



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA



UFAM

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CÊNCIAS E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS / DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04**

**SUPERCONDUTIVIDADE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA INTRODUÇÃO
DO TEMA NO ENSINO MÉDIO E A PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES
DO MUNICÍPIO DE TABATINGA-AM.**

**MANAUS-AM
2024**

REINALDO CARNEIRO ROCHA

SUPERCONDUTIVIDADE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA INTRODUÇÃO DO
TEMA NO ENSINO MÉDIO E A PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES
DO MUNICÍPIO DE TABATINGA-AM.

Dissertação apresentada ao POLO 4 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – IFAM/UFAM, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração pertencente à Linha Processos de Ensino e Aprendizagem Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador(a): Dr. Márcio Gomes da Silva

MANAUS-AM
2024

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

R672s Rocha, Reinaldo Carneiro.
Supercondutividade: uma sequência didática para introdução do tema no ensino médio e a percepção dos professores do município de Tabatinga-AM. / Reinaldo Carneiro Rocha. – Manaus, 2024.
164 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva.

1. Física. 2. Sequência didática. 3. Supercondutividade. I. Silva, Márcio Gomes da. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

Ata da 70ª Defesa de Dissertação

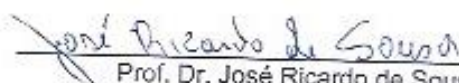
Aos oito dias do mês de outubro, do ano de dois mil e vinte e quatro, às 14h00, por webconferência, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Reinaldo Carneiro Rocha**, intitulada: **"SUPERCONDUTIVIDADE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA INTRODUÇÃO DO TEMA NO ENSINO MÉDIO E A PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES DO MUNICÍPIO DE TABATINGA-AM"**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva (IFAM), Prof. Dr. Thiago Lobo Fonseca (IFRJ) e Prof. Dr. José Ricardo de Sousa (UFAM). O Professor Doutor Márcio Gomes da Silva, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, uma (01) via impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via (01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

Documento assinado digitalmente:
gov.br
MÁRCIO GOMES DA SILVA
Data: 08/10/2024 16:15:24 -0500
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva
Presidente - IFAM

Prof. Dr. Thiago Lobo Fonseca
Membro Externo - IFRJ

Documento assinado digitalmente:
gov.br
THIAGO LOBO FONSECA
Data: 08/10/2024 17:04:22 -0500
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


Prof. Dr. José Ricardo de Sousa
Membro Interno - UFAM

DEDICATÓRIA

À memória de minha querida mãe, Olivia Aiambo Carneiro, cujo amor, apoio e inspiração foram fundamentais em cada etapa da minha jornada acadêmica. Embora você não esteja mais entre nós fisicamente, sua presença continua a iluminar meu caminho e seu espírito permanece vivo em cada conquista que alcanço. Este trabalho é dedicado a você, com eterna gratidão e amor.

AGRADECIMENTOS

A expressão de gratidão é estendida, primeiramente, a Deus, fonte de saúde e inteligência que possibilitaram a condução bem-sucedida deste trabalho. À minha mãe, Olivia Aiambo Carneiro, cuja ausência de instrução formal não a impediu de ser uma constante fonte de incentivo para minha educação, servindo de inspiração para aquele que respeitam e amam, ao meu pai Paulo Pereira Rocha, pelos conselhos e orações realizadas em prol do término do curso.

À minha esposa, Elenice, por sua constante crença em mim, oferecendo palavras de incentivo nos momentos que a força para continuar faltava. Aos meus filhos, Eduardo e Francisco Lucas, que representam os melhores presentes de Deus em minha vida.

Aos meus amigos de profissão, Ranier, Aldonei, Jasone, Arleson e Mazoniel, cujo suporte inestimável foi fundamental nos momentos desafiadores, sem os quais esta conquista não teria sido possível. Aos colegas do Programa MNPEF – 2022, Érdelem, João Carlos, Experdito André, Kennedy, Tiago, Emerson, José Victor, Manuel e Soetânia e demais companheiros, vossas contribuições serão recordadas.

Ao meu primo e amigo Genilson Magalhães expresse meus sinceros agradecimentos, oferecido durante o período de execução do programa de estudo de nível do mestrado.

Ao Professor Orientador, Dr. Márcio Gomes da Silva, agradeço pelas orientações valiosas fornecidas ao longo do processo. À prefeitura Municipal de São Paulo de Olivença pelo suporte financeiro.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM), código de financiamento 001, pela assistência essencial durante a realização desta pesquisa científica.

Este reconhecimento expressa a sincera apreciação por cada contribuição que, de maneira única, colaborou para o sucesso deste trabalho acadêmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Heike Kamerlingh - Foi o primeiro pioneiro na liquefação do Hélio.....	16
Figura 2 – O movimento dos elétrons livres em metal ou condutor elétrico.....	20
Figura 3 – (a) Símbolo de conceito elétrico para resistor com resistência. (b) Tensão nos terminais de um resistor e as equações.	24
Figura 4 – A corrente e o fluxo da densidade de corrente elétrica.....	26
Figura 5 – Representação esquemática da variação de resistência elétrica de uma amostra de Mercúrio (Hg).	29
Figura 6 - Apresentação esquemática do processo de interação indireta entre dois elétrons.	31
Figura 7 – Diamagnetismo ideal de um cilindro supercondutor	35
Figura 8 - O trem Maglev é o princípio da levitação magnética	38
Figura 9 – Exemplo de junção de Josephson.....	39
Figura 10 - Localização do município de Tabatinga.	49
Figura 11 – Esquema Metodológica do trabalho	59

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Imagem de cima realizado pela tomografia computadorizada.....	41
Foto 2 – Explicação da aula sobre: Conceitos Básicos da eletricidade.....	65
Foto 3 – Disposição superficial do material sobre a bancada.....	70
Foto 4 – Aplicação Teórica da Atividade Experimental aos Alunos.....	72
Foto 5 – Alunos das turmas “A” e “B” na atividade prática experimental.....	74
Foto 6 – Término da aula acerca dos conceitos sobre supercondutores	76
Foto 7a - Tema abordado: História da eletricidade.....	91
Foto 7b -Tema abordado: Propriedade dos materiais condutores e isolantes	92
Foto 7c - Tema abordado: supercondutividade	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano metodológico utilizado para escolha das obras consultadas.....	44
Quadro 2 – Artigos e obras consultadas para leitura integral.....	45
Quadro 3 – Identificação e características dos alunos na pesquisa	50
Quadro 4 – Cronograma de execução da pesquisa	51
Quadro 5 – Resumo das etapas de sequência didática	61
Quadro 6 – Formação acadêmica: Pós-Graduação.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das respostas dos professores relacionados as questões 5,6,7.....	86
Tabela 2 – Questões da Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica	89
Tabela 3 – Respostas das atividades elaboradas	90
Tabela 4 – Respostas das questões 1 e 5 referentes às perguntas do AVAF	94
Tabela 5 – Análise das questões 6 a 10 das perguntas objetivas.....	96

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
AMC	Atividade de Mapa Conceitual
APA	Atividade de Pesquisa e Aprendizagem
APE	Atividade Prática Experimental
AVA	Avaliação de Verificação da Aprendizagem
AVAD	Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica
AVAF	Avaliação de Verificação da Aprendizagem Final
BCS	Bardeen, Cooper e Schiffer.
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EFM	Ensino de Física Moderna
ECG	Eletrocardiograma
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
FMC	Física Moderna Contemporânea
FTEA	Fundamentos Teoria Ensino e Aprendizagem
QPSS	Questionário Perfil Sócio Social
QPP	Questionário Prático Pedagógico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISADF	Introdução à Supercondutividade suas Aplicações, Descrição do Fenômeno
LCD	Liquid Crystal Display (Líquido Cristal do Display)
LED	Light Emitting Diode (Luz Emissor de Diodo)
MRS	Espectrômetro) Ressonância Magnética
MRI	Imagem por Ressonância Magnética
MCR	Magnetocardiograma
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RME	Ressonância Paramagnética Nuclear
RPE	Ressonância Paramagnética Eletrônica
SIMSAE	Sistema Magnético de Armazenagem de Energia
SQUID	Supercondutor de Interferência Quântica
MTC	Metodologia do Trabalho Científico
TC	Tomografia Computadorizada

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	5
AGRADECIMENTOS	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE FOTOS.....	7
LISTA DE QUADROS	7
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS.....	8
SUMÁRIO.....	9
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 Problema Científico	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral.....	14
1.3.2 Questões Norteadoras	14
1.3.3 Objetivos Específicos.....	15
2.1 SUPERCONDUTIVIDADE NO CONTEXTO HISTÓRICO.....	16
2.1.1 Modelo de um Metal.....	18
2.1.2 Corrente Elétrica	20
2.1.3 A Resistência elétrica e a Lei de Ohm.....	23
2.1.4 Resistividade e condutividade elétrica.....	25
2.3 SUPERCONDUTIVIDADE.....	28
2.4 DESTRUIÇÃO DA SUPERCONDUTIVIDADE POR CAMPOS MAGNÉTICOS	
32	
2.4.1 Campos magnéticos Críticos e Supercondutividade.....	33
2.4.2 Efeito Meissner e o Campos Magnéticos.....	33
2.5 APLICAÇÕES DOS SUPERCONDUTORES	36
2.5.1 Aplicações dos Supercondutores na Tecnologia Elétrica	36
2.5.2 Aplicações dos Supercondutores nos Transportes	37
2.5.3 Aplicações dos Supercondutividade em Pequena Escala	39
2.5.4 Aplicações dos Supercondutividade na Medicina	39
2.6 ABORDAGEM DA SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO	41
3.1 METODOLOGIA	45
3.1.1 Artigo e obras consultadas	45
3.1.2 Tipo de Pesquisa e Instrumentos de Coleta de Dados	46
3.1.3 Local da Pesquisa e Público Alvo.....	49
3.1.4 Cronograma de Execução da Pesquisa	50
3.2 METODOLOGIA DE ENSINO.....	51
3.2.1 Teoria de Aprendizagem.....	52
3.2.2 Conteúdos, objetivos e atividades avaliativas.....	53
3.2.3 Esquema Metodológico	59
3.2.4 Resumo das Etapas da Sequência Didática.....	60
3.2.5 Etapas de Implementação da Sequência Didática em Sala de Aula	63

4.1	RESULTADOS	82
4.1.2	Formação dos Professores Pesquisados.	83
4.1.3	A pesquisa Realizada com os Professores.	86
4.1.4	Aplicação das Atividades de Verificação da Aprendizagem ao Discentes.....	88
4.2	DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS	97
4.2.1	Análise dos Dados dos Questionário ao Professores Pesquisados.....	97
4.2.2	Discussão e Análise da Atividade de Verificação da Aprendizagem Final.....	100
	REFERÊNCIAS.....	112
	APÊNDICE I – CARTA DE APRESENTAÇÃO.....	117
	APÊNDICE II – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	118
	APÊNDICE III – QUESTIONÁRIO PROFESSORES PESQUISADOS.....	119
	APÊNDICE IV – QUESTIONÁRIO PRÁTICO PEDAGÓGICO - QPP.....	121
	APÊNDICE VI – PRODUTO EDUCACIONAL.....	122
	ANEXO A – ORGANIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	150
	ANEXO B – TEXTO DE APOIO	151
	ANEXO C – AULA UTILIZADA NA SALA DE AULA	153
	ANEXO D – AVALIAÇÃO DE VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM.....	154
	ANEXO E – ATIVIDADE DE VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAEM	158
	ANEXO F – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO RESPONSÁVEL.....	163

RESUMO

Supercondutividade é o fenômeno caracterizado pela resistência elétrica zero e pela expulsão de campos magnéticos que ocorre em certos materiais, quando esses se encontram abaixo de uma determinada temperatura. O fenômeno foi descoberto pelo físico alemão Heike Kamerlingh Onnes em 8 de abril de 1911, em Leiden. O estudo dos supercondutores é uma área em constante evolução e descoberta. Por se tratar de um tema bastante atual e instigante, faz-se necessária a introdução de conceitos sobre o tema. O presente trabalho visa criar um produto educacional por meio de uma sequência didática para ensino da supercondutividade aos discentes dos anos finais do ensino médio regular. Este estudo pretendeu ainda abordar e relacionar o conceito de supercondutividade com outros conceitos fundamentais da eletrodinâmica; aplicar o conceito de supercondutividade no contexto da Lei de Ohm, tornando-os acessíveis e compreensíveis para os estudantes durante suas aulas; e despertar o interesse e a curiosidade dos estudantes pela ciência e pela física. A metodologia adotada envolveu uma pesquisa bibliográfica qualitativa e descritiva, com uma revisão abrangendo diversos trabalhos que abordam conceitos teóricos de supercondutividade. Para a coleta de dados dos participantes, foram utilizados questionários contendo questões abertas e fechadas, além de atividades e avaliações destinadas à verificação de aprendizagem. A teoria de aprendizagem de David Ausubel sobre aprendizagem significativa sustenta o trabalho. Os dados coletados foram submetidos a uma análise estatística descritiva, mostrando um conhecimento positivo e decisivo sobre os conceitos de supercondutividade e seus fenômenos. A aplicação desses conceitos de forma acessível e compreensiva mostrou-se satisfatória, estabelecendo vínculos entre os conhecimentos prévios dos alunos e os conceitos novos. Considerando que a implementação desta investigação por meio de uma sequência didática obteve uma aceitação satisfatória de 82% pelos alunos envolvidos no estudo, este trabalho contribui para o aprimoramento do ensino da Física Moderna, enfatizando a importância da contextualização e aplicabilidade prática dos conceitos no processo de ensino aprendizagem.

Palavras-chave: Percepções dos professores; Lei de Ohm; Conhecimentos prévios; Supercondutividade.

ABSTRACT

Superconductivity is the phenomenon characterized by zero electrical resistance and the expulsion of magnetic fields that occurs in certain materials when they are below a certain temperature. The phenomenon was discovered by the German physicist Heike Kamerlingh Onnes on April 8, 1911, in Leiden. The study of superconductors is an area in constant evolution and discovery. As this is a very current and exciting topic, it is necessary to introduce concepts on the subject. This work aims to create an educational product through a didactic sequence for teaching superconductivity to students in the final years of regular high school. This study also aimed to address and relate the concept of superconductivity to other fundamental concepts of electrodynamics; to apply the concept of superconductivity in the context of Ohm's Law, making them accessible and understandable to students during their lessons; and to arouse students' interest and curiosity in science and physics. The methodology adopted involved qualitative and descriptive bibliographical research, with a review covering various works that address theoretical concepts of superconductivity. Questionnaires containing open and closed questions were used to collect data from the participants, as well as activities and assessments designed to verify learning. David Ausubel's theory of meaningful learning underpins the work. The data collected was subjected to descriptive statistical analysis, showing a positive and decisive knowledge of the concepts of superconductivity and its phenomena. The application of these concepts in an accessible and comprehensive way proved satisfactory, establishing links between the students' previous knowledge and the new concepts. Considering that the implementation of this research through a didactic sequence was satisfactorily accepted by 82% of the students involved in the study, this work contributes to the improvement of Modern Physics teaching, emphasizing the importance of contextualization and practical applicability of concepts in the teaching-learning process.

