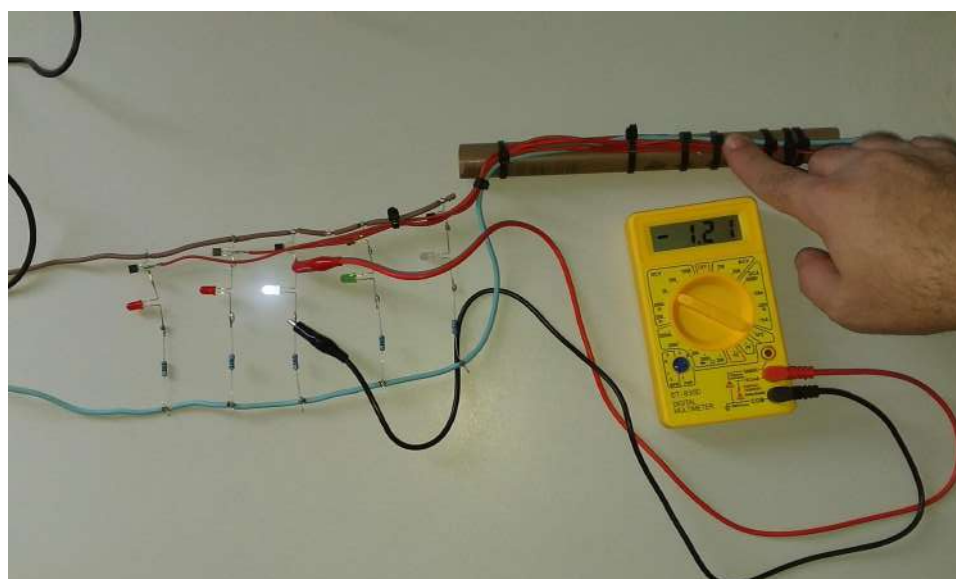
Resposta esperada e montagem:

Figura 38 - Montagem 20.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Figura 39 - Montagem 21.



Fonte: Arquivo do autor, 2021.

Para o cálculo da corrente em qualquer um dos LEDS deve-se aplicar a lei de Ohm. Efetuando a medição da resistência elétrica do LED cujo valor é 838Ω (como ilustrado na figura 38) e, em seguida, realizada a medição da tensão de funcionamento do LED sendo de $1,21V$, temos:

$$i = \frac{1,21}{838} = 0,001A = 1mA$$

5 - Apenas utilizando seus conhecimentos sobre eletrodinâmica, qual o valor da corrente total que ‘alimenta’ o circuito?

Resposta esperada:




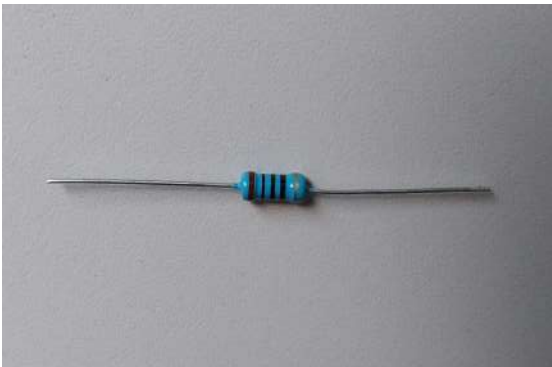
Considerando a lei dos nós de Kirchhoff e sabendo que a corrente que percorre um dos LED’s equivale a $1mA$, para os cinco ramos do circuito, temos:


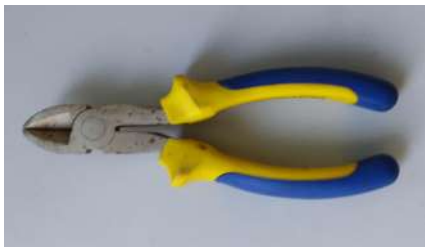

$$I = 5i = 5 \times 1mA = 5mA$$

Materiais para a atividade experimental 5:

Quadro 15 — Materiais da atividade experimental didática 5.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none">• Tensão DC faixas: 200mV, 2000mV, 20V, 200V, 1000V• Tensão AC faixas: 200V, 750V• Corrente DC faixas: 200μA, 2000μA, 20mA, 200mA, 10A• Resistência faixas: 200W, 2000W, 20kW, 200kW, 2000kW• Diodo faixa: Diodo• Indicação: Queda de tensão aproximada sobre o diodo• Condição de teste: Corrente direta aproximada de 1mA DC• Tensão reversa aproximada de 2.8V DC	<div></div> <p>Multímetro Digital</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Fonte de tensão variável. • Entrada: 220V/110V • Saída: 3V, 4,5V, 6V, 7,5V, 9V, 12V • Corrente: 2500mA máximo 	 <p>Fonte de tensão variável</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro: 5mm • Cor: Vermelho, Verde, Branco e Amarelo • Tensão: 2V • Corrente: 20mA 	 <p>Diodo emissor de luz (LED)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Tensão coletor emissor 30V • Tensão coletor base 30V • Tensão emissor base 5V • Corrente de coletor mA • Temperatura de operação -55° C a 150° C 	 <p>Transistor BC548</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Resistência 100Ω • Tolerância 5% • Código de cores Marrom, preto, marrom e ouro • Tipo carbono • Voltagem máxima 350V 	

	Resistor 100Ω
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação: Corte • Bico: Bico meia-cana reto • Cabo: Com isolamento • Mordentes: Mordentes com pontas estriadas e parte central côncava • Cor Predominante: Vermelho • Material: Aço carbono • Comprimento: 6" - 152 mm 	
<ul style="list-style-type: none"> • Range da fiação: 24mm² • Cor: Amarelo • Comprimento (mm): 165 • Peso do produto: 0,14kg. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Potência: 34W • Temperatura máxima: 410°C • Tensão: 110V/220V • Comprimento: 190mm • Peso: 120g 	
<ul style="list-style-type: none"> • Solda: 60 x 40 fio 1mm • Tipo: Estanho • Potência do ferro: 30W 	
<ul style="list-style-type: none"> • Material: PVC • Comprimento: 20cm • Diâmetro: 2,54cm 	

<ul style="list-style-type: none"> • Tamanho: 100 x 2,5mm • Nylon 66: Plástico mais puro, melhor qualidade • Possuem qualidade certificada internacionalmente e podem ser usadas em temperatura que vão de -35 a 85°C • Cor: Preta 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: Malha flexível • Material do núcleo: cobre • Isolação: Poliuretano • Corrente máxima: 25A 	
<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento: 260mm • Largura da Embalagem: 95mm • Altura da Embalagem: 5mm • Peso: 0,146Kg 	
<ul style="list-style-type: none"> • Volume: 250mL • Graduação em silk screen • Fabricado em polipropileno • Marca: Qualividros • Material: Plástico 	

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 16 — Materiais para a atividade experimental 5.

Material	Quantidade por grupo
----------	----------------------

Multímetro digital	01
Diodo emissor de luz (LED)	05
Transistor BC548	05
Resistor de 100Ω	05
Fio de cobre	2 metros
Fonte AC/DC variável	01
Béquer de 1000ml	01
Alicate de corte	01
Alicate de bico	01
Desencapador de fios	01
Ferro de solda	01
Estranho	01
Tubos de PVC (20cm)	04
Cinta plástica	30

Fonte: Autor, 2021.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trouxemos uma exposição didática da teoria dos elementos ativos com o objetivo de completar a exposição feita pela maioria dos livros didáticos de física que abordam o tema circuitos elétricos de forma restrita aos componentes passivos, como descrito no início desta sequência didática. Mostramos que uma possível sequência do estudo dos circuitos elétricos no nível médio, abordando os elementos ativos, é possível e consonante com a necessidade dos estudantes de compreender as aplicações tecnológicas que envolvem os semicondutores, ao mesmo tempo, verificaremos que este tema está associado a diversos outros já estudados pelos estudantes na disciplina de química, o que facilita a exposição do conteúdo. Sendo assim, concluímos que este trabalho afirmando que esta temática contribui significativamente para o desenvolvimento científico dos estudantes do 3º ano do ensino médio corroborando com os atuais parâmetros educacionais para o ensino da física.

8 REFERÊNCIAS

BANDEIRA, S. L. **Aprendizagem de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio Profissionalizante Utilizando Arduino**, Dissertação de Mestrado, 144 fl, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Universidade Federal Rural do Semi-árido, RN - Rio Grande do Norte, 2017.

Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5358>. Acesso em: 24 dez. 2021.

BAPTISTA, A. C. SIQUEIRA, M. R. P. **Implementação da Mecatrônica no ensino de Física : construção de ações investigativas através dos Dispositivos Mecatrônicos Educacionais**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 2, p.550-572, ago. 2018.

Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BERTOLI, R. A. **Eletrônica**, Campinas, São Paulo, Set. 2000, (Apostila). Disponível em: <http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/material-recebido/1/ApostilaEletronica.PDF>.

Acesso em: 07 Nov. 2021.

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductório de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTED, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

CAMPOS, D. M. S. C. **Psicologia da Aprendizagem**, 20nd Ed.Vozes, Petrópolis, 1987.

CAPUANO, F. G. MARIANO, M. A. M. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**, Ed. Érica, São Paulo, 1988.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências Fundamentos e Métodos**, Ed. Cortez, São Paulo, 2009.

FREITAS, F. C. **Semicondutores no Ensino Médio - Uma proposta de Ensino de Física Contemporânea**. 2013. 127f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas - PPGECE) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2013.

Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4455/6064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 set. 2021.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

GRAY, P. E. SEARLE, C. L. **Princípio de Eletrônica**, vol. 1, Ed. Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro, 1977.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

LOPES, J. L. **A Estrutura Quântica da Matéria**, Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, 1992.

MALVINO, A. P. **Eletrônica**, Ed. McGraw – Hill, São Paulo, 1987.

OKA, M. M. **História da Eletricidade**, São Paulo, Nov. 2000, (Apostila). Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

OLIVEIRA, J. M. M. FERREIRA, M. MILL, D. **Tecnologias no Ensino de Física: um estudo sobre concepções e perspectivas de professores do ensino médio**, Inc.Soc., Brasília, DF, v.10 n.1, p.147-161, jul./dez. 2016.

Disponível em: <http://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4179>. Acesso em 24 dez. 2021.

PINTO, A., & ZANETIC, J. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Cad.Cat.Ens.Fís., v.16, n. 1: p.7-34,abr.1999.

Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6873>. Acesso em 24 dez. 2021

POZO, R. I. CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o Ensino de Ciências**, 5nd Ed. Artmed, Porto Alegre, 2009.

ROCHA, CARLOS R.;HERSCOVITZ, VICTORIA E.;MOREIRA, MARCOS A. **Introdução à Mecânica Quântica: uma proposta de minicurso para o ensino de conceitos e postulados fundamentais**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, V. 3, n. 1, p.2, jan./abril 2010. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/622>. Acesso em: 24 dez. 2021.

SACHS, M. **Solid State Theory**, Ed. McGraw – Hill, Boston, 1963.

STUPELMAN, V. FILARETOV, G. **Semiconductor Devices**, Ed. MIR Moscow, 1976.

VENDRAMINI, C. N. N. SILVA, L. D. S. CHENTA, V. C. **A Elaboração de Testes em Sala de Aula**, Psicologia Escolar e Educação, 2010.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pee/a/jvXtKRJnNhyZjxhgjvfr9jQ/?lang=pt>. Acesso em: 24 dez. 2021.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Bluncher, São Paulo, 1988.

APÊNDICE B

Planos de Aula

PLANO DE AULA

Aula - 1
I – IDENTIFICAÇÃO
Unidade de ensino: Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo
Gerência regional: 5ª Gerência
Disciplina: Física
Área de conhecimento: Ciências Exatas
Carga horária: 60 minutos
Docente: Prof. Esp. Kleber Saldanha de Siqueira
III - OBJETIVOS
Objetivo Geral:
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar os conceitos de condutor, isolante e semicondutor; • Explorar a capacidade de deslocamento elétrica dos materiais considerando sua estrutura atômica; • Apresentar o diodo como componente eletrônico a base de semicondutores;
Objetivos Específicos:
<ul style="list-style-type: none"> • Levar o estudante a compreender as propriedades elétricas dos materiais; • Levar o estudante a compreender como os semicondutores são importantes na indústria moderna;
IV - CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Materiais e eletricidade; • Fenômenos de transporte elétrico; • O diodo semicondutor;
V - METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Aulas expositivas/dialogicas envolvendo a utilização de recursos multimeios e a utilização de materiais para a montagem e análise de circuitos eletrônicos.
VI - AVALIAÇÃO
<p>A avaliação será continuada e considerará os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação Individual; • Atividades em grupo; • Frequência às aulas; • Participação e proatividade nos debates e discussões;

- Qualidade e organização nas atividades propostas;
- Protagonismo e capacidade de aprofundar a temática em estudo;

VII - REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductorio de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física (Ensino Médio)**. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

PLANO DE AULA

Aula - 2
I – IDENTIFICAÇÃO
Unidade de ensino: Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo
Gerência regional: 5ª Gerência
Disciplina: Física
Área de conhecimento: Ciências Exatas
Carga horária: 60 minutos
Docente: Prof. Esp. Kleber Saldanha de Siqueira
III - OBJETIVOS
Objetivo Geral:
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a história dos materiais semicondutores; • Apresentar o conceito de dopagem;
Objetivos Específicos:
<ul style="list-style-type: none"> • Levar o estudante a compreender como a física dos semicondutores evoluiu ao longo do história e quais seus atores principais; • Levar o estudante a compreender o conceito de dopagem e como este relaciona-se com os processos de obtenção de semicondutores;
IV - CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> • História da eletricidade (semicondutores); • Semicondutores intrínsecos e extrínsecos;
V - METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Aulas expositivas/dialógicas envolvendo a utilização de recursos multimeios e a utilização de materiais para a montagem e análise de circuitos eletrônicos.
VI - AVALIAÇÃO
<p>A avaliação será continuada e considerará os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação Individual; • Atividades em grupo; • Frequência às aulas; • Participação e proatividade nos debates e discussões;

- Qualidade e organização nas atividades propostas;
- Protagonismo e capacidade de aprofundar a temática em estudo;

VII - REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductorio de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física (Ensino Médio)**. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

PLANO DE AULA

Aula - 3
I – IDENTIFICAÇÃO
Unidade de ensino: Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo
Gerência regional: 5ª Gerência
Disciplina: Física
Área de conhecimento: Ciências Exatas
Carga horária: 60 minutos
Docente: Prof. Esp. Kleber Saldanha de Siqueira
III - OBJETIVOS
Objetivo Geral:
<ul style="list-style-type: none"> ● Reconhecer as principais configurações de polarização do diodo; ● Compreender a dinâmica eletrostática da zona ou camada de depleção; ● Compreender o conceito de condução elétrica por bandas de energia;
Objetivos Específicos:
<ul style="list-style-type: none"> ● Levar o estudante a entender como a polarização do diodo relaciona-se com seu funcionamento; ● Levar o estudante a entender a dinâmica da zona de depleção e como esta explica o funcionamento do diodo; ● Levar o estudante a compreender o mecanismo de condução por bandas eletrônicas;
IV - CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> ● Conceitos de polarização inversa e reversa; ● Zona ou camada de depleção; ● Conceito de banda de condução eletrônica;
V - METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> ● Aulas expositivas/dialógicas envolvendo a utilização de recursos multimeios e a utilização de materiais para a montagem e análise de circuitos eletrônicos.
VI - AVALIAÇÃO
<p>A avaliação será continuada e considerará os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Avaliação Individual; ● Atividades em grupo;

- Frequência às aulas;
- Participação e proatividade nos debates e discussões;
- Qualidade e organização nas atividades propostas;
- Protagonismo e capacidade de aprofundar a temática em estudo;

VII - REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductório de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física (Ensino Médio)**. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