Keywords: Teachers' perceptions; Ohm's Law; Prior knowledge; Superconductivity.

1 CAPÍTULO

1.1 INTRODUÇÃO

O entendimento do fenômeno da supercondutividade, embora essencial no panorama científico contemporâneo, permanece relativamente desconhecido entre estudantes do ensino médio regular (Vieira, 2014). Este estudo propõe uma abordagem metodológica pedagógica para introdução de uma sequência didática sobre os supercondutores, bem como a análise da percepção dos professores em relação a essa temática. O estudo destaca a importância e relevância dos supercondutores, considerando suas diversas aplicações práticas na sociedade.

O fenômeno da supercondutividade foi pioneiramente observado por Heike Kamerlingh Onnes em 1911, quando, ao investigar a resistividade elétrica do mercúrio (Hg), observou que este podia conduzir corrente elétrica sem apresentar resistência aparente, contudo sob a condição de baixas temperaturas, conhecida como temperatura crítica (T_c). Posteriormente, esse estado de resistividade nula foi denominado de supercondutividade (Branício, 2001; Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998b).

A escolha do tema surge da vivência adquirida durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), com o propósito de não apenas promover a compreensão teórica, mas também demonstrar a aplicabilidade prática do conhecimento adquirido, além de incentivar o interesse dos alunos. O objetivo é evidenciar que a supercondutividade apresenta uma vasta gama de aplicações práticas em distintos setores da sociedade, visando estimular a participação e o engajamento dos estudantes. Este estudo apresenta uma perspectiva promissora ao integrar conceitos da supercondutividade como um método didático, para estimular a participação ativa tanto dos educadores quanto dos discentes no processo de ensino-aprendizagem.

A metodologia adotada neste trabalho consistiu em uma pesquisa bibliográfica de cunho qualitativo e descritivo, abarcando uma revisão cuidadosa dos conceitos teóricos pertinentes à supercondutividade. Para coleta de dados junto aos participantes da pesquisa, foram utilizados questionários de natureza tanto aberta quanto fechada, além de atividades de verificação de aprendizagem como instrumentos destinados à obtenção de dados relevantes para esta investigação.

Ao adotar as Teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, enfatizando a assimilação de conhecimentos pertinentes ao cotidiano do aluno, busca-se tornar a aprendizagem mais significativa. Autores como Moreira (1999) destacam a importância de contextualizar o conhecimento preexistente dos alunos.

Diversos autores contribuíram para o entendimento do tema supercondutividade entre eles: Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998b), Ostermann e Pureur (2005), Lahera e Forteza (2006), Luiz (2012), Costa e Pavão (2012), Pereira e Félix (2013), Viera (2014), Souza (2012), Barbosa (2016) e, entre outros, que colaboraram para compreensão e discussão das ideias.

A estrutura do trabalho compreende cinco capítulos: o primeiro contextualizar o tema, apresentado o objeto de estudo, justificativa, problema científico e objetivos; O segundo aborda a fundamentação teórica; O terceiro descreve a metodologia utilizada; O quarto apresenta os resultados, análises e discussões; e o quinto oferecem considerações finais, destacando os objetivos alcançados, as contribuições do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

1.2 Problema Científico

Como desenvolver uma sequência didática eficaz para ensinar o conceito de supercondutividade aos alunos do 3º ano do ensino médio regular, considerando os conhecimentos prévios dos alunos, as estratégias pedagógicas adequadas e as possíveis dificuldades de compreensão?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

❖ Criar um produto educacional por meio de uma sequência didática para o ensino da supercondutividade, para os alunos dos anos finais do ensino médio regular.

1.3.2 Questões Norteadoras

Considerando o objetivo geral, temos as seguintes questões norteadoras:

- 1) De que forma abordar os conceitos de supercondutividade aos alunos dos anos finais do ensino médio regular?

- 2) Quais abordagens pedagógicas e estratégias específicas podem ser adotadas para tornar os conceitos de supercondutividade mais acessíveis e compreensíveis para os alunos do ensino médio regular?
- 3) Como o ensino da supercondutividade pode despertar o interesse e a curiosidade dos alunos pela ciência e pela Física, incentivando a exploração, a investigação e o questionamento científico?

1.3.3 Objetivos Específicos

Objetivo específico 1: Abordar e relacionar o conceito de supercondutividade com outros conceitos fundamentais da eletrodinâmica.

Objetivo específico 2: Aplicar o conceito de supercondutores no contexto da Lei de Ohm, tornando-o acessível e compreensível para os alunos durante as aulas de eletrodinâmica.

Objetivo específico 3: Despertar o interesse e a curiosidade dos alunos pela ciência e pela física, por meio do ensino da supercondutividade.

2 CAPÍTULO

2.1 SUPERCONDUTIVIDADE NO CONTEXTO HISTÓRICO.

A supercondutividade foi observada pela primeira vez em 1911, pelo físico holandês Heike Kamerlingh Onnes. Durante o estudo da resistividade elétrica do mercúrio, Onnes constatou que esse material apresentava uma queda abrupta e completa de sua resistividade ao ser resfriado abaixo de -269 °C (4K). Esse fenômeno inesperado, no qual o material exibia resistividade zero, foi então denominado por ele como supercondutividade (Ostermann, Ferreira e Cavalcanti, 1998a).

Posteriormente, em 1912, foi demonstrado que o fenômeno da supercondutividade não se limitava ao mercúrio, mas também ocorria em outros materiais, como o estanho e o chumbo, que apresentavam características semelhantes quando submetidos a temperaturas de 3,7 K e 7,2 K, respectivamente. Deste então, a quantidade de sistemas supercondutores identificados tem aumentado continuamente (Ostermann, Ferreira e Cavalcanti, 1998a). A figura 1 ilustra o pioneiro da liquefação no hélio.

Figura 1: Heike Kamerlingh Onnes – Foi o pioneiro na liquefação do Hélio.



Fonte: Branício (2021).

Desde a primeira observação da supercondutividade no mercúrio em 1911 até meados da década de 1980, a temperatura crítica máxima do composto intermetálico Nb_3Ge aumentou lentamente e atingiu cerca de 23 K. De acordo com Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998a), o desenvolvimento da compreensão da supercondutividade teve

iniciou-se em: 1933, quando os físicos Walter Meissner e Robert Ochsenfeld descobriram o fenômeno conhecido como efeito Meissner. Esse marco estabeleceu a supercondutividade como um novo estado da matéria. No ano seguinte, em 1934, o físico britânico Fritz Wolfgang London formulou as equações de London e as equações complementares às equações de Maxwell, fornecendo uma teoria das propriedades eletrodinâmicas dos supercondutores. Embora essa teoria explicasse o fenômeno, a origem da supercondutividade ainda não era compreendida.

Em 1950, o físico soviético Ginzburg Landau desenvolveu uma teoria fenomenológica para descrever as propriedades termodinâmicas da transição do estado normal para o estado supercondutor. Essa teoria estabelece relações entre vários fenômenos observados em laboratório. No entanto, o entendimento completo da origem da supercondutividade só foi alcançado em 1957, quando os americanos John Bardeen, Leon Neill Cooper e John Robert Schrieffer propuseram a teoria BCS, que explicava a formação dos chamados “pares de Cooper”, compostos por elétrons emparelhados. Por essa contribuição, eles foram agraciados com o Prêmio Nobel de Física (Pureur, 2012; Costa; Pavão, 2012).

Em 1962, o físico britânico Brian David Josephson previu o fenômeno do tunelamento de pares de Cooper através de barreiras isolantes entre supercondutores. Sua previsão foi confirmada experimentalmente, e Josephson recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1973. No mesmo ano, o físico norte-americano B. Matthias descobriu o composto Nb_3Ge , com uma temperatura crítica de 23K, e Ivan Giaver realizou o tunelamento de elétrons em supercondutores. As descobertas desses pesquisadores contribuiriam para o avanço do campo da supercondutividade (Ostermann; Pureur, 2005).

No ano de 1986, os cientistas alemães Muller e Bednorz realizaram uma notável demonstração da supercondutividade em óxido contendo cobre. O material foi sintetizado a partir do óxido La_2CuO_4 mediante dopagem do lantânio pelo bário, Muller e Bednorz sintetizaram materiais com composições $La_{2-x}Ba_xCuO_4$. Essa descoberta foi reconhecida com a concessão do Prêmio Nobel de Física. No ano seguinte, em 1987, os físicos norte-americanos Paul Chu e Maw-Kuen Wu descobriram o sistema composto por $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ que apresentava uma temperatura crítica da ordem de 90K, marcando mais um avanço significativo no campo da supercondutividade. (Luiz, 2012).

Em 1988, a temperatura crítica atingiu 110K com a descoberta da supercondutividade no sistema Bi-Ca-Sr-Cu-O. No mesmo ano, foi alcançada a temperatura de 125 K

em um composto de Ti-Ca-Ba-Cu-O , estabelecendo novos recordes de temperatura. Em 1993, foi descoberta a supercondutividade em um composto de Hg-Ba-Ca-Cu-O , que apresentava uma temperatura crítica de aproximadamente 135K (Ostermann, Ferreira; Cavalcanti, 1998b).

No período de 2000 a 2008, uma significativa evolução na pesquisa sobre supercondutividade foi liderada por diversos cientistas. Uma equipe japonesa, sob a direção de Akimitsu, destacou-se ao identificar o diboreto de magnésio (MgB_2) como um material supercondutor, com uma temperatura crítica de cerca de 40K. Posteriormente, em 2006, cientistas japoneses surpreenderam ao demonstrar a existência de supercondutividade em compostos de ferro, com temperaturas em torno de 5K, desafiando as previsões anteriores que consideravam o ferro incapaz de manifestar essa propriedade. Por fim, em 2008, pesquisadores chineses, liderados pelo físico Yang, realizaram uma descoberta notável ao identificar a supercondutividade no composto NdFeAsO_{1-x} , com temperaturas da ordem de 54K (Luiz, 2012).

Martendal (2015) definiu os “supercondutores como materiais que apresentam uma resistência elétrica nula sob determinadas condições específicas externas”. Com o avanço tecnológico e científico, os supercondutores necessitam de condições restritas e propícias para o desenvolvimento de seus produtos. Sendo assim, existem as propriedades básicas que compõem esses materiais.

Neste texto, descreveremos algumas propriedades físicas básicas de um supercondutor fazendo relação com a eletrodinâmica. Nos tópicos seguintes, visaremos descrever alguns aspectos qualitativos relacionados a: modelo de um metal; corrente elétrica; resistência, resistividade & condutividade; supercondutividade; aplicações dos supercondutores e revisão de literatura.

2.1.1 Modelo de um Metal

Ao longo dos séculos, o progresso da física provoca uma transformação nas ênfases da pesquisa científica e no ensino. Essas transformações evidenciam que a física do século XIX tinha uma abordagem predominantemente macroscópica, enquanto, no final do século XX, houve uma ampliação dos horizontes com ênfase na investigação do mundo quântico e no surgimento de novas tecnologias (Venegas Urenda et al., 1995).

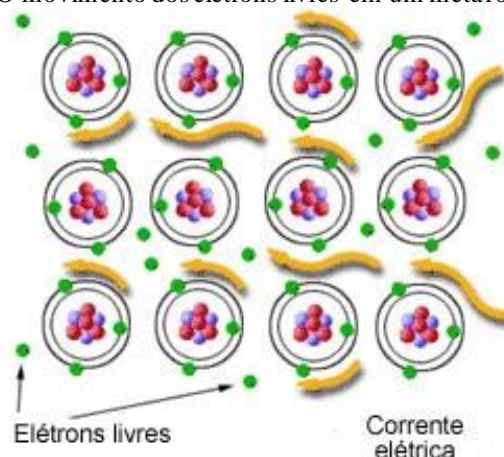
A diferença entre os diversos estados do material era considerada no século XIX como fato fundamental, que servia como ponto de partida para desenvolver os diversos aspectos, assim o desenvolveu a mecânica do corpo rígido e a do fluido, a aerodinâmica, a teoria da elasticidade, a termodinâmica de gases ideais e reais. No ponto de vista da propriedade elétrica, as substâncias foram classificadas em metais e isolantes (Venegas Urenda et al., 1995).

No século XIX, a compreensão das diferentes fases da matéria desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento de várias áreas da física, como a mecânica dos corpos rígido e líquidos, aerodinâmica, teoria da elasticidade, termodinâmica dos gases ideais e reais. A distinção entre essas fases foi um ponto central para o desenvolvimento de investigações científicas. Nesse período, consolidou-se a classificação das substâncias com bases em suas propriedades elétricas, estabelecendo a diferenciação entre metais, que atuam como condutores de eletricidade, e os isolantes, que não apresentam essa capacidade de condução. (Venegas Urenda et al., 1995).

Os estudos de Lima (2018) e Ostermann; Ferreira e Cavalcanti (1998b) mostraram que os metais consistem em uma rede cristalina de íons positivos compreendidos por elétrons em movimento livre. Possui alta condutividade térmica e elétrica, plasticidade, persistência e brilho característico.

Em temperaturas distintas daquelas próximas do zero absoluto, observa-se que os íons positivos se encontram em constante movimento oscilatório em torno de suas posições de equilíbrio, impulsionados pela agitação térmica. Por outro lado, os elétrons livres apresentam um movimento aleatório ou desordenado, assemelhando-se ao movimento das moléculas de um gás confinado em um recipiente (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998a). A figura 2 fornece uma representação visual e esquemática do modelo utilizado para descrever o movimento dos elétrons.

Figura 2: O movimento dos elétrons livres em um metal ou condutor elétrico.



Fonte: Disponível em: <http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/17-3/artpdf/a7.pdf>

2.1.2 Corrente Elétrica

Embora a corrente elétrica seja gerada pelo movimento de partículas carregadas, nem todo movimento de partículas carregadas resulta em corrente elétrica. A passagem de corrente elétrica através de uma determinada superfície requer um fluxo contínuo de carga através dessa superfície (Halliday; Resnick, 2009).

Um condutor é definido como um material que permite a livre movimentação de portadores de carga sob a influência de campos elétricos estáticos. Essa definição abrange não apenas condutores convencionais, como metais e ligas, mas também semicondutores, eletrólitos, gases ionizados, isolantes imperfeitos e até mesmo o vácuo. Quando uma carga está em movimento, ela forma uma corrente elétrica, e o processo pelo qual a carga se desloca é denominado condução (Reitz; Milford; ChristY, 1982).

De acordo com Halliday e Resnick (2009) a corrente elétrica i é um condutor é definida através da equação:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Onde dq diferencial da carga que passa pela superfície durante um intervalo de tempo dt por um determinado condutor. A unidade SI de corrente denomina-se Ampère (A); um ampère é definido como um Coulomb por segundo ($1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$).

De acordo com Neves (2019), ao estudar o fluxo de carga em uma secção transversal que abrange apenas uma parte do material, é necessário utilizar o conceito de densidade de corrente para descrever adequadamente esse fluxo.

Para descrever esse fluxo Halliday (2016, p. 325) demonstra que “a corrente i (*uma grandeza escalar*) está relacionada à densidade de corrente J (*uma grandeza vetorial*) pela equação”.

$$i = \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} \quad (2)$$

Na Equação $d\mathbf{A}$ representa um vetor perpendicular a um elemento infinitesimal de superfície, cuja magnitude é igual à área dA , e a integral é calculada para uma secção transversal do condutor. A densidade de corrente \mathbf{J} orienta-se no mesmo sentido da velocidade dos portadores de corrente, caso estes sejam positivos. No entanto, quando os portadores de carga são negativos, a orientação será oposta à direção dos portadores (Halliday, 2016).

Quando a corrente é uniforme em toda seção transversal e paralela ao vetor $d\vec{A}$, e a densidade de corrente \vec{J} também apresenta uniformidade e direção paralela a \vec{A} , a Equação (2) pode ser simplificada pela Equação 3.

$$i = \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = J \int dA$$

$$J = \frac{i}{A} \quad (3)$$

Para Neves (2019), a quantidade de carga elétrica que atravessa uma superfície em um intervalo de tempo de 0 a t é obtida por meio da integração da corrente elétrica $i(t)$ ao longo desse intervalo. Como a corrente pode variar no decorrer do tempo, a carga que atravessa o plano é dada pela expressão:

$$q = \int dq = \int_0^t i dt \quad (4)$$

Nos metais, a corrente elétrica é conduzida exclusivamente pelos elétrons, enquanto os íons positivos de maior massa permanecem fixos em suas posições na estrutura cristalina. A participação no processo de condução está restrita aos elétrons de valência, os quais são os elétrons atômicos situados na camada externa do átomo e estão livres para

se movimentar. Os demais elétrons encontram-se fortemente ligados aos seus respectivos íons e não contribuem para a condução elétrica (Reitz; Milford; Christy, 1982).

Em meios condutores de eletricidade, como fios metálicos, o comportamento dos elétrons livres, que possuem carga negativa, é intrincado. Quando não há presença de um campo elétrico no fio, esses elétrons movem-se de maneira caótica, com velocidades tipicamente elevadas, da ordem de 10^6 metros por segundo (Tipler; Mosca, 2009).

Na concepção de Tipler e Mosca (2009) o movimento dos elétrons livres em um metal pode ser comparado ao movimento das moléculas em um gás, com o ar. Mesmo no ar estacionário à temperatura ambiente, as moléculas do gás estão em constante movimento, com velocidade relativamente elevada, em torno de 500 m/s, devido à energia térmica presente. No contexto do fio condutor com uma seção transversal “A”, consideramos chamamos n como a densidade de portadores de cargas, ou seja, o número de partículas móveis por unidade de volume no fio. Cada uma dessas partículas tem uma carga q e move-se no sentido positivo com uma velocidade chamada de velocidade de deriva, representada por v_d . Durante um intervalo de tempo Δt , todas as partículas em um volume $A v_d \Delta t$ contribuem para o comportamento elétrico do fio. O número total de partícula é dado por $n A v_d \Delta t$ e a carga total livre presente no volume é

$$\Delta Q = q n A v_d \Delta t \quad (5)$$

Esse processo é fundamental para entender como a corrente elétrica se comporta em condutores elétricos, onde a densidade de portadores de carga e suas velocidades de deriva desempenham um papel essencial na condução de eletricidade.

A densidade da corrente J é, portanto

$$J = \frac{I}{A} = q n v_d \quad (6)$$

As unidades de densidade de corrente são expressas em ampères por metros quadrados (A/m^2). Quando se consideram partículas de cargas negativas em movimento, em oposição às partículas de carga positiva, a direção da velocidade de deriva das partículas é oposta à direção do vetor campo elétrico \vec{E} . No entanto, a corrente apresentará ainda o

mesmo vetor campo elétrico \vec{E} . Portanto, tanto a densidade de corrente (J) quanto a corrente elétrica (I) não são afetadas pelo sinal da carga e , conseqüentemente, na Equação (6) para (J) e para (I), podemos substituir a carga (q) por seu valor absoluto $|q|$.

$$I = \frac{dQ}{dt} = qn v_d \quad (7)$$

Substituindo (I) e (dQ) por (J) e (I) fica

$$J = \frac{I}{A} = qn v_d \quad (8)$$

Chamamos de densidade da corrente (J), este fenômeno é de relevância significativa e possui implicações fundamentais na análise de circuitos elétricos e em estudos envolvendo transporte de cargas em materiais condutores.

2.1.3 A Resistência elétrica e a Lei de Ohm

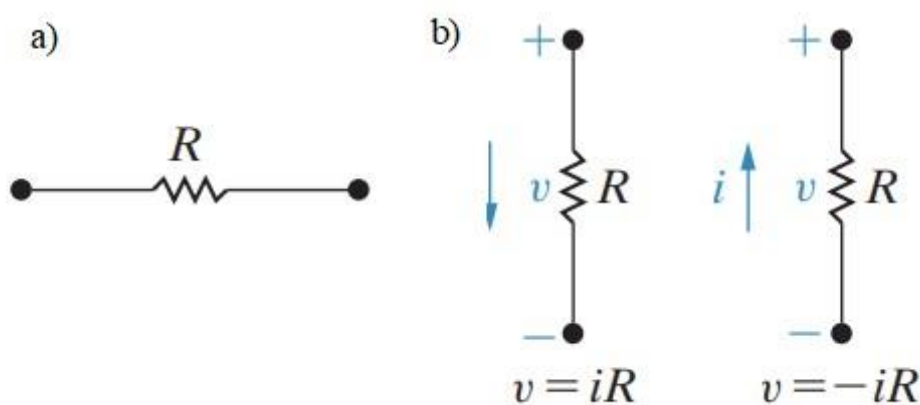
O matemático e físico alemão Georg Simon Ohm, nascido em 16 de março de 1789, em Erlangen, foi o responsável por descobrir as relações matemáticas que regem as dimensões dos condutores e as grandezas elétricas. Em suas pesquisas realizadas entre 1825 e 1827, Ohm verificou que a intensidade da corrente elétrica em condutor diminuía com o aumento de seu comprimento e aumentava com a maior secção transversal do condutor. Com base nessas observações, ele formulou a relação matemática que descreve o “fluxo elétrico”, estabelecendo, assim, a Lei de Ohm, que correlaciona a intensidade da corrente elétrica e as variáveis no contexto de um circuito voltaico (De Araújo, 2015; Oliveira, 2015).

No livro “O Circuito Galvânico Matematicamente Analisado”, Georg Simon Ohm apresentou suas descobertas, mas o reconhecimento adequado de seu trabalho ocorreu apenas em 1841, quando foi agraciado com a medalha Copley, umas das mais prestigiadas honorarias científicas da época, equivalente ao atual Prêmio Nobel (Oliveira, 2015).

A 1ª Lei de Ohm, assim nomeada em sua homenagem, estabeleceu que, para um condutor mantido à temperatura constante, a razão entre a tensão aplicada entre dois pontos e a corrente elétrica que o percorre permanece constante. Essa lei, determinada experimentalmente, permitiu o entendimento da propriedade em que foi conhecida como resistência elétrica (Oliveira, 2015).

Matematicamente, a Lei de Ohm pode ser expressa pela relação $\frac{V}{I}$, onde essa razão quantifica a resistência elétrica (R), definida como medida da oposição oferecida pelo dispositivo à passagem da corrente elétrica. A Figura 3 (a) mostra o símbolo de um resistor em um circuito elétrico, onde (R) indica o valor da resistência, e na Figura 3 (b) são apresentadas as convenções de referência para a corrente e a tensão nos terminais do resistor (Riedel; Nilsson, 2015).

Figura 3: (a) Símbolo de um resistor em um circuito elétrico. (b) Tensão nos terminais de um resistor e as equações.



Fonte: (Riedel; Nilsson, 2015)

O símbolo R é amplamente utilizado para representar a resistência elétrica, conceito que pode ser compreendido a partir da interação dos elétrons, que constituem a corrente elétrica, com a estrutura atômica do material por onde se deslocando. A resistência elétrica é uma característica fundamental para compreender como os elétrons enfrentam oposição ao se movimentarem em um condutor. O componente utilizado para modelar esse comportamento é denominado resistor. Segundo Calçada e Sampaio (1998), “o resistor é um elemento de circuito cuja função exclusiva é transformar energia elétrica em energia térmica.”

Conforme abordado por Riedel e Nilsson (2015), a direção da queda de tensão em um resistor ou a elevação de tensão em um resistor são indicadas conforme a relação entre a tensão (V) e a corrente elétrica (I). Essa relação é central para a compreensão dos princípios da eletrodinâmica e possui uma relevância particular quando se explora a supercondutividade, assim temos:

$$R = \frac{V}{I} \quad (9)$$

Onde

R = Resistência elétrica do material (medida em ohm, [Ω])

V = Diferença de potencial (medida em volt, [V])

I = Intensidade da corrente elétrica (medida em ampère, [A]).

Essa definição implica que, ao aplica uma diferença de potencial (ddp), (V) aos terminais de um resistor (R), uma corrente (I) fluirá através dele de forma a obedecer à relação estabelecida na Equação (9). Essa relação é amplamente reconhecida na forma mais comum:

$$V = R \cdot I \quad (10)$$

Conforme enfatizado por Young e Freedman (2015), as grandezas envolvidas na Equação (9) são todas de natureza macroscópica e podem ser facilmente quantificadas por meio de instrumentos de medição comuns, como ohmímetro para avaliar a resistência (R), voltímetros para registrar a diferença de potencial (V) e amperímetros para medir a intensidade da corrente elétrica (I). Importante notar que cada uma dessas grandezas macroscópicas tem sua correspondente contraparte em uma escala microscópica.

2.1.4 Resistividade e Condutividade Elétrica

De acordo com Aurelio e Toscano (2016, p. 34), a resistividade é definida como “a reação diferenciada que os materiais apresentam em relação à corrente elétrica e denominada resistividade do material, é indicada pela letra grega ρ ”. Sendo assim, a resistividade e a condutividade σ de um material são dadas pelas expressões

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} \quad (11)$$

Onde E é o módulo do campo aplicado e J é o módulo da densidade de corrente.

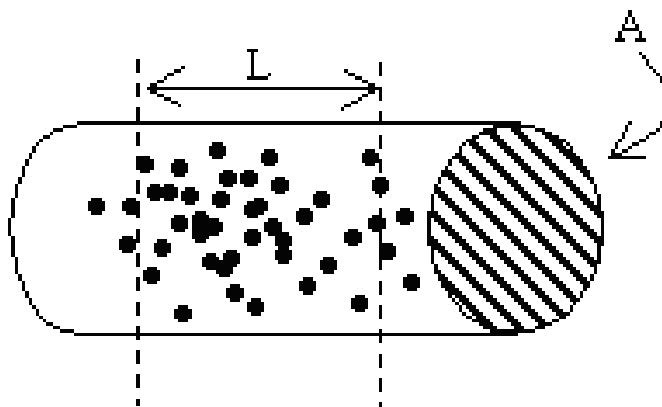
A correspondência microscópica da grandeza resistência elétrica é comumente identificada como resistividade, (ρ). Esta relação microscópica, a qual é uma representação fundamental da Equação (10), desempenha um papel importante na análise de

fenômenos elétricos em sistemas condutores. Ela estabelece uma ligação essencial entre o comportamento macroscópico dos materiais condutores, governado pela resistência elétrica, e as propriedades microscópicas desses materiais, encapsuladas na resistividade, assim temos:

$$E = \rho J \quad (12)$$

No estado estacionário, as grandezas E (campo elétrico) e J (densidade de corrente) se mantêm uniformes. Isso implica que, considerando um segmento L conforme ilustrado na Figura 4, essas grandezas não variam com o tempo ou posição ao longo do segmento.

Figura 4: A corrente e o fluxo da densidade de corrente elétrica.



Fonte: Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod06/m_s03.html

Essa observação tem relevância tanto na análise de fenômenos eletrodinâmicos convencionais quanto na compreensão da supercondutividade. A relação entre ambas as áreas é particularmente valiosa no contexto do ensino médio, ao permite aos estudantes explorar a continuidade dos princípios eletrodinâmicos em sistemas convencionais e em sistemas supercondutores, nos quais a densidade de corrente elétrica é nula devido à ausência completa de resistência elétrica. Isso proporciona uma base sólida para compreender os princípios subjacentes à eletrodinâmica e os fenômenos excepcionais associados à supercondutividade.

Dessa forma, temos:

$$V = L E = L \rho J \quad \text{e} \quad I = J A \quad (13)$$

Lembrando-se que $\frac{V}{L}$ é o campo elétrico (E) que age sobre o condutor, e $\frac{I}{A}$ é chamado de densidade de corrente, simbolizado por (J).

Substituindo V e I na Equação (10), obtém-se:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (14)$$

Onde:

R = Resistência elétrica do material (medida em ohms, [Ω])

ρ = Resistividade do material (medida em ohms por metro, [$\Omega.m$])

l = Comprimento do material (medida em metros, [m])

A = Área de secção transversal do material (medida em metros quadrados, [m^2]).

Considerando condutores compostos pelo mesmo material, mas com diferenças no comprimento e na área de suas secções transversais, é possível estabelecer comparações. Por exemplo, se segundo condutor tem um comprimento maior do que o primeiro ($l_2 > l_1$) e as mesmas áreas de secção transversal ($A_2 = A_1$), enquanto o terceiro tem uma área de secção transversal maior que o primeiro ($A_3 > A_1$) e os mesmos comprimentos ($l_3 = l_1$), pode-se formular uma lei que relaciona a resistência elétrica (R) dos fios. A resistência elétrica de condutores feitos de uma determinada matéria é diretamente proporcional ao comprimento do fio (l) e inversamente proporcional à área de sua secção transversal (A) (Calçada; Sampaio, 1998).