PLANO DE AULA

Aula - 4
I – IDENTIFICAÇÃO
Unidade de ensino: Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo
Gerência regional: 5ª Gerência
Disciplina: Física
Área de conhecimento: Ciências Exatas
Carga horária: 60 minutos
Docente: Prof. Esp. Kleber Saldanha de Siqueira
III - OBJETIVOS
Objetivo Geral:
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a curva característica do diodo como instrumento de análise; • Apresentar o transistor como elemento derivado do diodo;
Objetivos Específicos:
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver a capacidade do discente de interpretar a curva característica do diodo; • Desenvolver a capacidade do discente de compreender o funcionamento do transistor relacionando-o com o diodo;
IV - CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Curva característica do diodo; • Estudo do transistor;
V - METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Aulas expositivas/dialogicas envolvendo a utilização de recursos multimeios e a utilização de materiais para a montagem e análise de circuitos eletrônicos.
VI - AVALIAÇÃO
<p>A avaliação será continuada e considerará os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação Individual; • Atividades em grupo; • Frequência às aulas; • Participação e proatividade nos debates e discussões; • Qualidade e organização nas atividades propostas;

- Protagonismo e capacidade de aprofundar a temática em estudo;

VII - REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductório de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física (Ensino Médio)**. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

PLANO DE AULA

Aula - 5
I – IDENTIFICAÇÃO
Unidade de ensino: Escola Estadual Professor José Moacir Teófilo
Gerência regional: 5ª Gerência
Disciplina: Física
Área de conhecimento: Ciências Exatas
Carga horária: 120 minutos
Docente: Prof. Esp. Kleber Saldanha de Siqueira
III - OBJETIVOS
Objetivo Geral:
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar ao estudante soluções tecnológicas para imperativos quotidianos; • Demonstrar para o estudante a importância dos semicondutores no contexto aplicado; • Tornar o estudante capaz de solucionar problemas práticos;
Objetivos Específicos:
<ul style="list-style-type: none"> • Levar o estudante a se apropriar de instrumentos e dispositivos eletrônicos com o objetivo de solucionar problemas do dia a dia; • Levar o estudante a reconhecer sua própria trajetória de aprendizado; • Integralizar os conteúdos desenvolvidos nas aulas anteriores;
IV - CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Eletrônica e nosso dia a dia; • Solução de problemas por meio da eletrônica;
V - METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Aulas expositivas/dialógicas envolvendo a utilização de recursos multimeios e a utilização de materiais para a montagem e análise de circuitos eletrônicos.
VI - AVALIAÇÃO
<p>A avaliação será continuada e considerará os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação Individual; • Atividades em grupo; • Frequência às aulas;

- Participação e proatividade nos debates e discussões;
- Qualidade e organização nas atividades propostas;
- Protagonismo e capacidade de aprofundar a temática em estudo;

VII - REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Análisis Introductório de Circuitos**, Ed. Trilhas, México, 2010.

BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, Ed. Pearson, São Paulo, 2013.

GIBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1982.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física (Ensino Médio)**. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.

HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

HOROWITZ, P. HILL, W. **The Art of Electronics**, Ed. Cambridge Press, Boston, 1998.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.

VLACK, L. H.V. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1988.

APÊNDICE C

Questionário Sociopedagógico

Questionário Sociopedagógico

1 - Qual sua renda familiar?

- ☐ Igual a um salário mínimo.
- ☐ Menor que um salário mínimo.
- ☐ Superior a um salário mínimo.
- ☐ Não há renda familiar
- ☐ Prefiro não responder

2 - Quantas pessoas moram com você?

- ☐ 2 pessoas.
- ☐ 3 pessoas.
- ☐ 4 pessoas.
- ☐ 5 pessoas.
- ☐ Mais de 5 pessoas.

3 - Você trabalha?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

4 - Você possui acesso à internet?

- ☐ Sim, constantemente.
- ☐ Sim, apenas às vezes.
- ☐ Não.

5 - Você possui smartphone?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

6 - Você sente-se atraído pelas disciplinas de ciências (Matemática, Física, Biologia e Química)?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.
- ☐ Sim, um pouco.

7 - Você já sofreu reprovação ao final do ano letivo?

- ☐ Sim.

☐ Não.

8 - Você já abandonou o ano letivo por algum motivo?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

9 - Você considera importante o papel da escola na sua formação como estudante e cidadão?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

10 - Você passa por dificuldades para ser aprovado ao final do ano letivo?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

11 - Você costuma faltar às aulas?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

12 - Você gosta de aulas onde o professor realiza experimentos?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

13 - Você considera importante para seu aprendizado a realização de experimentos durante a aula?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

14 - Você já participou de forma ativa de atividades experimentais durante alguma aula?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

15 - Você se sente motivado a realizar atividades experimentais?

() Sim.

() Não.

16 - Você entende a relação entre ciência e experimentação?

() Sim.

() Não.

17 - Você conhece as principais ferramentas manuais usadas na eletrônica?

() Sim.

() Não.

18 - Você considera que o estudo da eletricidade é importante para nossa vida cotidiana?

() Sim.

() Não.

19 - Você considera importante compreender o funcionamento dos principais componentes eletrônicos?

() Sim.

() Não.

20 - Você considera interessante construir circuitos eletrônicos para solucionar problemas práticos?

() Sim.

() Não.

APÊNDICE D

Avaliação de Conhecimentos Prévios

Avaliação de Conhecimentos Prévios

1 - Com relação ao átomo, marque a alternativa correta.

- a) É a menor partícula que compõe a matéria.
- b) É a menor partícula indivisível que compõe a matéria.
- c) É a principal partícula divisível que compõe a matéria, formada basicamente por prótons, nêutrons e elétrons.
- d) É uma partícula formada apenas por prótons e elétrons.
- e) É uma partícula formada apenas por nêutrons.

2 - Ao colocarmos em contato duas esferas condutoras de cargas $-4Q$ e $+6Q$, respectivamente, podemos concluir que após a separação:

- a) $+Q$
- b) $-Q$
- c) $-2Q$
- d) $+Q/2$
- e) $-Q/4$

3 - Ao aproximarmos um objeto de carga elétrica $+Q$ de outro objeto de carga $-2Q$, percebe-se que estes corpos:

- a) Tendem a se afastar.
- b) Tendem a se aproximar.
- c) Tendem a permanecer indiferentes.
- d) Não sofrem indução.
- e) Não geram campo elétrico.

4 - Ao colocarmos uma partícula de carga $+Q$ no interior de um campo elétrico uniforme de intensidade E , podemos concluir que:

- a) A carga $+Q$ não sofrerá efeito algum no campo.

- b) A carga $+Q$ será acelerada na mesma direção do campo, porém em sentido oposto.
- c) A carga $+Q$ será acelerada na mesma direção e sentido do campo.
- d) O campo elétrico gerado pela carga $+Q$ irá anular o campo elétrico E .
- e) Se dobrarmos o valor de $+Q$ a força aplicada pelo campo E cairá pela metade.

5 - Ao deslocarmos uma partícula carregada no interior do campo elétrico gerado por uma segunda partícula carregada, podemos concluir que:

- a) Não há variação de potencial elétrico.
- b) Há diminuição de potencial se as partículas possuem sinais opostos e são aproximadas.
- c) Não há realização de trabalho se as partículas possuem sinais opostos e são afastadas.
- d) Nenhuma força atuará nas partículas.
- e) A variação de potencial não depende das cargas das partículas.

6 - Sobre as propriedades do campo elétrico, marque a alternativa correta:

- a) O campo elétrico não possui caráter vetorial.
- b) Sua intensidade independe do valor da carga geradora..
- c) Possui linhas paralelas e bem espaçadas para o campo elétrico uniforme..
- d) É representado por linhas radiais que apontam para fora da partícula se esta possui carga negativa.
- e) É representado por linhas radiais que apontam para dentro da partícula se esta possui carga positiva.

7 - Uma partícula de $2C$ é colocada numa região do espaço onde há um campo elétrico de intensidade $30N/C$. Podemos concluir que a partícula fica sujeita a uma força de:

- a) $80N$.
- b) $70N$.
- c) $60N$.
- d) $50N$.
- e) $40N$.