O movimento dos elétrons livres é influenciado por fatores como impurezas na rede cristalina e vibrações térmicas, resultando no espalhamento dos elétrons em direções diferentes da corrente elétrica. Esse fenômeno é formalmente chamado de resistividade elétrica, como apontado por Ostermann e Pureur (2005).

Enquanto a resistividade e a condutividade elétrica representam duas das propriedades fundamentais dos materiais em termos de condução de eletricidade. Esses parâmetros desempenham um papel importantíssimo na caracterização das propriedades elétricas dos materiais, auxiliando na distinção entre bons e maus condutores de eletricidade. Além disso, é importante destacar que tanto a resistividade quanto a condutividade elétrica estão intimamente relacionadas com a temperatura dos materiais, tornando seu estudo ainda mais relevante e complexo (Bernardi, 2012).

Conforme amplamente conhecido, a grande maioria das propriedades físicas dos materiais apresenta variação em resposta às mudanças de temperatura. Nesse contexto, a condutividade elétrica e a resistividade não se desviam dessa regra fundamental, demonstrando uma sensível dependência em relação à temperatura.

O estudo conduzido por Rosa (2003) mostra que a condutividade elétrica é uma propriedade intrínseca de certos materiais que lhes permite transportar cargas elétricas ao longo de sua estrutura atômica, enquanto a resistividade representa a medida da oposição à passagem dessas cargas. Esses conceitos fundamentais são essenciais para compreender o comportamento elétrico dos materiais.

É relevante ressaltar que a resistividade elétrica apresenta variações de várias ordens de magnitude, dependendo da natureza do material. Exemplos extremos incluem bons condutores, como o cobre, e isolantes, como o quartzo, cujas resistividades diferem por fatores superiores $> 10^{20}$ (Moysés, 1997).

A Equação 15 representada abaixo descreve a relação entre a temperatura T e resistividade ρ em uma faixa considerável de temperaturas. Ela é expressa como:

$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0) \quad (15)$$

A equação é especialmente relevante quando se trata de materiais condutores, como metais. Em geral, a relação entre a temperatura e a resistividade tende a ser aproximadamente linear para a maioria dos metais. No início do século, essa compreensão teórica levou à expectativa de que, em temperaturas muito baixas, próximo ao “zero absoluto” a resistividade poderia tender a zero. Isso deu origem a um fenômeno fascinante conhecido como supercondutividade.

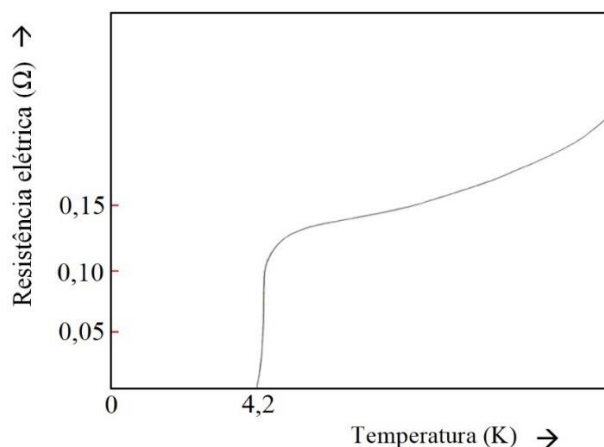
2.3 SUPERCONDUTIVIDADE

A supercondutividade, um fenômeno notável, foi inicialmente elucidada em 1911, por Heike Kamerlingh-Onnes, um eminente físico holandês, o qual foi o primeiro observar que uma amostra de mercúrio exibia uma drástica supressão de sua resistividade elétrica quando submetida a temperaturas inferiores a 4,2 Kelvin (K), equivalente a $-268,8^\circ$ Celsius ($^\circ\text{C}$). Este estado supercondutor é singularmente caracterizado por duas

propriedades distintas. Em condições criogênicas, a resistividade do material sofre uma redução brusca, frequentemente alcançando valores nulos para correntes contínuas. Essa contribuição Onnes deixou uma marca permanente no entendimento dos comportamentos elétricos dos materiais em condições criogênicas (Santos, 2019; Pereira; Félix, 2013).

Para Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998b), Heike Kamerlingh-Onnes identificou que determinados materiais exibem um comportamento notável, substancialmente divergente das características observadas tipicamente em metais. Quando esses metais são submetidos a processos de resfriamento, sua resistividade elétrica experimenta uma acentuada queda até atingir o valor zero. Isso implica na transição desses materiais para o estado supercondutor, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Representação esquemática da variação da resistência elétrica de uma amostra de Mercúrio (Hg).



Fonte: Ostermann; Ferreira, Cavalcanti, 1998

Após sua descoberta inaugural, a supercondutividade passou a ser objeto de extensa pesquisa em ampla variedade de materiais, com ênfase especial nos metais, conhecidos por sua intrínseca condutividade elétrica. É evidente que, em virtude das amplas aplicações potenciais da supercondutividade, cientistas em todo o mundo têm se dedicado diligentemente à identificação de materiais supercondutores capazes de manifestar uma temperatura crítica compatível com as condições ambientais. A pesquisa é documentada em estudos de Branício (2001) e Silva (2003).

A supercondutividade é um fenômeno fascinante na física que desafia nossa compreensão convencional da eletricidade e do magnetismo. Esse fenômeno desempenha um

papel central em nossa pesquisa, que se concentra em introduzir o conceito de supercondutividade no ensino médio.

A característica preeminente que distingue o estado supercondutor é a completa ausência de resistência elétrica, notoriamente denominada resistência elétrica nula. A notável propriedade da resistência elétrica nula em supercondutores representa um fenômeno macroscópico de grande relevância, sendo considerada uma das características fundamentais desse estado peculiar da matéria (Luiz, 2012).

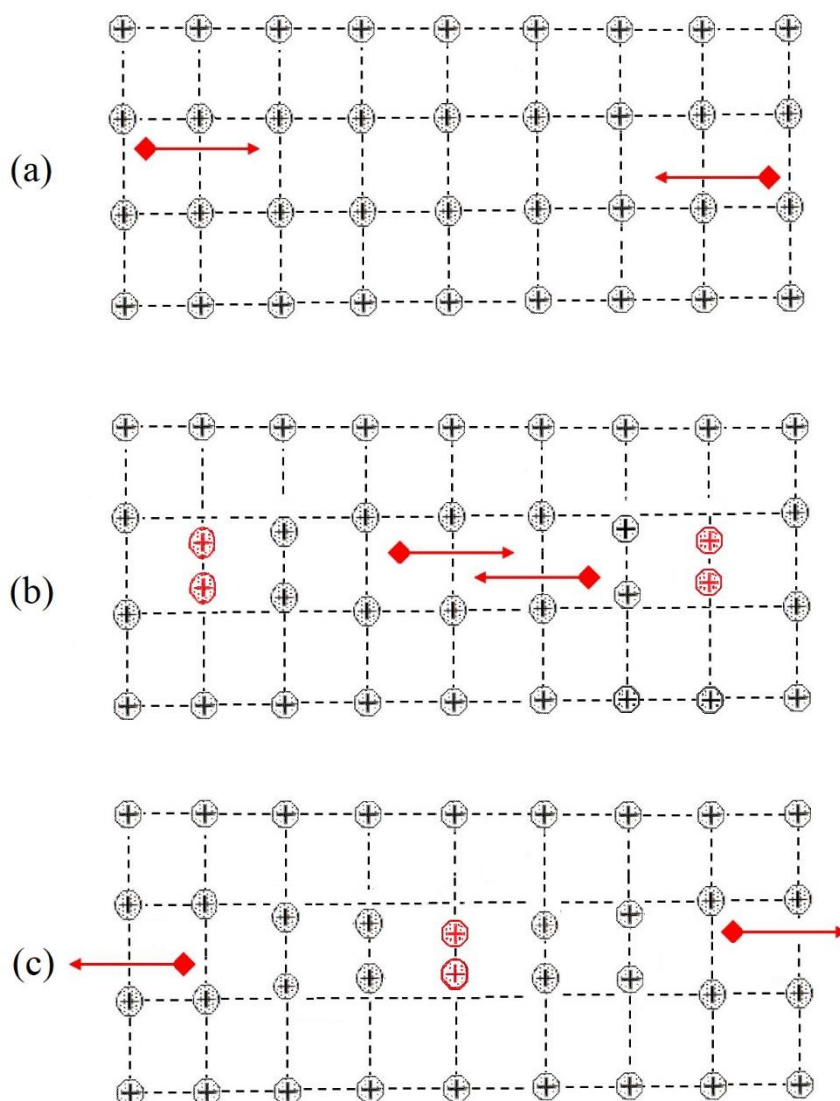
De acordo com Dias (2000), a supercondutividade representou um dos maiores desafios da Física do século XX. Após 46 anos da descoberta inicial desse fenômeno por Onnes, uma explicação bem-sucedida finalmente em 1957, quando os físicos John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schriffer apresentaram a teoria BCS, que ofereceu uma compreensão abrangente e coerente desse fenômeno.

Sendo assim, a definição e formação de Pares de Cooper em materiais supercondutores, para Ostermann e Pureur (2005) é:

Eventualmente, este processo pode produzir um acúmulo de carga positiva na região entre os elétrons, tal como esquematizado na Figura 6(c), o que produz uma franca força de atração entre partículas. Em condições de baixa desordem térmica (baixas temperaturas), em que as vibrações atômicas incoerentes são minimizadas, esta atração efetiva pode produzir um par de elétrons ligados. Esta “quase molécula” eletrônica recebe o nome de *par de Cooper*, em homenagem a Leon Cooper. O par de Cooper é formado por elétrons em momentos lineares iguais em módulo, porém de sentidos diametralmente opostos (Ostermann; Pureur, 2005, p. 30 e 31).

Em vez de se comportarem como partículas independentes, os elétrons se agrupam em pares chamados “pares de Cooper”. Isso ocorre devido à atração mútua entre os elétrons e à interação com a rede cristalina do material. Os pares de Cooper têm propriedades coletivas que permitem que eles se movam de forma coordenada. A Figura 6 ilustra este processo.

Figura 6: Apresentação esquemática do processo de interação indireta entre dois elétrons.



Fonte: A figura foi adaptada do trabalho de Ostermann e Pureur (1998).

O fenômeno em questão descreve o comportamento dos elétrons em uma rede cristalina quando estão viajando através dele. Nesse contexto, os íons positivos que compõem o cristal não estão estritamente fixados em suas posições e podem ser ligeiramente deslocados devido à atração eletrostática entre os elétrons e os íons próximos. Durante esse processo, um fônon, os quais são vibrações quânticas da rede cristalina, é emitido com uma frequência característica. A emissão do fônon resulta em uma atração dos elétrons em direção à região onde a densidade de carga positiva está aumentada. Surpreendentemente, essa atração temporária pode superar a repulsão eletrostática entre elétrons

devido às suas cargas negativas, levando à formação de pares de elétrons chamados pares de Cooper (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998b).

O estudo conduzido por Ostermann e Pureur (2005), a supressão das colisões entre elétrons na formação dos pares de Cooper, é um fenômeno notável de interesse. Este acontecimento se manifesta devido ao fato intrínseco de que os pares de Cooper possuem um momento angular total igual a zero, uma característica distintiva que confere a eles uma notável insensibilidade a interações que, em condições normais, afetariam indivíduos.

Segundo Ostermann e Pureur (2005), colisões inelásticas ocorrem quando a interação entre duas partículas resulta na conversão de parte da energia cinética em outras formas de energia, como calor, vibração ou excitação eletrônica. Esse comportamento é fundamental para a aplicação de materiais supercondutores em tecnologias avançadas, como ímãs supercondutores e circuitos de corrente contínua de alta capacidade.

Os supercondutores apresentam outra característica relevante, o comportamento de diamagnetismo perfeito. Isso significa que, ao serem expostos a um campo magnético externo, eles podem repelir completamente esse campo. Esse fenômeno é conhecido como “Efeito Meissner” (Barbosa, 2016).

Dessa forma, tais conhecimentos constituem uma base para a compreensão dos fenômenos em questão e constituem alicerce para uma compreensão dos supercondutores. A integração desses conceitos nos currículos de física do ensino médio desempenha um papel primordial, promovendo a capacidade analítica dos estudantes e aprofundando a compreensão dos princípios fundamentais subjacentes à eletricidade e ao magnetismo.

2.4 DESTRUIÇÃO DA SUPERCONDUTIVIDADE POR CAMPOS MAGNÉTICOS

A supercondutividade é caracterizada pela ausência de resistência elétrica e pela expulsão de campos magnéticos internos (efeito Meissner) em determinados materiais quando resfriados abaixo de uma temperatura crítica (Dias, 2000). O estudo dos campos magnéticos críticos e dos mecanismos que destroem a supercondutividade é importante para a aplicação segura e eficaz de materiais supercondutores. O avanço tecnológico tem garantido maneiras eficientes e estáveis de realizar esse processo.

2.4.1 Campos magnéticos Críticos e Supercondutividade.

Para Pecinatto (2017), os supercondutores do tipo I, cuja supercondutividade é destruída quando atingem o campo crítico (H_c), foram os primeiros a serem estudados. A maioria dos metais puros, composta dessa forma, é resfriada até atingirem a fase supercondutora. Nos supercondutores do tipo II, até um certo valor crítico (H_{c1}), o campo magnético é completamente expulso do seu interior, de modo que comporta de maneira semelhante aos supercondutores do tipo I.

Kittel (2000) enfatiza que, ao aplicar um campo magnético em um material supercondutor, ele tem diferentes efeitos dependendo da intensidade do campo. Nos supercondutores do tipo I, existe apenas um valor crítico do campo magnético, que depende da temperatura $H_C(T)$.

A relação entre o campo crítico e a temperatura é tipicamente descrita pela Equação 16.

$$H_C(T) = H_C \left(1 - \left(\frac{T}{T_C} \right)^2 \right) \quad (16)$$

Onde $H_C(0)$ é o campo crítico à temperatura zero absoluto. Nos supercondutores do tipo II, existem dois campos magnéticos críticos: o primeiro campo crítico e o segundo campo crítico H_{C1} e H_{C2} .

Quando o campo magnético aplicado está entre H_{C1} e H_{C2} , o material entra em um estado misto, onde coexistem regiões supercondutoras e vórtices de fluxo magnético. Acima do segundo campo magnético, o material também perderá a supercondutividade completamente.

2.4.2 Efeito Meissner e o Campos Magnéticos.

Em 1933, os físicos alemães W. Hans Meissner e Robert Ochsenfeld demonstraram que o campo magnético em um supercondutor é nulo. Eles descreveram a completa expulsão do campo magnético do interior de um material ao ser resfriado abaixo de sua temperatura crítica (T_c), entrando no estado supercondutor. Assim, um material

supercondutor, inicialmente a uma temperatura superior T_c , quando submetido a um campo magnético e posteriormente resfriado abaixo de T_c , expelirá todo o campo magnético do seu interior (Dias, 2003; Ostermann, Ferreira, Cavalcanti, 1998).