8 - Considerando duas partículas de cargas $+Q$ e $+Q$ separadas por uma distância d , imersas no ar, podemos concluir que:

- a) Multiplicando o valor de uma das cargas por um fator qualquer, a força entre as partículas diminui na proporção deste fator.
- b) Multiplicando o valor de uma das cargas por um fator qualquer, a força entre as partículas não sofre alteração.
- c) Multiplicando o valor da distância d por um fator qualquer, a força entre as partículas diminui na proporção do quadrado deste fator.
- d) Trocando o ar por outra substância, a força entre as partículas não será alterada.
- e) As partículas consideradas constituem um dipolo elétrico.

9 - O princípio da superposição afirma que:

- a) A força resultante atuando numa partícula pode ser obtida considerando as diversas forças individuais atuantes.
- b) A força resultante atuando numa partícula não pode ser obtida considerando as diversas forças individuais atuantes.
- c) A força resultante atuando numa partícula pode ser obtida

considerando apenas a maior força atuante.

- d) A força resultante atuando numa partícula pode ser obtida considerando apenas a menor força atuante.
- e) A força resultante atuando numa partícula pode ser obtida considerando a média aritmética das diversas forças atuantes.

10 - Para todo deslocamento de cargas elétricas, temos necessariamente.

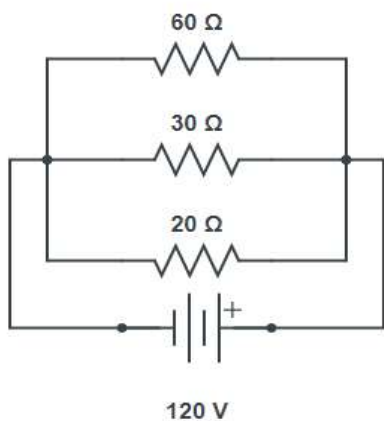
- a) A realização de trabalho.
- b) A diminuição do valor do módulo das cargas em movimento.
- c) A inexistência de campos elétricos.
- d) Diminuição de potencial.
- e) Aumento de potencial.

11 - Com suas palavras diga o que você entende por corrente elétrica.

12 - Um resistor possui 400Ω e está conectado a uma fonte de tensão de $25V$. Qual a intensidade da corrente elétrica que o percorre?

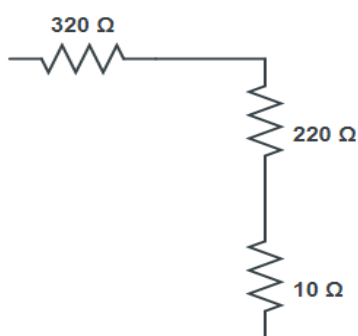
Resolução:

13 - Determine o valor da corrente elétrica que percorre cada um dos resistores abaixo.



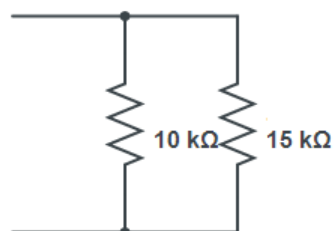
Resolução:

14 - Qual a resistência equivalente da associação de resistores abaixo?



Resolução:

15 - Qual a resistência equivalente da associação de resistores abaixo?

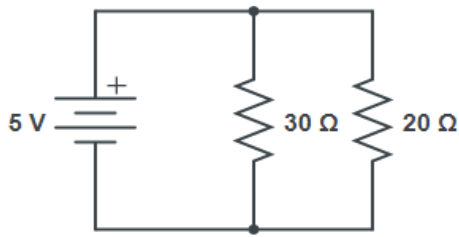


Resolução:

16 - A potência nominal de uma lâmpada vale 80W. Sabendo que a lâmpada possui $20\ \Omega$, se ligarmos esta lâmpada a uma fonte de tensão de 30V, esta lâmpada funcionará corretamente? Explique.

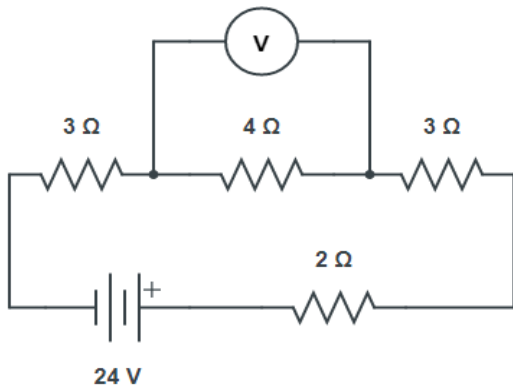
Resolução:

17 - Determine a potência total dissipada pelo circuito abaixo.

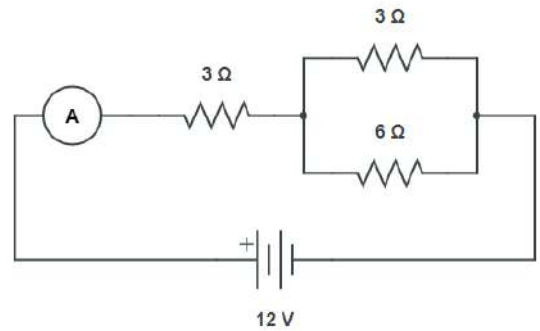


Resolução:

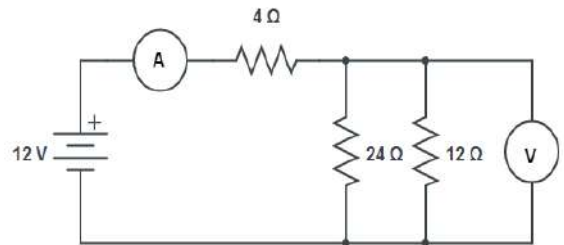
18 - Observe o circuito abaixo. O aparelho de medida elétrica simbolizado pela letra V, está medindo que grandeza elétrica? Explique.



19 - Observe o circuito abaixo. O aparelho de medida, simbolizado pela letra A, está medindo que grandeza elétrica? Explique.



20 - Qual o valor indicado na tela do aparelho de medição indicado pela letra A? E pelo aparelho indicado pela letra V?



Resolução:

APÊNDICE E

Roteiros de Atividades Experimentais

Roteiro de Atividade Experimental - I

Aula - I

Parte - I

Revisão:

Nesta aula, abordamos os conceitos de condutor, isolante e semicondutor, conceitos estes já conhecidos e discutidos em eletrostática. Sabemos que os condutores, de forma geral, são ótimos condutores de eletricidade e calor devido ao seu grande número de elétrons livres. Já os materiais isolantes são aqueles que, por possuírem um pequeno número de elétrons livres, não conduzem corrente elétrica e são péssimos condutores de calor. Por sua vez, os semicondutores possuem características de condutores e isolantes, de modo que estes apresentam características intermediárias. Os condutores são usados principalmente em aplicações tecnológicas que envolvem transporte de eletricidade ou energia térmica, sendo a maioria destes feitos de metal como na figura abaixo que ilustra um conjunto de multicabo de fios elétricos.



Fonte:

<https://www.workplastic.com.br/condutores-eletricos/>

Os isolantes são usados em aplicações que não envolvem transporte de eletricidade ou calor, de modo que é fácil ver que muitos utensílios de cozinha e materiais elétricos são revestidos de

materiais como borracha, porcelana ou plástico.



Fonte:

<https://www.ordenato.com.br/departamento/cozinha/luvas-de-silicone-para-panela-152>

Por sua vez, os materiais semicondutores, são empregados principalmente na indústria eletrônica em função do seu tamanho e desempenho, o que permitiu a revolução tecnológica do último século, sendo o diodo seu principal representante, alvo do nosso estudo.

Parte - II

Teste de Verificação

Orientações:

i) Assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo. () V () F

ii) - Você tem 5 minutos para responder este teste, boa sorte!

1 - Os materiais condutores são aqueles ricos em elétrons livres. () V () F

2 - Os materiais isolantes são aqueles que dificultam a passagem da corrente elétrica. () V () F

3 - Em geral, os materiais condutores de eletricidade são péssimos condutores de calor. () V () F

4 - A borracha é um ótimo isolante elétrico. () V () F

5 - Os materiais semicondutores são muito parecidos com os isolantes. () V () F

6 - Os semicondutores possuem comportamento elétrico intermediário entre condutores e isolantes.

7 - Os semicondutores não possuem grandes aplicações tecnológicas. () V () F

8 - Os semicondutores são muito usados na indústria eletrônica. () V () F

9 - Os semicondutores possuem comportamento idêntico aos metais. () V () F

10 - Os semicondutores mudaram a forma como utilizamos a tecnologia. () V () F

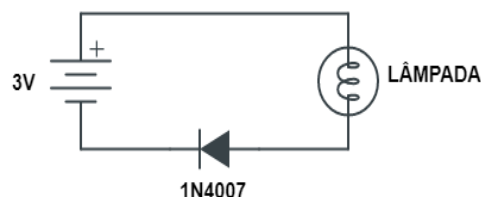
Parte - III

Atividade Experimental:

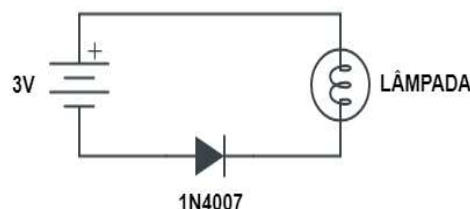
Com os materiais disponibilizados no kit, construa, analise e responda às perguntas propostas.

Material	Quantidade
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	01
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02
Lampada pingô d'água	01

Circuito - 1



Circuito - 2



Perguntas Propostas:

1 - Em qual das montagens a lâmpada não acendeu? Você sabe explicar o porquê?

2 - Utilizando o multímetro, meça a tensão no diodo. A partir do valor encontrado determine o valor da tensão na lâmpada.

3 - Considerando a tensão do diodo, obtida na pergunta anterior, meça o valor da resistência elétrica do diodo e calcule a corrente elétrica que percorre o filamento da lâmpada.

Resolução:

4 - Retire o diodo e ligue a lâmpada diretamente na pilha. Observe a diferença de brilho da lâmpada. O que significa isso? Explique.

5 - Quando polarizado no sentido inverso, o diodo pode impedir a passagem da corrente sob qualquer tensão? Por que?

Parâmetros Avaliativos:

Parâmetro	Sim	Não
Demonstra facilidade na realização das atividades?		
Expressa o que aprendeu?		
Apresenta claras contribuições de sua autoria?		
Apresenta questionamentos?		
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?		
Aponta descobertas?		
Aprofunda a pesquisa além do proposto?		
Evidencia avanços nas habilidades observadas?		

Roteiro de Atividade Experimental - II

Aula - II

Parte - I

Revisão:

Iniciamos nossa discussão destacando um pouco da história dos materiais semicondutores, percebendo que o desenvolvimento destes materiais deu-se por meio das investigações centradas no comportamento do sulfato de prata, que, chamava a atenção de pesquisadores do século XVIII como Michael Faraday. Vimos que o desenvolvimento do primeiro protótipo do diodo partiu das diversas observações e experimentações de diversos nomes da química e da física mostrando que tal desenvolvimento não partiu da genialidade de um único indivíduo. Dessa forma, vemos que o desenvolvimento do diodo em sua forma primitiva, posteriormente na forma de válvula eletrônica, dependeu do esforço e do trabalho científico de diversos nomes da ciência engajados como o mesmo propósito.



Fonte:

<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/leis-eletrolise.htm>

Passados mais de 100 anos, os semicondutores hoje são concebidos por

meio de técnicas e processos altamente sofisticados, sendo a dopagem seu principal meio de obtenção e os átomos de índio e arsênio os mais usados neste processo. Neste processo, uma impureza (átomo com a tendência de doar elétrons) é adicionada no retículo atômico do material, de modo a produzir excesso de elétrons no material, gerando o material tipo N. Em contrapartida ao adicionarmos uma impureza receptora de elétrons, estamos gerando um material tipo P, pois este material perde elétrons para a impureza, tornando-se pobre em elétrons.

Considerando a imensa variedade de elementos químicos na natureza, o Si (silício) e o Ge (Germânio) continuam sendo os principais elementos utilizados na preparação de semicondutores em função da sua abundância, características e facilidade de preparação.

Parte - II

Teste de Verificação

Orientações:

i) Assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo. () V () F

ii) - Você tem 5 minutos para responder este teste, boa sorte!

1 - Os fenômenos elétricos nunca chamaram a atenção do homem. () V () F

2 - Ao longo da história da humanidade os fenômenos elétricos chamaram a atenção dos estudiosos. () V () F

3 - O sulfato de prata e seu comportamento elétrico chamaram a atenção permitindo a evolução dos semicondutores. () V () F

4 - O diodo é um dos mais importantes componentes eletrônicos hoje desenvolvidos. () V () F

5 - Não é necessário sintetizar os materiais semicondutores, pois a natureza é abundante destes materiais. () V () F

6 - O material tipo N é ‘rico’ em elétrons e o material tipo P ‘pobre’ em elétrons. () V () F

7 - Os elementos químicos In (Índio) e As (Arsênio) são os dois tipos principais de impurezas presentes nos diodos. () V () F

8 - Os elementos químicos In (Índio) e As (Arsênio) não são indicados para a produção de semicondutores. () V () F

9 - O silício e o germânio são os materiais menos empregados pela indústria eletrônica. () V () F

10 - O diodo é formado pela união de dois tipos de materiais, um do tipo N e outro do tipo P. () V () F

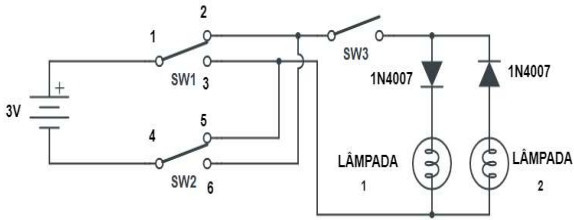
Parte - III

Atividade Experimental:

Com os materiais disponibilizados no kit, construa, analise e responda às perguntas propostas.

Material	Quantidade
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02

Lampada pingo d'água	02
Suporte para pilhas	01
Pilhas alcalinas de 1,5V	02
Chave gangorra liga/desliga	01
Chave comutadora	02



1 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 2 e 5 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

2 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 3 e 6 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

3 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 3 e 5 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

4 - O que acontece com as lâmpadas quando comutamos as chaves nas posições 2 e 6 e acionamos a chave SW3? Explique sua observação.

5 - Você considera seguro comutar as chaves nas posições 3 e 5? E nas posições 2 e 6? Explique sua resposta e proponha uma solução para a situação observada.

Parâmetros Avaliativos:

Parâmetro	Sim	Não
Demonstra facilidade na realização das atividades?		
Expressa o que aprendeu?		
Apresenta claras contribuições de sua autoria?		
Apresenta questionamentos?		
Apona/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?		
Apona descobertas?		
Aprofunda a pesquisa além do proposto?		
Evidencia avanços nas habilidades observadas?		

Roteiro de Atividade Experimental - III




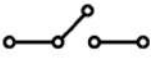
Aula - III

Parte - I

Revisão:

Nesta aula, estudamos o diodo, suas características construtivas e seus aspectos de funcionamento. Vimos que o diodo pode estar polarizado diretamente, quando os materiais tipo P e tipo N estão ligados, respectivamente, aos pólos positivo e negativo de uma fonte de tensão. Nesse sentido, entendemos que o diodo apenas conduz corrente elétrica quando polarizado diretamente de modo que estando polarizado inversamente este não conduz. Vimos que os portadores de carga no diodo distribuem-se nas proximidades da junção dos materiais P e N, formando uma zona (ou camada) de depleção.

Desta forma, vimos que quando o diodo está diretamente polarizado, esta camada tende a diminuir, permitindo a passagem da corrente elétrica quando são aplicados no mínimo 0,7V. No entanto, quando o diodo está inversamente polarizado, a zona de depleção tende a aumentar impedindo a passagem da corrente elétrica. Vimos também que é possível fazer o diodo conduzir corrente elétrica estando inversamente polarizado bastando para isso aplicar entre seus terminais um valor suficientemente grande, porém isso tende a danificar o diodo, uma vez que este não foi projetado para funcionar em regime inverso.