Conforme o estudo de Justino (2018), a compreensão da supercondutividade avançou significativamente após sua descoberta. Meissner e Ochsenfeld descobriram que um campo magnético é expelido do interior de um material no estado supercondutor, fenômeno conhecido como Efeito Meissner. Além disso, se o campo magnético aplicado for menor do que $B(T)$, o regime supercondutor não pode ser quebrado.

O Efeito Meissner é uma consequência direta da formação de pares de Cooper, que emerge como resultado da ausência de resistência elétrica em temperaturas inferiores a T_c . Esses pares de Cooper possuem a notável capacidade de responder de maneira coordenada ao campo magnético externo, gerando uma corrente de compensação que resulta na completa expulsão das linhas do campo magnético do interior do material supercondutor (Dias, 2000).

Para uma melhor compreensão entre o efeito Meissner e o diamagnetismo ideal, é importante lembrar alguns conceitos do eletromagnetismo. Para Souza (2012), a indução magnética \vec{B} , no Sistema Internacional (SI) é representada por

$$\vec{B} = \mu H \quad (17)$$

Como observado nas propriedades magnéticas da matéria, é possível classificar um material como diamagnético quando sua permeabilidade magnética, denotada por μ , é menor que a permeabilidade magnética do meio μ_0 . Essa relação é expressa pela razão $\frac{\mu}{\mu_0} < 1$.

Ao se tratar de um supercondutor, para campo magnética $\vec{B} = \mathbf{0}$, podemos concluir que $\mu = \mathbf{0}$. Nesse contexto, afirmamos que o material se comporta como um supercondutor com material diamagnético ideal.

A representação de corte transversal de um cilindro supercondutor maciço, que se encontra em um estado supercondutor, é caracterizada por uma temperatura $T < T_c$. Neste contexto, consideramos que o supercondutor está no seu estado fundamental, correspondendo a $n = 0$, conforme representado na Equação 18. Além disso, é importante

notar que não há presença de campo magnético externo \vec{H} atuando sobre o sistema, como mostrar a Figura 8.

$$L_i + \phi = n\phi_0 \quad (18)$$

Onde:

L = é a autoindutância da bobina supercondutora (ou espira supercondutora);

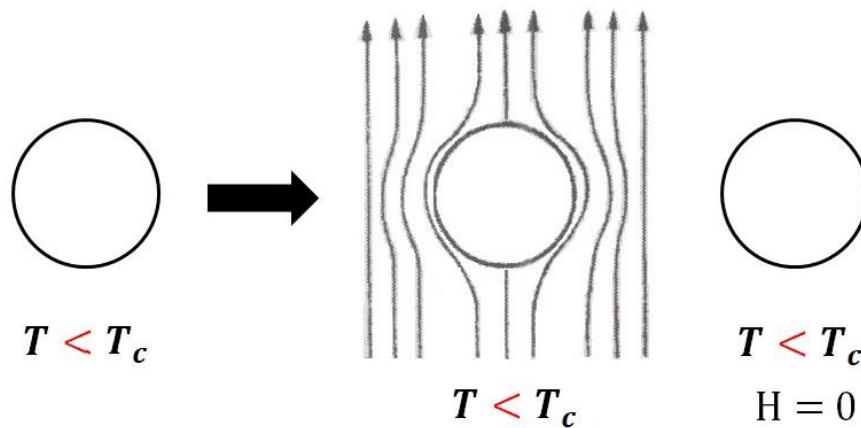
i = é a corrente que passa pelo percurso considerado;

ϕ = é o fluxo magnético externo interceptado no interior da curva fechada;

n = é o número inteiro;

ϕ_0 = fluxo magnético elementar (fluxoide).

Figura 7: Diamagnetismo ideal de um cilindro supercondutor.



Fonte: Figura adaptada do trabalho de (Luiz, 2012)

Na porção central da Figura 7, observa-se uma não nulidade do campo magnético externo, resultando em um fluxo magnético externo não nulo, enquanto $\mathbf{n} = \mathbf{0}$. Conforme indicado pela Equação 19, obtemos a seguinte relação:

$$L_i = -\phi \quad (19)$$

Nesta equação, temos uma corrente i que gera um fluxo interno L_i igual em magnitude, mas oposto em direção ao fluxo externo. Isso resulta na anulação do fluxo magnético total no interior do cilindro supercondutor, ou seja, $\vec{B} = \mathbf{0}$ no interior do supercondutor.

Para Souza (2012), na ausência de um campo elétrico, a aplicação das equações de Maxwell leva à expressão:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (20)$$

Onde \vec{J} representa a densidade de corrente elétrica. Em supercondutores maciços, para o caso em que o campo magnético \vec{B} é nulo, a densidade de corrente elétrica \vec{J} também se torna nula em seu interior.

Portanto, o Efeito Meissner desempenha um papel importante na caracterização e compreensão do estado material dos supercondutores. A capacidade única desses materiais permitir o fluxo de elétrons sem dissipação de energia na forma de calor é essencial. Além disso, o Efeito Meissner, que envolve a completa expulsão de campos magnéticos do interior do material, é fundamental para definir o estado supercondutor e distingue os supercondutores de condutores perfeitos.

2.5 APLICAÇÕES DOS SUPERCONDUTORES

Os supercondutores, materiais que transmitem eletricidade de forma contínua e sem perdas de energia quando mantidos em temperaturas extremamente baixas, apresentam uma grande variedade de aplicações tecnológicas, que vão desde a engenharia elétrica e transporte até aplicações de pequena escala e na saúde. Esta versatilidade e capacidade de aprimorar, eficiência e precisão em várias áreas tornam-nos um campo de pesquisa empolgante e promissor. Neste contexto, o desenvolvimento científico é de extrema relevância e promissora, que poderiam exercer impactos substanciais na sociedade contemporânea e no estilo de vida humano. Assim, apresentaremos discussões em quatro áreas decisivas: tecnológica elétrica, transporte, pequena escala e medicina.

2.5.1 Aplicações dos Supercondutores na Tecnologia Elétrica

Na esfera da Tecnologia Elétrica, os supercondutores se destacam pela sua relevância na transmissão e armazenamento de energia elétrica. A notável ausência de resistência elétrica em temperaturas criogênicas possibilita a construção de sistemas de transmissão de energia com perdas mínimas, resultando em uma distribuição mais eficiente da eletricidade. Além disso, a tecnologia dos supercondutores é amplamente empregada na concepção de dispositivos geradores de campos magnéticos intensos, notavelmente ímãs

supercondutores, utilizados em equipamentos como a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e aceleradores de partículas (Luiz, 2012; Pureur, 2012).

Para Luiz (2012), as aplicações dos dispositivos supercondutores na tecnologia elétrica:

São extremamente importantes [...]. Dessas aplicações, a mais ambiciosa e a mais ecologicamente correta é, sem dúvida, o armazenamento de energia em bobinas supercondutoras. No século XXI e nos próximos séculos, a energia elétrica continuará sendo a forma de energia mais versátil e a mais abrangente usada pela humanidade (Luiz, 2012, p. 73)

A afirmação sobre o armazenamento de energia em bobinas supercondutoras reflete uma tendência na pesquisa de energia, onde a busca por soluções mais eficientes e sustentáveis tem sido uma prioridade. As bobinas supercondutoras conseguem armazenar abundância de energia com perdas mínimas devido à ausência de resistência elétrica quando operam em temperaturas extremamente baixas. Isso pode contribuir para a estabilização das redes elétricas e o armazenamento de energia renovável, reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis.

O armazenamento de energia é um de grande relevância no cenário atual da pesquisa tecnológica. Uma abordagem promissora para essa questão é o Sistema Magnético de Armazenagem de Energia, conhecido como SIMSAE, que detém o potencial de oferecer uma solução prática e eficiente para armazenamento de quantidades de energia elétrica. O SIMSAE se fundamenta na descoberta de Onzes, que consiste na capacidade de induzir uma corrente elétrica em um supercondutor com o formato anelar, resfriando-o por meio de hélio líquido. O seu desenvolvimento depende intrinsecamente do avanço no desenvolvimento de materiais (Rangel, 2012).

2.5.2 Aplicações dos Supercondutores nos Transportes

Os supercondutores têm o potencial de desencadear uma revolução substancial no âmbito dos transportes, em várias maneiras. Em sistemas de levitação magnética, como trens de alta velocidade Maglev, os supercondutores podem ser usados para criar campos magnéticos intensos que levitam o veículo acima dos trilhos, eliminando o atrito e permitindo velocidades muito maiores. Além disso, em veículos elétricos, os supercondutores podem ser empregados em motores e sistemas de armazenamento de energia, melhorando

a eficiência e aumentando a autonomia. Para uma representação visual dos princípios subjacentes aos trens Maglev, veja a Figura 8.

Figura 8: O trem Maglev é o princípio da levitação magnética



Fonte: CHINA PRIVATE TRAVEL. Disponível em: <http://www.chinaprivatetravel.com/atractivos/shanghai/shanghai-maglev-train.htm>

Conforme estabelecido nos princípios da física, os supercondutores se caracterizam como materiais diamagnéticos perfeitos. Em contextos práticos, como no contexto dos trens de levitação magnética, conhecidos como trens Maglev.

Ostermann e Pureur (2005) ressaltam:

O princípio de operação Maglev é baseado na repulsão entre solenoides supercondutores localizados no trem e campos magnéticos gerados por correntes de Foucault induzidas no trilho, os quais são constituídos de metal normal. O movimento do trem produz um fluxo magnético variável sobre o trilho, induzindo as correntes de Foucault (Ostermann; Pureur, 2005, p. 55).

É fundamental destacar que, conforme os acordo com os princípios físicos envolvidos, a interação resultante entre o supercondutor e o ímã é invariavelmente repulsiva. Em suma, essa explicação proporciona uma compreensão fundamental do fenômeno intrínseco à levitação magnética, um componente essencial dos sistemas de transporte Maglev (Souza, 2012; Silva, 2003).

2.5.3 Aplicações dos Supercondutividade em Pequena Escala

Em escalas menores, os supercondutores apresentam uma ampla gama de aplicações de grande relevância. De acordo com Ostermann e Pureur (2005), esses materiais supercondutores têm o potencial de serem empregados em vasto conjunto de dispositivos eletrônicos de alta sensibilidade, incluindo micro-ondas, sensores ópticos magnéticos e detectores de radiação, com o propósito de amplificar sinais e aprimorar a precisão das medidas realizadas. Além disso, as aplicações primordiais dos supercondutores se baseiam em fenômenos quânticos, tais como o fluxo magnético e os dispositivos eletrônicos de efeito Josephson.

Segundo a descrição de Costa e Pavão (2012), o efeito Josephson, essencialmente, consiste no fenômeno de tunelamento de pares de Cooper por meio de uma barreira isolante de espessura reduzida, posicionada entre os dois eletrodos supercondutores separados por uma distância da ordem de 10 Angstroms. A origem teórica desse fenômeno remota a 1964, quando Brian Josephson o postulou, como representado na Figura 9.

Figura 9: Exemplo de junção de Josephson



Fonte: (Costa; Pavão, 2012).

Uma das aplicações mais notáveis das junções de Josephson se materializa por meio de dispositivo denominado SQUID (Supercondutor de interferência quântica), um instrumento com capacidade de detecção extremamente sensível de campos magnéticos de baixas intensidades.

2.5.4 Aplicações dos Supercondutividade na Medicina

As aplicações da supercondutividade na área da medicina podem ser classificadas tanto como aplicações em pequenas escalas quanto em grande escala. O SQUID, um dispositivo supercondutor que utiliza o fenômeno da interferência quântica produzido por

junções Josephson, proporciona uma notável sensibilidade para variações de fluxo magnético. Ao empregar esse dispositivo para realizar um Magnetocardiograma, estamos conduzindo aplicações da supercondutividade em pequena escala. Por outro lado, ao obter imagens do corpo humano por meio de aparelhos de espectroscopia por ressonância magnética (MRS), estamos empregando essa tecnologia em grande escala (Luiz, 2012).

Desde a sua descoberta, os supercondutores são empregados em diversas atividades práticas do cotidiano. Na área da saúde, utilizam-se os aparelhos de ressonância magnética para identificação de diversas doenças, que abrange desde o câncer até alterações nos vasos sanguíneos. As imagens geradas possuem alta precisão, facilitando o diagnóstico médico (Branício, 2001).

A seguir, faremos um resumo das principais aplicações na medicina, que incluem Biomagnetismo, Magnetocardiograma (MCG), Ressonância Magnética Nuclear (RMN), Ressonância Paramagnética Eletrônica (RME), Tomografia Computadorizada (TC) e Imagem por Ressonância Magnética (MRI). Essas aplicações representam avanços significativos no diagnóstico e monitoramento de condições médicas diversas, proporcionando uma compreensão mais precisa do corpo humano.

Conforme investigado por Luiz (2012), o Biomagnetismo constitui uma área de pesquisa interdisciplinar que engloba Biologia e Medicina, dedicando-se à medição de campos magnéticos tênues associados às atividades biológicas. A pesquisa focaliza especialmente nos campos magnéticos produzidos por fontes presentes no interior do corpo humano. Os efeitos magnéticos associados são quantificados por meio de medidas elétricas de diferença de potencial (ddp). Essas medições são rotineiramente realizadas em clínicas de cardiologia e outras instituições médicas, proporcionando uma avaliação precisa das atividades magnéticas associadas aos processos biológicos internos.

O Magnetocardiograma, pioneiramente realizado em 1963, aproximadamente 90 anos após a invenção do Eletrocardiograma (ECG). O Magneto-oculograma (MOG), por sua vez, decorre de variações do campo magnético no globo ocular, afirma (Luiz, 2012).

A Ressonância Magnética Nuclear (RMN), paralela à Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE), diferencia-se pelo fato de as transições se relacionarem a níveis de energia nucleares, demandando, assim, campos mais magnéticos mais intensos do que os empregados na RPE.

A ressonância ocorre quando a frequência de precessão dos prótons é equiparada à frequência do campo magnético oscilante aplicado. Os prótons nos tecidos humanos sofrem ressonância quando sujeitos a campos magnéticos especificados, absorvendo uma quantidade determinada de energia, afirma (Luiz, 2012). Uma imagem do pescoço humano obtida por tomografia computadorizada (TC) é apresentada na Foto 1.

Foto 1: Imagem de cima do crânio realizada pela tomografia computadorizada



Fonte: O próprio autor, 2024.