Estado	Polarização	Circuito equivalente
Condução		
Bloqueio		

Fonte:

<https://vfgengenharia.com/diodo-retificador-com-exemplos-de-uso/>

Também estudamos a teoria de bandas eletrônicas e entendemos que a condução da eletricidade ocorre na banda de condução, estando a banda de valência totalmente preenchida. Vimos que existe um *gap* (espaço) de energia entre as bandas de valência e condução, sendo que os elétrons apenas podem passar da banda de valência para a de condução se receberem energia igual ou maior que a energia do *gap*. Vimos também que o *gap* dos semicondutores é menor que o *gap* dos materiais isolantes e maior que o dos materiais condutores.

Parte - II

Teste de Verificação

Orientações:

i) Assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo. () V () F

ii) - Você tem 5 minutos para responder este teste, boa sorte!

1 - O diodo pode ser polarizado diretamente ou inversamente. () V () F

2 - O diodo quando polarizado diretamente conduz corrente elétrica. () V () F

3 - O diodo quando polarizado inversamente não conduz corrente elétrica. () V () F

4 - O diodo não pode conduzir corrente elétrica estando polarizado diretamente. () V () F

5 - Após o diodo atingir a tensão de operação a zona de depleção tende a ficar pequena permitindo a livre passagem da corrente elétrica. () V () F

6 - Após o diodo atingir a tensão de operação a zona de depleção tende a ficar maior permitindo a livre passagem da corrente elétrica. () V () F

7 - A largura da zona de depleção não influencia na operação do diodo. () V () F

8 - Quanto maior a zona de depleção maior a dificuldade de gerar corrente elétrica no diodo. () V () F

9 - Os elétrons apenas podem saltar da banda de condução para a banda de valência se estes receberem energia para vencer o gap. () V () F

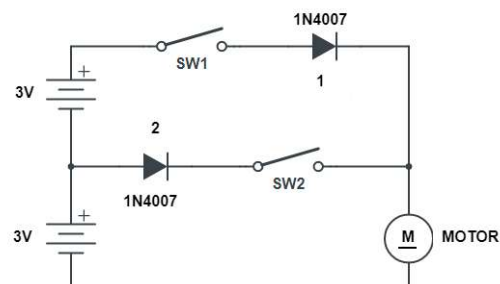
10 - Para os semicondutores o gap que separa banda de condução e a banda de valência é maior que o gap que separa estas mesmas bandas no caso dos isolantes. () V () F

Parte - III

Atividade Experimental:

Com os materiais disponibilizados no kit, construa, analise e responda às perguntas propostas.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Diodo 1N4007	02
Motor de corrente contínua	01
Suporte para pilhas	02
Pilhas alcalinas de 1,5V	04
Chave gangorra liga/desliga	02



1 - Tendo montado o circuito, acione a chave SW2 e logo em seguida a chave SW1. O que você percebeu? Meça a tensão nos diodos e explique os resultados.

2 - Agora, acione apenas a chave SW1. O que você percebeu? Explique.

3 - Você considera seguro remover o diodo 2 e a chave SW2 do circuito? Explique.

4 - Com a chave SW1 acionada, utilize o multímetro e meça a tensão entre os terminais do motor? Repita o procedimento para a chave SW2 e meça a tensão no motor. Considerando que a resistência elétrica do motor vale $9,5\Omega$, qual a corrente que alimenta o motor em ambos os casos?

5 - Considerando a resposta da pergunta anterior, você julga que os diodos estão sendo utilizados foram bem dimensionados? Explique.

Parâmetros Avaliativos:

Parâmetro	Sim	Não
Demonstra facilidade na realização das atividades?		
Expressa o que aprendeu?		
Apresenta claras contribuições de sua autoria?		
Apresenta questionamentos?		
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?		
Aponta descobertas?		
Aprofunda a pesquisa além do proposto?		
Evidencia avanços nas habilidades observadas?		

Roteiro de Atividade Experimental - IV

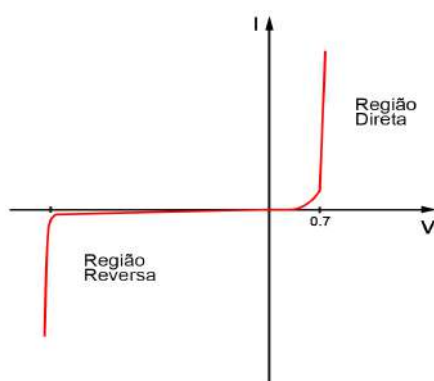
Aula - IV

Parte - I

Revisão:

Nesta aula conhecemos a curva característica do diodo, vimos suas propriedades e como ele pode nos ajudar a compreender o funcionamento do diodo. Vimos que ela é dividida em duas regiões, a zona de polarização direta, onde o diodo está diretamente polarizado e em pleno funcionamento e a zona de polarização inversa onde o diodo está sendo forçado a conduzir corrente elétrica no sentido inverso. Durante a aula, aprendemos que o diodo começa a funcionar a partir da tensão de operação, que vale 0,7V para o diodo de silício, de forma que, para qualquer pequeno aumento, a partir deste valor, a corrente elétrica no diodo aumenta drasticamente.

Aprendemos que cada diodo possui um curva característica específica que permite determinar suas características de funcionamento, dessa forma, é importante consultar corretamente as curvas características de cada tipo de diodo. Vimos também que a curva característica é importante por trazer noções precisas sobre o diodo.



Fonte: <https://vfgengenharia.com/diodo-retificador-com-exemplos-de-uso/>

Nesta aula, também conhecemos o transistor bipolar de junção, estudamos suas diferentes polarizações e como estas permitem a construção de circuitos aplicados como amplificadores e chaves. Vimos que quando o transistor está polarizado reversamente o transistor opera com valores muito baixos de corrente, chamada corrente de fuga. Ao mesmo tempo, vimos que o transistor nada mais é do que um aperfeiçoamento do diodo e que este é formado pelo diodo coletor e pelo diodo emissor. Vimos que o transistor pode ser NPN ou PNP e que a diferença entre eles reside no sentido das correntes de operação, que são inversas. Também vimos que as leis de Kirchhoff são válidas para o transistor. Aprendemos a calcular o ganho β_{cc} da polarização direta reversa destacando sua importância.

Parte - II

Teste de Verificação

Orientações:

- i) Assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo. () V () F
- ii) - Você tem 5 minutos para responder este teste, boa sorte!

1 - A tensão de operação coincide com o repentino aumento da corrente no diodo a partir de pequenas variações na tensão.

() V () F

2 - Atingida a tensão de ruptura, qualquer pequeno aumento na tensão gera um grande aumento na corrente do diodo.

() V () F

3 - A curva característica nos dá noções vagas sobre o funcionamento do diodo.
() V () F

4 - Cada diodo possui sua própria curva característica. () V () F

5 - A corrente de fuga é uma pequena corrente que antecede o funcionamento do diodo no sentido reverso. () V () F

6 - Não existe relação entre o diodo e o transistor uma vez que ambos possuem naturezas diferentes. () V () F

7 - Os sentidos das correntes de operação dos transistores NPN e PNP são os mesmos e independem da polarização do diodo. () V () F

8 - O transistor pode ser polarizado diretamente, inversamente e direta-inversamente. () V () F

9 - As correntes de operação do transistor obedecem às leis de Kirchhoff. () V () F

10 - β_{cc} representa o ganho na corrente base-coletor quando o transistor está em polarização direta-reversa. () V () F

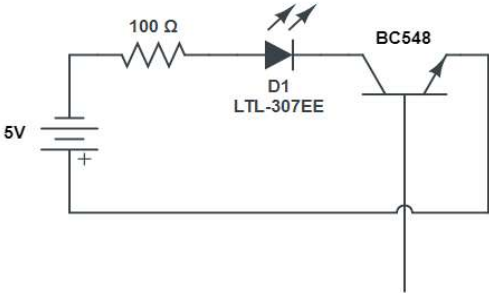
Parte - III

Atividade Experimental:

Com os materiais disponibilizados no kit, construa, analise e responda às perguntas propostas.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Resistor	02
Transistor BC548	01
LED emissor de	01

luz	
Fonte regulável de tensão AC/DC	01



1 - Tendo montado o circuito corretamente, conecte-o à fonte de tensão (tomando cuidado para selecionar a tensão correta, como indicado no diagrama) e observe o que acontece. Após a observação, toque com a ponta do seu dedo o fio ligado ao terminal base do transistor. O que ocorreu? Explique.

2 - Qual o valor da tensão V_{CE} (tensão coletor-emissor) entre o coletor e o emissor do transistor?

3 - Estando o circuito em funcionamento, meça a tensão no resistor, no LED e entre os terminais coletor e emissor do transistor e some esses valores. O resultado é familiar? Explique.

4 - Com o circuito em funcionamento, meça a tensão V_{BC} (tensão base-coletor), depois, com o circuito desligado, meça a resistência entre os terminais base-coletor. Com estes dados, calcule a corrente I_{BC} .

5 - Observando o diagrama do circuito apresentado que tipo de polarização o transistor está submetido? Explique.

Parâmetros Avaliativos:

Parâmetro	Sim	Não
Demonstra facilidade na realização das atividades?		
Expressa o que aprendeu?		
Apresenta claras contribuições de sua autoria?		
Apresenta questionamentos?		
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?		
Aponta descobertas?		
Aprofunda a pesquisa além do proposto?		
Evidencia avanços nas habilidades observadas?		

Roteiro de Atividade Experimental - V

Aulas V e VI

Parte - I

Revisão:

Como sabemos, a física se preocupa em estudar os fenômenos naturais que governam nosso mundo e o próprio universo. Nesse sentido, a física, por meio dos seus resultados, permite o desenvolvimento de diversas áreas da tecnologia importantes para nosso dia a dia. Dessa forma, a construção de circuitos eletrônicos permite não só a solução de problemas, mas a integração de diversas áreas diferentes da eletrônica, como a mecânica, as telecomunicações, a medicina, dentre diversas outras.

Nesse contexto, os materiais semicondutores desempenham papel importante na modelagem e solução de problemas de ordem tecnológica. Por exemplo, podemos construir simples circuitos utilizando diodos e transistores, por um preço acessível, para medir o nível de água em um reservatório com água pura, medir a pressão atmosférica, a dilatação de uma barra metálica, ou monitorar o movimento de um objeto.



Fonte:

<https://www.epsprogramming.com/blog-posts/>

No entanto, para podermos solucionar problemas tecnológicos com circuitos, precisamos dominar os princípios da eletricidade como também contextualizar e analisar os problemas a serem solucionados, uma vez que diodos e transistores possuem utilização extremamente diversificada. Sendo assim, nesta aula você irá construir e analisar, utilizando todo o conhecimento sobre semicondutores, aprendido até aqui, um sensor de monitoramento de nível de água juntamente com seus colegas. Boa sorte!



Fonte:

<https://iftm.edu.br/uraparquetecnologico/>

Parte - II

Teste de Verificação

Orientações:

i) Assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo. () V () F

ii) - Você tem 5 minutos para responder este teste, boa sorte!

1 - É papel da física compreender a natureza e por meio desta compreensão elaborar meios tecnológicos para a solução de problemas do dia a dia. () V () F

2 - Circuitos eletrônicos não são importantes para a solução de problemas cotidianos. () V () F

3 - Circuitos podem ser utilizados em contextos tecnológicos diferentes. () V () F

4 - A eletrônica, quando associada a outras áreas da tecnologia, permite aumentar a possibilidade de resolução de problemas.

() V () F

5 - Diodos e transistores possuem utilização restrita e pouco diversificada.

() V () F

6 - Uma das vantagens de construir circuitos eletrônicos é o baixo custo e a viabilidade prática. () V () F

7 - Não é necessário compreender bem um problema tecnológico para então modelar um circuito que permita solucioná-lo.

() V () F

8 - É fundamental possuir domínio da eletrodinâmica para utilizar de forma racional os diversos componentes eletrônicos existentes para modelar e construir um circuito. () V () F

9 - O campo da eletrônica é auto suficiente dispensando a utilização de componentes mecânicos para a construção de sistemas.

() V () F

10 - Circuitos de monitoramento podem ser utilizados em diversos contextos, como controle de temperatura, pressão, dilatação, nível de água, radiação, dentre outros. () V () F

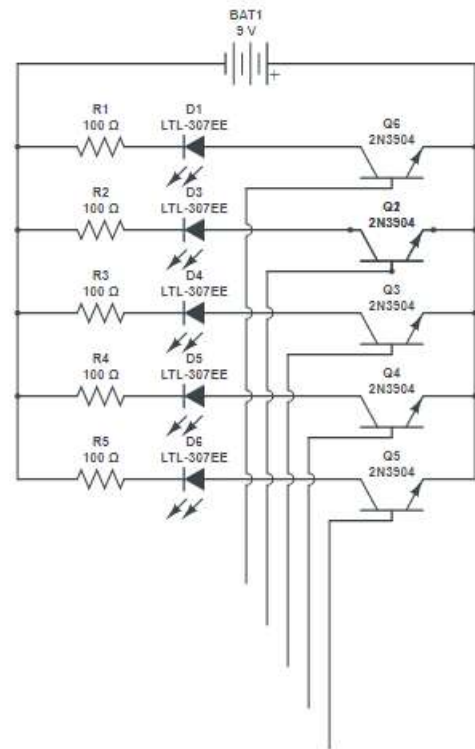
Parte - III

Atividade Experimental:

Com os materiais disponibilizados no kit, construa, analise e responda às perguntas propostas.

Material	Quantidade por grupo
Multímetro digital	01
Resistor de 100Ω	05

Transistor BC548	05
LED emissor de luz	05
Fonte regulável de tensão AC/DC	01
Alicate de bico	01
Ferro de solda	01
Estanho	01



1 - É possível utilizar este circuito para o monitoramento e controle de um reservatório contendo soluções iônicas? E para monitorar a variação de comprimento de uma barra metálica aquecida (neste último caso, despreze os possíveis efeitos do calor sob o circuito)? Explique.

2 - Com o circuito em funcionamento, escolha um dos transistores e meça a tensão base-emissor e a tensão coletor-emissor, em seguida some esses valores. O resultado chama a sua atenção? Explique.

3 - Com o circuito desligado, determine sua resistência equivalente.

4 - Qual a corrente que percorre cada diodo LED durante o funcionamento do circuito?

5 - Apenas utilizando seus conhecimentos sobre eletrodinâmica, qual o valor da corrente total que 'alimenta' o circuito?

Parâmetros Avaliativos:

Parâmetro	Sim	Não
Demonstra facilidade na realização das atividades?		
Expressa o que aprendeu?		
Apresenta claras contribuições de sua autoria?		
Apresenta questionamentos?		
Aponta/indica dificuldades nas habilidades exigidas na atividade?		
Aponta descobertas?		
Aprofunda a pesquisa além do proposto?		
Evidencia avanços nas habilidades observadas?		

APÊNDICE F

Avaliação de Conhecimentos Adquiridos

Avaliação de conhecimentos adquiridos

1 - Julgue os itens abaixo em verdadeiro ou falso e assinale a alternativa correta.

I - Os materiais semicondutores são conhecidos pela sua baixa condutividade elétrica sendo pouco usados na indústria eletrônica.

II - Os materiais semicondutores representam um dos maiores avanços na eletrônica, sendo um dos responsáveis pela revolução tecnológica no século XX.

III - Podemos dividir os materiais semicondutores em intrínsecos ou extrínsecos.

IV - A curva característica do diodo não contém informações relevantes sobre o funcionamento do dispositivo.

- a) VVVV
- b) FVFF
- c) FVVV
- d) FFVV
- e) FVVV

2 - Com relação à polarização do diodo, podemos afirmar corretamente que:

- a) Estando o diodo polarizado diretamente, não haverá passagem de corrente.
- b) Estando o diodo polarizado diretamente a camada de depleção tende a aumentar.
- c) Estando o diodo polarizado inversamente a camada de depleção tende a diminuir.
- d) Estando o diodo polarizado diretamente ocorre passagem de corrente elétrica do cátodo (material N) para o ânodo (material

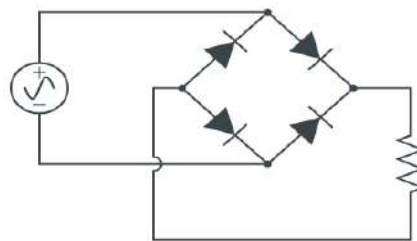
P) a partir de 0,7V aproximadamente.