2.6 ABORDAGEM DA SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

A supercondutividade é um fenômeno de grande relevância e complexidade, cuja introdução no ensino médio pode ser realizada de maneira contextualizada e didática. Este fenômeno pode ser explorado como uma extensão dos conceitos tradicionais de eletrodinâmica que os alunos já conhecem, como corrente elétrica, condução de eletricidade em materiais resistivos e diferença de potencial. A supercondutividade, caracterizada pela capacidade de certos materiais de conduzir eletricidade sem resistência alguma, apresenta-se como uma contrapartida a esse comportamento típico dos condutores convencionais. Esta propriedade não só desafia os princípios convencionais da condução elétrica, mas também oferece aplicações práticas notáveis, tornando-se uma área fascinante no campo da física e da tecnologia.

Diante deste contexto, este trabalho engloba uma revisão crítica da literatura, análise de pesquisas contidas em livros especializados sobre o tema supercondutividade, bem como uma revisão de estudos realizados por outros autores em artigos científicos, dissertações e publicações periódicas. A abordagem adotada visa identificar pontos de convergência, divergência e contribuições pertinentes presentes na literatura selecionada.

As fontes de literaturas escolhidas seguiram um padrão metodológico que permitiu considerar aspectos como o tema abordado, os objetivos da pesquisa, a metodologia empregada e os resultados obtidos. Isso possibilitou fornecer uma visão ampla e crítica do conhecimento histórico e atual sobre a supercondutividade, destacando sua relevância e as áreas onde novos avanços estão ocorrendo.

O trabalho *Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade*, intitulado por seus autores Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998 a), apresenta um estudo qualitativo utilizando como método a pesquisa bibliográfica. Os materiais utilizados são compostos por referências científicas relacionadas à supercondutividade, mecânica quântica e física do estado sólido. O trabalho realizou-se em etapas, onde foram analisados os conteúdos abordados no ensino médio, mapeadas lacunas nos conceitos de física moderna e feita uma proposta de atualização curricular.

Branício (2001) elabora uma abordagem didática conceitual para descrever a importância de suas aplicações na supercondutividade. O artigo traz as mudanças, as descobertas, as teorias e aplicações dos supercondutores, pode auxiliar não só meio científico, mais aos docentes de física do Ensino Médio, tema do artigo “Introdução à Supercondutividade, Suas Aplicações e a Mini-Revolução provocada pela Redescoberta do MgB_2 : Uma Abordagem Didática.”

Neste estudo, conduzido por Ostermann e Moreira (2001), é apresentada uma experiência de ensino-aprendizagem que aborda dois tópicos da Física Contemporânea: partículas elementares e supercondutividade, aplicadas em escolas de Nível Médio em Porto Alegre. A pesquisa tem uma duração de três anos, durante os quais foram realizadas etapas, incluindo a seleção dos tópicos, a elaboração de materiais didáticos, a capacitação de professores em formação inicial e a implementação desse conteúdo em sala de aula.

Lahera e Forteza (2006) destacam em sua obra os aspectos das áreas de ciências físicas no ensino fundamental e médio. Eles mostram as fundamentações de aprendizagem significativa de Ausubel, os enfoques construtivistas e aprendizagem como pesquisa. Apresentam modelos, esquemas e estratégias na didática da ciência e física. Os autores destacam conceitos físicos básicos como relevantes, pois, através deles, podem ser tratados por outros modelos de aprendizagem, sempre com intenção de construir o seu próprio aprendizado.

No estudo de Luiz (2012), descreve-se uma pesquisa de significativa relevância para o século XX, denominada “Aplicações dos Supercondutores na Tecnologia e na Medicina”. O referido trabalho destaca-se como uma contribuição importante para a revolução eletrônica do século passado, influenciada pelo aprimoramento da técnica de dopagem de materiais semicondutores, a invenção da junção Josephson e a criação do transistor. Uma ênfase notável do estudo recai sobre o refinamento de materiais supercondutores, especialmente aqueles com temperaturas críticas superiores a 100K. Essa revolução reconfigurou a percepção acerca dos materiais supercondutores e suas variadas aplicabilidades, abrangendo desde a esfera tecnológica até a medicina.

Souza (2012) aborda, em sua dissertação intitulada “Supercondutividade, um estudo sobre os seus 100 anos. Elementos para sua divulgação científica” a importância da supercondutividade ao longo dos 100 anos desde sua descoberta em 1911. O autor salienta que a teoria BCS foi criada para explicar a supercondutividade em materiais convencionais. Além disso, destaca-se a utilidade de objetos de aprendizagem na divulgação científica desses conceitos.

O artigo de Costa e Pavão (2012) realiza uma revisão abrangente da literatura científica, oferecendo uma análise ampla dos principais eventos relacionados à supercondutividade. O estudo aborda a descoberta do fenômeno, os materiais supercondutores, as teorias propostas para sua explicação e os avanços tecnológicos alcançados ao longo do tempo. A pesquisa é bem fundamentada, apresentando informações relevantes sobre os materiais, teorias propostas e protagonistas envolvidos nessa área de estudo.

O trabalho de Barbosa (2016), propõe a inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, fundamentada na Aprendizagem Baseada em Problema (ABP), visando um ensino de Física mais contextualizado. A pesquisa qualitativa, realizada com 38 alunos de uma escola pública em Manaus-AM, foi estruturada em três etapas: apresentação do tema e do problema central, aplicação de questionário para verificar conhecimentos prévios e abordagem de seis blocos de conteúdo relacionados à supercondutividade.

A pesquisa de Costa e Pavão (2012) também oferece subsídios valiosos para o desenvolvimento de materiais didáticos e a capacitação de professores no ensino médio. Este estudo pode auxiliar na elaboração de sequências didáticas sobre supercondutividade, que podem ser implementadas em escolas de nível médio, como no município de Tabatinga-AM. Além disso, a investigação pode auxiliar sobre a percepção dos

professores sobre o tema, pode fornecer importantes melhorias do recurso educacional, garantindo uma abordagem eficaz e contextualizada do ensino da supercondutividade.

Todos os trabalhos consultados desempenharam um papel fundamental na síntese das principais ideias dos pesquisadores, visando aprimorar a compreensão das obras utilizadas. Essas ações permitiram a adoção de um critério metodológico na seleção de fontes de pesquisa, que abrangem livros, artigos, revistas e dissertações, como delineado no Quadro 1.

Quadro 1: Passo Metodológico utilizados para escolha das obras consultadas

TÍTULO DO TRABALHO	METODOLOGIA		OBJETIVOS GERAL
	Tipo de pesquisa	Material & método	
Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade.	Bibliográfica. Pesquisa descritiva e qualitativa.	Pesquisa documental: Método dedutivo.	É direcionado aos professores de física do ensino médio que procuram abordar o tema da supercondutividade incluindo-o no conteúdo escolar, conceitos básicos de mecânica quântica e física de semicondutores
Ciências físicas no ensino fundamental e médio: modelos e exemplos	Bibliográfica. Descritiva e qualitativa	Pesquisa documental: Método	Desenvolver fundamentação teórica para distinguir a diferença da aprendizagem. Apresenta modelos, metodologia e estratégias de ensino.
Supercondutividade: um século de desafios e superação.	Bibliográfica. Descritiva e qualitativa	Pesquisa documental: Método	abordar o aspecto que engloba a descoberta do fenômeno e materiais supercondutores, as teorias propostas para sua explicação e os avanços tecnológicos alcançados ao longo do tempo.
Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio.	Bibliográfica. Descritiva e qualitativa	Pesquisa documental: Método	Propõe a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, utilizando Teoria de Transposição Didática e Aprendizagem Significativa para desenvolver uma sequência didática.
Supercondutividade no Ensino Médio: uma proposta fundamentada na aprendizagem baseada em problemas.	Bibliográfica. Descritiva, qualitativa e observacional.	Pesquisa documental: Método	Propõe-se a inserção da supercondutividade no Ensino Médio com base na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). No contexto educacional, esse tema da Física Contemporânea é relevante devido às suas diversas aplicações no cotidiano, destacando a importância de integrá-lo ao currículo de Física do Ensino Médio.

Fonte: O próprio autor, 2024

A análise dessas fontes revelou-se persistente ao longo da pesquisa pelo tema da supercondutividade. Nesse sentido, cabe aos professores e pesquisadores a responsabilidade de expandir esses horizontes por meio da produção e disseminação de artigos, dissertações e teses que abordem essa temática. Tal iniciativa contribuirá para enriquecer o conhecimento científico e promover avanços significativos na compreensão e aplicações da supercondutividade.

3 CAPÍTULO

3.1 METODOLOGIA

Neste tópico, detalharemos a estrutura e organização da metodologia empregada neste trabalho de pesquisa. Inicialmente, enfocaremos as fontes bibliográficas e obras de referência que serviram como ponto de partida para nossa empreitada de investigação. Em seguida, elucidaremos o tipo de pesquisa adotada, bem como o instrumento de coleta de dados utilizado para a obtenção das informações necessárias. Com o intuito de elucidar o contexto da condução da pesquisa, descreveremos uma descrição sobre o local de realização da mesma, bem como a delimitação da população-alvo e os critérios de seleção da amostra de estudo, aspectos fundamentais para a efetivação deste processo investigativo. Por fim, avançado, apresentaremos o cronograma de execução deste trabalho. A presente estrutura organizacional reflete, de maneira coerente, a abordagem metodológica adotada para condução desta pesquisa acadêmica.

3.1.1 Artigo e obras consultadas

Na construção deste estudo acadêmico, um conjunto significativo de fontes bibliográficas serviu como base central para fundamentar e orientar a pesquisa. Dentro deste grupo de referências, merecem destacar os seguintes autores: Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998b); Dias (2000); Branício (2001); Ostermann e Pureur (2005); Lahera e Forteza (2006); Souza (2012); Luiz (2012); Costa e Pavão (2012); Pereira e Félix (2013) e (Barbosa (2016), conforme discriminado no Quadro 2 deste trabalho.

Quadro 2: Artigos e obras consultadas para leitura integral

Autor(es)	Título do trabalho	Tipo de obra	Ano de publicação
Ostermann; Ferreira; Cavalcante.	Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade.	Dissertação	1998
Dias;	Supercondutividade: um tema aberto	Artigo	2000
Branício	Introdução à supercondutividade, Suas Aplicações e a Mini revolução provocada pela Redescoberta do MgB ₂ : Uma Abordagem Didática.	Artigo	2001
Ostermann; Pureur	Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio	Artigo	2005
Lahera; Forteza.	Ciências físicas no ensino fundamental e médio: modelos e exemplos.	Livro	2006
Souza.	Supercondutividade, um estudo sobre os 100 anos. Elementos para sua divulgação científica.	Dissertação	2012

Luiz.	Aplicações dos Supercondutores na Tecnologia e na Medicina.	Livro	2012
Costa; Pavão.	Supercondutividade: um século de desafios e superação.	Artigo	2012
Barbosa	Supercondutividade no Ensino Médio: uma proposta fundamentada na aprendizagem baseada em problemas.	Artigo	2016

Fonte: O próprio autor, 2024.

Os autores em destaque desempenharam um papel fundamental ao enriquecer a presente pesquisa com suas teorias, dados empíricos e abordagem metodológicas. Suas valiosas contribuições permitiram uma investigação ampla e sólida sobre o tema em análise.

Diante disso, a realização do levantamento bibliográfico adotou uma metodologia criteriosa, utilizando-se de plataformas de pesquisa reconhecidas por sua capacidade de agregar um vasto acervo de periódicos científicos. Dentre essas, destacam-se o SciELO e o Google Acadêmico. O Google acadêmico é amplamente reconhecido por oferece acesso a uma gama de artigos e publicações relevantes. O SciELO, em particular, sobressai-se pela diversidade de títulos que abrangem diversas áreas do conhecimento, desempenhando um papel fundamental ao sustentar a base conceitual desse estudo. A combinação dessas fontes permitiu a construção de um referencial teórico robusto, essencial para a fundamentação e desenvolvimento da pesquisa.

A seleção criteriosa de recursos e plataformas, tantas digitais quanto impressas, evidencia uma metodologia sólida e meticulosa na busca e seleção de fontes de informação. Esse rigor metodológico assegura a confiabilidade e a credibilidade inerentes ao presente trabalho acadêmico.

3.1.2 Tipo de Pesquisa e Instrumentos de Coleta de Dados

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, notadamente caracterizada pela realização de uma pesquisa bibliográfica. Conforme descrito por Gil (2008, p. 29), “a pesquisa bibliográfica é elaborada com base no material já publicado [...] esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de evento científicos”. O uso dessas fontes bibliográficas proporcionou um sólido alicerce para a investigação empreendida, permitindo a contextualização, revisão

e análise crítica das teorias, conceitos e estudos previamente realizados sobre o tema em questão.

Além da abordagem qualitativa e da pesquisa bibliográfica, o presente trabalho também se valeu de um enfoque de pesquisa descritiva, com ênfase na análise de opiniões e na formações científicas de professores e alunos no ambiente escolar. De acordo com GIL (2002, p. 42), a pesquisa descritiva tem como objetivo “a descrição das características de determinada população ou fenômeno [...] o estabelecimento de relações entre variáveis”.

A combinação das abordagens qualitativas, juntamente com a pesquisa bibliográfica e descritiva, permitiu uma análise detalhada e ampla do fenômeno em estudo, proporcionando uma compreensão profunda das experiências e percepção dos alunos no ambiente escolar. Essa abordagem metodológica diversificada revelou-se fundamental para à aplicação de uma sequência didática sobre supercondutividade, adaptada para o ensino médio, bem como para a investigação das percepção dos professores do município de Tabatinga-Am em relação a esse tema.

O presente estudo recorreu a questionários e atividades de verificação da aprendizagem como instrumentos de coleta de dados, empregando-os em duas abordagens distintas: uma destinada aos professores e outra aos alunos.

Os questionários iniciais foram aplicados aos professores com o propósito de coletar e sondar as opiniões e percepções de nove docentes de física que ministram aulas nas escolas estaduais de ensino localizadas no município de Tabatinga-AM. Esses questionários foram concebidos para analisar as indagações dos educadores e viabilizar a estratégia pedagógica para ensinar aos alunos do ensino médio, introduzindo uma sequência didática com o tema supercondutividade.

O instrumento de coleta de dados destinado aos professores foi composto por dois questionários: o “Questionário Diagnóstico para Professores Pesquisados” (QDPP) e o “Questionário Prático Pedagógico” (QPP).

O QDPP teve como objetivo reunir informações sobre a formação acadêmica, a instituição de ensino na qual os professores foram formados, a experiência profissional e as primeiras impressões dos docentes participantes acerca do tema supercondutividade. Já o QPP visou coletar dados relacionados à metodologia pedagógica adotada pelos professores em suas aulas, com ênfase na possível introdução do tema em questão.