- e) Estando o diodo inversamente polarizado, sob qualquer circunstância, é impossível que haja corrente elétrica.

3 - Considerando sua percepção acerca dos usos e aplicações do diodo, é correto afirmar que:

- a) O diodo não pode ser usado como regulador de potência.
- b) O diodo não pode ser usado como dispositivo de segurança.
- c) O diodo pode ser usado como elemento lógico de controle, por exemplo, para acionar lâmpadas e motores de forma coordenada.
- d) O diodo possui grandes limitações sendo usado unicamente para a conversão de corrente alternada em contínua.
- e) O diodo pode ser usado sem preocupação com sua resistência interna.

4 - Observe a figura abaixo e analise as afirmativas seguintes.



- a) O circuito acima representa um retificador de meia - onda.
- b) O circuito acima representa um retificador de onda - completa.
- c) O circuito acima permite a passagem de corrente elétrica em dois sentidos diferentes pela carga.

- d) O circuito acima não é usado em sistemas automotivos e eletrodomésticos.
- e) O circuito acima também pode ser usado em sistemas de corrente contínua.

5 - Observando o circuito abaixo constituído por uma fonte de 10V, um diodo 1N4001, cuja resistência nominal vale 500Ω e um resistor de $1k\Omega$, podemos concluir que:



- a) A corrente que percorre o diodo vale 10mA.
- b) A corrente que percorre o diodo vale 9mA.
- c) A corrente que percorre o diodo vale 8mA.
- d) A corrente que percorre o diodo vale 7mA.
- e) A corrente que percorre o diodo vale 6mA.

6 - Os transistores bipolares de junção são compostos por materiais semicondutores do tipo N e P, de montados na configuração PNP ou NPN. Considerando as diferenças básicas entre estes dois transistores, podemos afirmar que:

- a) Ambos funcionam de forma idêntica.
- b) As leis de Kirchhoff são sempre verdadeiras independente do tipo de transistor.
- c) A corrente de ganho independe da corrente na base do transistor.

- d) Ambos podem funcionar como amplificadores de sinal.
- e) Não existe semelhança construtiva entre o diodo e o transistor de junção.

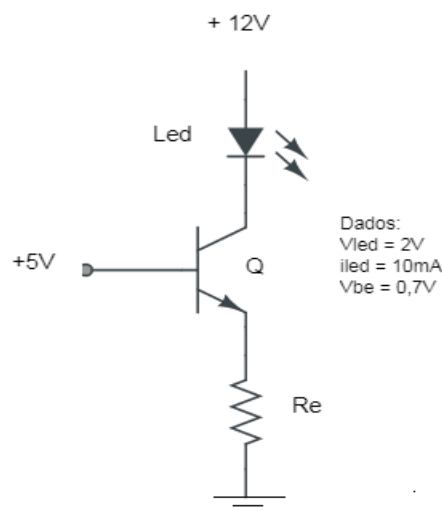
7 - Um transistor em regime de polarização direta - reversa possui corrente de base igual a 12mA e corrente de coletor igual a 4mA. Podemos concluir que a corrente de ganho vale aproximadamente:

- a) 0,4
- b) 0,3
- c) 0,2
- d) 0,1
- e) 0,05

8 - Considerando o enunciado da questão anterior, sabendo que a corrente de emissor vale 2mA, podemos concluir que o ganho do emissor vale:

- a) 0,5
- b) 1,0
- c) 2,2
- d) 2,0
- e) 2,1

9 - Observando o circuito abaixo, podemos concluir que:



- a) o circuito não representa um amplificador de sinais.
- b) O circuito é formado por um transistor PNP diretamente polarizado.
- c) O circuito é formado por um transistor NPN polarizado inversa-diretamente e pode funcionar como amplificador de sinais.
- d) A resistência do LED vale 140Ω .
- e) Neste circuito não é válido o princípio da conservação das cargas elétricas.

10 - Considerando as diversas configurações de polarização do transistor, assinale a alternativa correta.

- a) Na polarização direta apenas uma das duas correntes geradas retornam para a bateria.
- b) Na polarização reversa as correntes geradas pelo transistor são altas.
- c) Na polarização direta - reversa as correntes geradas são baixas.
- d) É correto afirmar que independentemente do tipo de polarização a temperatura exerce forte influência no comportamento elétrico do transistor, elevando ou diminuindo as correntes de funcionamento.
- e) A dopagem não é um fator importante no funcionamento do transistor.

APÊNDICE G

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)

Você, pai/responsável pelo menor,está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa.....(*título da pesquisa*)....., dos pesquisadores*citar o(s) nome(s) do(s)(as) pesquisador(es)(as) envolvido(s)(as)*..... A seguir, as informações do projeto de pesquisa com relação a sua participação neste projeto:

1. O estudo se destina a
2. A importância deste estudo é a de
3. Os resultados que se desejam alcançar são os seguintes:
4. A coleta de dados começará em _____ e terminará em _____
5. O estudo será feito da seguinte maneira:
6. A sua participação será nas seguintes etapas: autorizando a participação do menor sob sua responsabilidade na pesquisa
7. Os incômodos e possíveis riscos à saúde física e/ou mental do menor sob sua responsabilidade na pesquisa são:
8. Os benefícios esperados com a participação do menor sob sua responsabilidade no projeto de pesquisa, mesmo que não diretamente, são:
9. O menor sob sua responsabilidade poderá contar com a seguinte assistência:, sendo responsável(is) por ela :
10. Você será informado(a) do resultado final do projeto e sempre que desejar, serão fornecidos esclarecimentos sobre cada uma das etapas do estudo.
11. A qualquer momento, você poderá recusar a continuar participando do estudo e, também, poderá retirar seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer penalidade ou prejuízo.
12. As informações conseguidas através da participação do menor sob sua responsabilidade na pesquisa não permitirão a identificação da sua pessoa, exceto para a equipe de pesquisa, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto após a sua autorização.
13. **FAZER A OPÇÃO SE HAVERÁ OU NÃO DESPESAS E RESSARCIMENTO:** Você deverá ser ressarcido(a) por todas as despesas que venha a ter com a participação do menor sob sua responsabilidade nesse estudo, sendo garantida a existência de recursos **OU** O estudo não acarretará nenhuma despesa para você.

14. Você será indenizado(a) por qualquer dano que o menor sob sua responsabilidade venha a sofrer com a sua participação na pesquisa (nexo causal).

15. Você receberá uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado por todos.

Eu, responsável pelo menor que foi convidado a participar da pesquisa, tendo compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a participação no mencionado estudo e estando consciente dos direitos, das responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a participação implicam, concordo em autorizar a participação do menor e para isso eu DOU O MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO EU TENHA SIDO FORÇADO OU OBRIGADO.

Endereço da equipe de pesquisa (OBRIGATÓRIO):

Instituição:

Endereço:

Complemento:

Cidade/CEP:

Telefone:

Ponto de referência:

Contato de urgência: Sr(a).

Endereço:

Complemento:

Cidade/CEP:

Telefone:

Ponto de referência:

ATENÇÃO: O Comitê de Ética da UFAL analisou e aprovou este projeto de pesquisa. Para obter mais informações a respeito deste projeto de pesquisa, informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas

Prédio do Centro de Interesse Comunitário (CIC), térreo , Campus A. C. Simões, Cidade Universitária

Telefone: 3214-1041 – Horário de Atendimento: das 8:00 as 12:00hs.

E-mail: comitedeeticaufal@gmail.com

Maceió,....., de....., de..... .

Assinatura ou impressão datiloscópica do(a) voluntário(a) ou responsável legal e rubricar as demais folhas.	Nome e Assinatura do Pesquisador pelo estudo (Rubricar as demais páginas). <i>ASSINAR O MODELO, OBRIGATORIAMENTE</i>
---	--