Ambos os questionários, o QDPP e QPP, estão anexados a este estudo como instrumentos essenciais de coleta de dados, visando avaliar tanto a implementação da sequência didática quanto a concepção dos professores envolvidos.

Em relação ao instrumento de coleta de dados dos alunos, foram utilizadas atividades de verificação da aprendizagem, categorizadas de acordo com uma escala composta por três padrões de resposta, conforme definido por Rocha et al., (2019). As questões foram classificadas segundo os seguintes critérios:

1ª Resposta correta: o aluno respondeu às questões de maneira precisa, conseguindo relacionar e explicar os conceitos e fenômenos físicos envolvidos na atividade.

2ª Resposta confusa: o aluno respondeu parcialmente às questões, apresentando algum comentário relacionado aos conceitos envolvidos. No entanto, sua resposta foi desordenada e carente de objetividade

3ª Resposta incorreta: o aluno não respondeu adequadamente às questões, e quando o fez, seus comentários não apresentavam relação com o assunto abordado.

É pertinente mencionar que, segundo a classificação proposta por Marconi e Lakatos (2003), as perguntas contidas nos questionários utilizados se enquadram em:

Abertas: também chamadas de livres ou não limitadas, são as que permitem ao informante responder livremente, usando linguagem própria e emitir opiniões;
 Fechada: também denominadas limitadas ou de alternativas fixas, são aquelas que o informante escolhe sua resposta entre duas ou mais opções: sim e não;
 Múltipla Escolha: são perguntas fechadas, mas que apresentam uma série de possíveis respostas, abrangendo várias facetas do mesmo assunto (Marconi e Lakatos, 2003, p. 204 e 206).

A utilização dos questionários neste estudo viabilizou uma coleta de dados sistemática, propiciando a avaliação das percepções dos professores em relação a sequência didática para a introdução do tema supercondutividade no ensino médio.

A seleção dos estudantes para análise dos dados nas atividades de verificação da aprendizagem baseou-se na participação durante a implementação da sequência didática na sala de aula. Essas informações seguiram três critérios:

1º critério: a primeira resposta de cada pergunta foi atribuída às características dos alunos assíduos e participativos, que eram frequentes e participavam voluntariamente das atividades sem precisar que o docente incentivasse.

2º critério: a segunda resposta foi destinada aos alunos participativos, que colaboraram nas atividades, embora necessitavam ser incentivados pelo professor.

3º critério: a terceira resposta foi associada aos alunos não participativos ou dispersos, que não se envolviam voluntariamente, faltavam frequentemente e tinham dificuldades em entregar as atividades realizadas em sala de aula.

3.1.3 Local da Pesquisa e Público Alvo

O presente trabalho realizou-se em uma escola pública estadual situada na região da Tríplice Fronteira, no município de Tabatinga-AM. A escolha dessa localidade ocorreu de maneira aleatória. A designação “Tríplice Fronteira” se deve à sua localização estratégica, na confluência dos territórios do Brasil, Colômbia e Peru.

Tabatinga-AM, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, figura como o sétimo município mais populoso na região Norte, com uma população de 66.764 habitantes e um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,616. No âmbito educacional, especialmente no que tange aos anos finais do ensino médio, o município apresentou um Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) de 4.6 no ano de 2022.

Figura 10: Localização do município de Tabatinga, no estado do Amazonas, é estrategicamente situada nas fronteiras entre o Brasil, a Colômbia e o Peru.



Fonte: PORTAL, 2020

Os participantes deste estudo foram selecionados de acordo com critérios de inclusão, abrangendo alunos regulares do ensino médio. A seleção dos participantes seguiu uma abordagem aleatória ou por conveniência, considerando as instituições de ensino que colaboraram com a pesquisa.

A amostra de pesquisa foi composta por uma turma de 30 alunos do 3º ano do ensino médio, pertencentes ao turno matutino, com idades variando entre 14 e 19 anos. No Quadro 3, cada participante da pesquisa é individualmente identificado e caracterizado de acordo com sua participação no estudo.

Quadro 3: Identificação e característica dos alunos na pesquisa

ALUNOS	CARACTERÍSTICA	ALUNOS	CARACTERÍSTICA
A ₁	Assíduo e participativo	A ₁₆	Disperso e não participativo
A ₂	Assídua e participativa	A ₁₇	Assídua
A ₃	Assíduo e participativo	A ₁₈	Participativa
A ₄	Assídua	A ₁₉	Participativo
A ₅	Assídua e participativa	A ₂₀	Assíduo
A ₆	Participativo	A ₂₁	Assíduo e participativo
A ₇	Participativa	A ₂₂	Não participativo
A ₈	Participativa	A ₂₃	Não participativo
A ₉	Dispersa e não participativa	A ₂₄	Participativa
A ₁₀	Não assíduo	A ₂₅	Assíduo e participativo
A ₁₁	Participativa	A ₂₆	Não participativo
A ₁₂	Participativa	A ₂₇	Participativa
A ₁₃	Assíduo e participativo	A ₂₈	Participativa
A ₁₄	Assídua e participativa	A ₂₉	Assídua e participativa
A ₁₅	Não participativo	A ₃₀	Assídua e participativa

Fonte: Adaptado do trabalho de Barbosa, 2016

3.1.4 Cronograma de Execução da Pesquisa

No Quadro 4 estão detalhados o cronograma de execução e os procedimentos adotados ao longo da condução das atividades de pesquisa. Este quadro oferece uma visão sistemática e organizada das etapas e dos prazos estabelecidos para a realização da pesquisa em questão, proporcionando uma estrutura eficaz para o acompanhamento e avaliação do progresso do estudo.

Quadro 4: Cronograma de execução da pesquisa

ATIVIDADES		1º SEMESTRE					2º SEMESTRE						
Nº	MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Escolha do tema de pesquisa.										X		
2	Definição dos Objetivos.										X	X	X
3	Levantamento do referencial teórico.											X	X
Nº	ATIVIDADES	1º SEMESTRE					2º SEMESTRE						
4	Levantamento do referencial teórico.	X	X	X	X	X							
5	Escrita do projeto	X	X	X	X	X							
6	Qualificação						X						
7	Início da escrita da Dissertação						X	X	X	X	X	X	X
8	Aplicação da SD							X					
9	Análises e Interpretação dos dados								X	X	X	X	X
Nº	ATIVIDADES	1º SEMESTRE					2º SEMESTRE						
10	Revisão da escrita da dissertação					X	X	X	X	X	X		
11	Entrega da dissertação											X	

Fonte: O próprio autor, 2024

3.2 METODOLOGIA DE ENSINO

Nesta seção, abordaremos a teoria da aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, configurando-a como uma metodologia de ensino. Em seguida, procederemos à descrição dos conteúdos e objetivos adotados nas aulas realizadas.

Subsequentemente, empregaremos atividades avaliativas como instrumentos de análise das concepções, tanto dos docentes quanto dos discentes, visando à obtenção de respostas para a apresentação dos objetivos preestabelecidos no âmbito do estudo.

Posteriormente, desenvolveu-se um esquema metodológico que direcionou todo o processo investigativo. Em sequência, elaborou-se uma síntese das etapas primordiais do Produto Educacional. Por fim, abordou-se a implementação da sequência didática em sala de aula.

3.2.1 Teoria de Aprendizagem

A teoria da aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, é um modelo educacional que se concentra na maneira como os alunos adquirem e incorporam o conhecimento em suas estruturas cognitivas preexistentes. Esta abordagem postula que a aprendizagem é mais eficaz quando os novos conceitos e informações estão relacionados de forma significativa com o conhecimento que o aluno já possui. Neste contexto, este trabalho visou aplicar e explorar a teoria da aprendizagem no contexto da supercondutividade no ensino de física, introduzindo o conceito de supercondutividade.

Seguindo a teoria de Ausubel, a sequência didática desenvolvida neste trabalho enfocou como os alunos adquiriram esse conhecimento e como o incorporaram em suas estruturas cognitivas preexistentes. De acordo com Rabelo (1998), Ausubel define a aprendizagem significativa como:

Um desenvolvimento de uma nova informação relacionado a um aspecto relevante, já existente, da estrutura de conhecimento, de um indivíduo. Portanto, o interesse de sua teoria é na estrutura do conhecimento tendo por base as organizações conceituais já existentes que funcionam como estrutura de ancoradouro e acolhimento de novas ideias (Rabelo, 1998, p. 61).

Essa aprendizagem incorporada de novas informações concentra-se na organização conceitual preexistente como uma âncora para a assimilação de novas ideias.

O ensino do conceito de supercondutividade foi aplicado integrando-se aos princípios básicos da eletricidade, condutividade e resistência elétrica, presentes no conhecimento prévio dos alunos. Esses princípios serviram como uma base sólida de conhecimentos preexistentes.

De acordo com Moreira (1999), o conhecimento prévio é denominado de subsunçor e desempenha um papel fundamental na aprendizagem significativa, uma vez que permite a criação de estruturas cognitivas para a assimilação de informações novas. Os subsunçores são construídos por meio de aprendizagem mecânica, que organiza conceitos para estabelecer estruturas cognitivas para a formulação de informações preexistências.

Aplicação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel ao introduzir o conceito de supercondutividade depende de duas condições, conforme descrito por Moreira

(2012): (i) o conteúdo de estudo deve ser potencialmente significativo e (ii) o aluno deve demonstrar uma predisposição para aprender determinado assunto.

A primeira condição requer que o conteúdo tenha significado lógico para o aluno, caso contrário, a aprendizagem será mecânica e automática. A segunda condição exige que o aluno possua uma estrutura de conhecimento relevante que possa ser relacionada ao seu conhecimento prévio de forma não-arbitrária e não literal.

Para tornar a aprendizagem significativa, foi necessário relacionar os fenômenos da supercondutividade a suas aplicações práticas, tais como avanços na tecnologia elétrica, transporte e medicina. Isso permitiu que os estudantes percebessem a importância do conceito no mundo real.

Ausubel também distinguiu três tipos de aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (1999) e Forteza e Lahera (2006) são: representacional, conceitual e proporcional. A aprendizagem representacional ocorre quando o aluno já possui uma ideia relacionada ao conteúdo e os símbolos desempenham um papel significativo na assimilação. Na aprendizagem conceitual, os conceitos genéricos ou representações imaginárias relacionam-se aos símbolos. A aprendizagem proporcional envolve a expressão verbal de novas ideias em sentenças.

Portanto, a aplicação da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel na introdução do conceito de supercondutividade envolveu a criação de uma conexão substantiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio dos estudantes. Isso ocorreu por meio da significatividade do conteúdo, da predisposição dos alunos para aprender e da relevância das aplicações práticas. Tal abordagem promoveu uma aprendizagem mais eficaz e significativa no ensino de física no ensino médio regular.

3.2.2 Conteúdos, objetivos e atividades avaliativas

Os conteúdos abordados neste trabalho foram organizados em V seções, com objetivo de oferecer uma abordagem conceitual clara e progressiva dos temas propostos, garantindo a coerência entre objetivos educacionais e estratégias pedagógicas. As metas definidas foram claras e mensuráveis, direcionando a elaboração de planos de aula, materiais didáticos e método de avaliação. A implementação dessas ações revelou-se

essencial para assegurarem um ensino direcionado e eficaz, proporcionando aos alunos uma base para processos avaliativos e retorno construtivo.

Seção I: Introdução aos Conceitos Básicos de Eletricidade – esta seção aborda os conceitos fundamentais de eletricidade, como carga elétrica, corrente elétrica, tensão, resistência elétrica, circuitos elétricos, além de uma breve introdução à supercondutividade.

Seção II: Relação dos Conceitos de Supercondutores com os Conceitos Básicos de eletricidade - dividida em duas partes:

i) Propriedade dos Materiais Condutores e Isolantes – são apresentados conceitos como condutividade, resistividade e resistência elétrica, características dos materiais condutores, isolantes e supercondutores, além de normas de segurança em laboratórios.

ii) Atividades Experimentais em Laboratório - envolve experimentos com circuitos elétricos simples, utilizando materiais condutores e isolantes.

A Seção III: Conceito de Supercondutividade x Concepção dos Professores – Também dividida em duas partes:

i) Conceito de Supercondutividade – explanação sobre a descoberta, características e diferenças entre os materiais condutores e supercondutores.

ii) Opinião dos professores – explora tanto as opiniões sobre a relevância do tema e sua interação ao currículo, quando as dúvidas em relação à complexidade do conteúdo pré-requisitos, recursos didáticos e sua contextualização.

Seção IV: Aplicações Práticas da Supercondutividade – focada em despertar a curiosidade dos alunos, essa seção explora as principais aplicações da supercondutividade no domínio da tecnologia elétrica, transportes, dispositivos em escala reduzida e medicina.

Seção V: Avaliação de Verificação Final (AVAF) – consiste em uma avaliação dos conteúdos discutidos nas seis aulas anteriormente da sequência didática, visando consolidar o aprendizado.

Objetivos Gerais e Habilidades do Estudo

O presente estudo alinha os conteúdos abordados à área de Ciências Natureza e suas Tecnologias, conforme a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), assegurando

uma abordagem pedagógica coerente com os princípios. As seções I e II convergem para um objetivo comum, proporcionando uma compreensão aprofundada dos fenômenos elétricos e das propriedades dos materiais condutores.

Objetivos Geral - analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos: propor ações individuais e coletivas que minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global, incluindo a compreensão do conceito de supercondutividade.

Habilidades da BNCC

1º - (EM13CNT201): Introduzir a história da eletricidade, enfocando sua evolução e importância na sociedade, abordar os conceitos de corrente elétrica, circuito elétrico e carga elétrica, introduzindo o conceito de supercondutividade.

2º - (EM13CNT301): Pesquisar e utilizar diferentes fontes de informação para introduzir o tema das propriedades dos materiais condutores, relacionando com a supercondutividade.

A Seção III: Supercondutividade x Percepções dos Professores - objetivo geral - compreender o conceito de supercondutividade e relacioná-lo aos princípios, atividades, práticas e teorias, visando o desenvolvimento da compreensão dos fenômenos e suas aplicações.

Habilidades da BNCC:

3º - (EM13CNT101): Analisar e representar mudanças em sistemas que utilizam matéria, energia e movimento, promovendo comportamento em sistemas cotidianos e processos produtivos sustentáveis.

A Seção IV: Aplicações Práticas dos Supercondutividade - os objetivos gerais: investigar e avaliar as aplicações do conhecimento científico e tecnológico no mundo, propondo soluções para demandas locais, regionais e globais.

Habilidades da BNCC:

4º - (EM13CNT104) - Utilizar conceitos básicos de eletrodinâmica para explicar os fenômenos relacionados à supercondutividade, aplicando-os na resolução de situações-problema e na construção de tecnologias.

4.1º - (EM13CNT106) - Propor a avaliação de tecnologias e soluções para demandas relacionadas à geração, transporte, distribuição e o consumo de energia elétrica.

A Seção V: Avaliação de Verificação Aprendizagem Final (AVAF) - os objetivos gerais: avaliar o impacto do processo de ensino aprendizagem dos estudantes do ensino médio regular, mediante a implementação de uma sequência didática voltada para o tema supercondutividade.

Habilidades Especificas

5° - Avaliar os alunos do 3° ano do ensino médio regular através de uma sequência didática e uma Avaliação de Verificação da Aprendizagem Final.

A estrutura metodológica adotada neste item caracterizou-se pela abordagem gradual dos conteúdos, proporcionando uma introdução progressiva aos conceitos fundamentais relacionados à eletricidade, ampliando desde os princípios iniciais até as aplicações práticas, com ênfase no desenvolvimento da compreensão dos fenômenos e tecnologia relacionadas à supercondutividade. Cada parte foi conduzida para fornecer uma base concreta de conhecimento, seguindo padrões de evolução ao longo dos assuntos trabalhados.

Atividades Avaliativas

Na condução da sequência didática e no processo de avaliação das atividades de aprendizagem dos estudantes, foram utilizados seis tipos distintos de avaliações, com a avaliação inicial e a avaliação final desempenharam funções específicas no processo avaliativo. A avaliação inicial visou verificar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre os subsunçores utilizando como base para introduzir novos conhecimentos. A avaliação final, por sua vez, teve como propósito aferir o nível de aprendizagem adquirido ao longo da aplicação da sequência didática.

As atividades avaliativas e seus respectivos objetivos específicos foram divididos em cinco etapas.

1° Etapa – Introdução dos Conhecimentos Prévios e Avaliação de Verificação de Aprendizagem Diagnóstica (AVAD):

❖ Objetivo: Avaliar os conhecimentos prévios dos discentes sobre introdução dos subsunçores inseridos no conteúdo introdutório sobre a Eletricidade Básica.

2° Etapa - Atividade de Pesquisa e Aprendizagem (APA) - Dividida em três momentos:

Primeiro momento – APA:

❖ Objetivo 1: Avaliar a capacidade de pesquisa dos alunos em diferentes fontes de informações sobre os tipos de materiais condutores e suas diferenças.

❖ Objetivo 2: Introduzir de forma contextualizada o conhecimento sobre supercondutividade e sua importância no dia a dia.

Segundo momento – AVA (Atividade de Verificação da Aprendizagem):

❖ Objetivo: Conhecer as normas e recomendações de segurança nos laboratórios, principais Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e coletivos, e diferentes tipos de extintores e suas aplicações.

Terceiro momento – APE (Atividade Prática Experimental):

❖ Objetivos: Avaliar a aprendizagem adquirida após atividades experimentais sobre condutividade, isolantes, condutores (circuito elétrico simples) e tipos de resistência elétrica (associação de resistores em série e paralelo).

3º Etapa - Atividade de Mapa Conceitual (AMC): Realizada em Três Momentos:

Primeiro momento: Dividiu-se a turma em seis grupos de cinco alunos.

Segundo momento: Apresentou-se temáticas previamente exploradas pelos alunos relacionadas a tema explorados anteriormente.

❖ Objetivo: Elaborar e apresentar mapas conceituais que incluam os subsunçores e os conceitos de supercondutividade e sua principal característica, a ausência de resistência elétrica.

Terceiro momento:

❖ Objetivo: aplicação do questionário prático pedagógico aos professores investigados.

4º Etapa - Atividade de Discussão em Grupos (ADG):

❖ Objetivo: Realizar uma atividade pedagógica baseada em rodas de conversas, ouvindo as opiniões dos discentes e fomentando uma reflexão conjunta sobre a prática metodológica adotada em sala de aula.

A quinta etapa desempenhou a função de avaliar o desempenho nas avaliações realizadas pelos discentes.

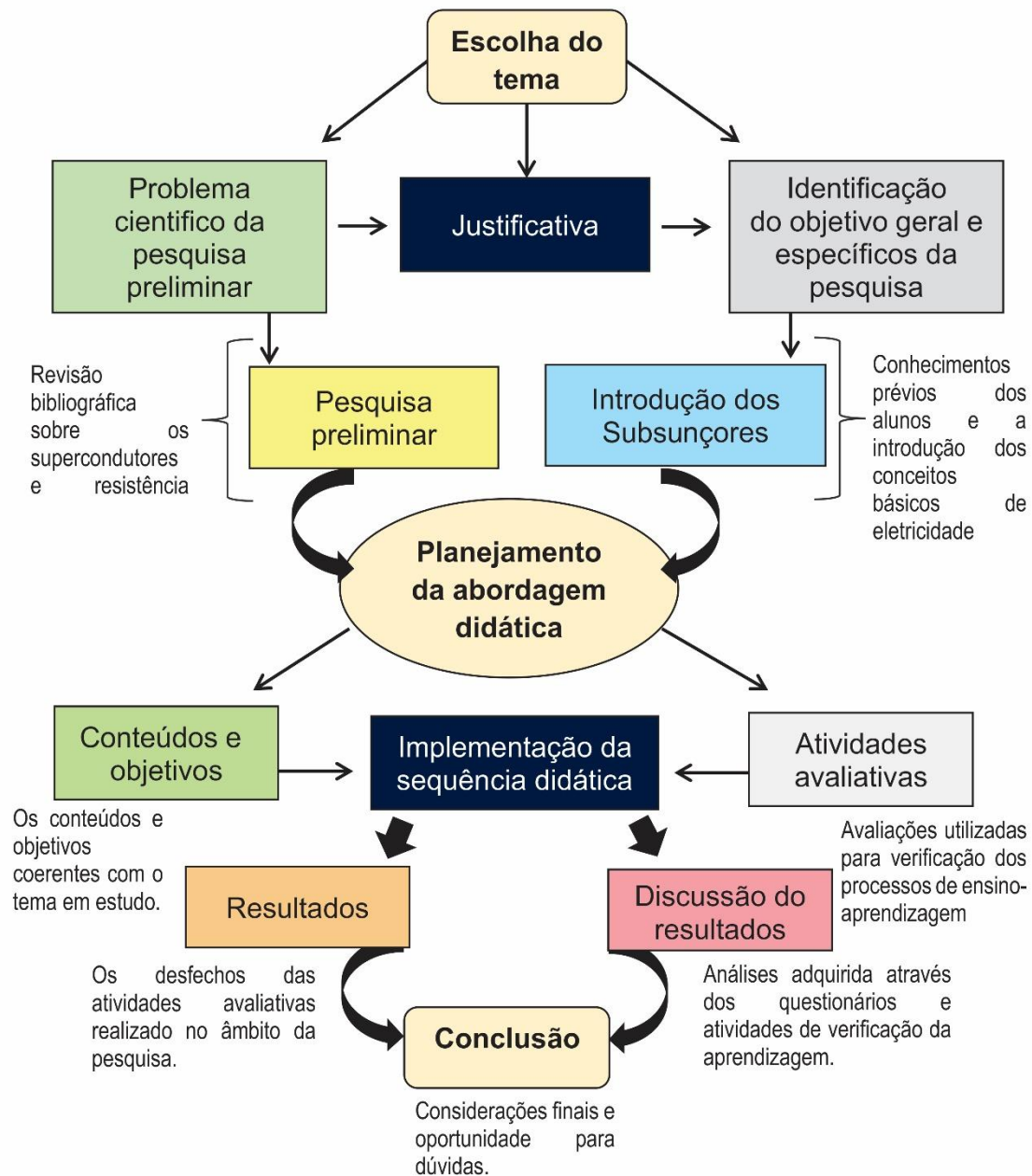
5º Etapa - Atividade Verificação Aprendizagem final (AVAF):

❖ Objetivo: avaliar a compreensão do desempenho dos estudantes ao longo da Sequência Didática, oferecendo um entendimento perspicaz da situação fenômeno envolvido de forma significativa e eficácia do método de ensino adotado.

Estas atividades avaliativas proporcionaram uma compreensão ampla do conhecimento dos estudantes ao longo da sequência didática, oferecendo uma visão clara da situação-problema e do fenômeno envolvido. Todas as avaliações mencionadas estão disponíveis como apêndices, identificados como I, II, III, IV, V e VI.

3.2.3 Esquema Metodológico

Figura 11: Esquema Metodológico do Trabalho.



Fonte: O próprio autor, 2024

3.2.4 Resumo das Etapas da Sequência Didática

A sequência didática está estruturada em cinco seções. Esta fase inaugura a síntese da implementação do produto educacional, abordando os conteúdos, objetivos e atividades avaliativas ao longo da sequência didática.

A Seção I focaliza-se na fase de iniciação da Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica - direcionada à análise dos conhecimentos preexistentes dos discentes em relação à Introdução aos Conceitos Básicos de Eletricidade. Esta fase compreende a Aula 1.0 do Produto Educacional.

A Seção II propõe a Relação dos Conceitos de Supercondutividade com conceitos básicos de eletricidade - dividida em duas partes: Propriedades dos Materiais Condutores e Isolantes e os procedimentos e precauções adotadas nos laboratórios de ciências ou física, esta fase compreende as Aulas 2.0 e 2.1 da Sequência Didática.

A Seção III está estruturada em duas partes principais – a primeira parte aborda os conceitos fundamentais de supercondutividade: a descoberta, as características inerentes aos materiais condutores e as diferenças essenciais entre materiais condutores e supercondutores. A segunda parte foca na principais concepções metodológicas dos docentes para garantir uma aula de qualidade sobre supercondutores. Nela está compreendida a Aula 3.0 da Sequência Didática.

A Seção IV concentrou-se em instigar o interesse e curiosidade dos alunos quanto às aplicações dos supercondutores nos domínios da tecnologia elétrica, transporte, escala reduzida e medicina. Nela está compreendida a Aula 4.0.

A Seção V da Avaliação de Verificação da Aprendizagem Final (AVAF) - todos os conteúdos foram trabalhados durante a aplicação das seis das sete aulas aos participantes da pesquisa.

O Quadro 5 representa o resumo das cinco seções das sete aulas do processo de sequência didática.

Quadro 5: Resumo das etapas da sequência didática

SUPERCONDUTIVIDADE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA INTRODUÇÃO DO TEMA NO ENSINO MÉDIO E A PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES DO MUNICÍPIO DE TABATINGA-AM.			
SEÇÃO I – INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ELETRICIDADE			
Tempo de Sequência Didática – 02 aulas de 48 minutos			
ETAPA	CONTEÚDO	HABILIDADES	ATIVIDADE AVALIATIVA
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga elétrica; ▪ Corrente elétrica; ▪ Tensão; ▪ Resistência elétrica; ▪ Circuitos elétricos; ▪ Breve explanação sobre o conceito de supercondutividade. 	(EM13CNT201): Introduzir a história da eletricidade, enfocando sua evolução e importância na sociedade, abordar os conceitos de corrente elétrica, circuito elétrico e carga elétrica, introduzindo o conceito de supercondutividade.	AVAD – Avaliação de Verificação da aprendizagem Diagnóstica.
SEÇÃO II – RELAÇÃO DOS CONCEITOS: SUPERCONDUTIVIDADE X ELETRICIDADES			
Tempo de Sequência Didática – 02 aulas de 48 minutos			
ETAPA	CONTEÚDOS	HABILIDADES	ATIVIDADE AVALIATIVA
2	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Propriedade dos materiais condutores e isolantes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Condutividade elétrica; resistividade e resistência elétrica. ▪ Características dos materiais: condutores, isolantes e supercondutores. ▪ Diferença entre materiais condutores e isolantes. ▪ Normas e recomendações de segurança em laboratório. ▪ Principais emergências. 	(EM13CNT301): Pesquisar e utilizar diferentes fontes de informação para introduzir o tema das propriedades dos materiais condutores, relacionando com a supercondutividade.	APA – Atividade de Pesquisa e Aprendizagem; AVA – Atividade de Verificação de Aprendizagem;
	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Atividades Experimental em laboratório: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Circuito elétrico simples; ▪ Materiais condutores e isolantes. 	(EM13CNT101) Analisar e representar mudanças em sistemas que utilizam matéria, energia e movimento, promovendo comportamento em situações cotidianas e processos produtivos sustentáveis.	APE – Atividade Prática Experimental.

SEÇÃO III – SUPERCONDUTIVIDADE X PERCEPÇÕES DOS PROFESSORES			
Tempo de Sequência Didática – 02 aulas de 48 minutos			
ETAPA	CONTEÚDOS	HABILIDADES	ATIVIDADE AVALIATIVA
3	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Supercondutividade – Conceito: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quem descobriu pela primeira vez? ▪ Característica dos materiais supercondutores; ▪ Diferença entre os materiais condutores e supercondutores. 	(EM13CNT101) Analisar e representar mudanças em sistemas que utilizam matéria, energia e movimento, promovendo comportamento em situações cotidianas e processos produtivos sustentáveis.	AMC – Atividade de Mapa Conceitual
	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Concepções dos professores: divide-se em duas partes. ❖ As opiniões e as dúvidas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ As opiniões: relevância do tema, a integração ao currículo e motivação aos alunos; ▪ As dúvidas: complexidade do conteúdo, pré-requisitos necessários, recursos didáticos e contextualização e relevância. 	(EM13CNT104) - Utilizar conceitos básicos de eletrodinâmica para explicar os fenômenos relacionados à supercondutividade, aplicando-os na resolução de situações-problema e na construção de tecnologias.	QPP - Questionário Prática Pedagógica.
SEÇÃO IV – PRINCIPAIS APLICAÇÕES PRÁTICAS DA SUPERCONDUTIVIDADE			
Tempo de Sequência Didática – 01 aulas de 48 minutos			
ETAPA	CONTEÚDOS	HABILIDADES	ATIVIDADE AVALIATIVA
4	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Avaliação da sequência didática: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicações dos supercondutores nos domínios da tecnologia elétrica; ▪ Aplicações no transporte; ▪ Aplicações em escala reduzida; ▪ Aplicações na medicina. 	(EM13CNT104) - Utilizar com conceitos básicos da eletrodinâmica, para explicar os fenômenos relacionados à supercondutividade e o conceito de resistência nula, aplicando-os na resolução de situações-problema e na construção de tecnologias. (EM13CNT106) - Propor a avaliação de tecnologias e soluções para demandas relacionadas à geração, transporte, distribuição e o consumo de energia elétrica.	(ADG) - Atividade de Discussão em Grupos.
SEÇÃO V - AVALIAÇÃO DE VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM FINAL			

Tempo de Sequência Didática – 01 aulas de 48 minutos			
ETAPA	CONTEÚDOS	HABILIDADES	ATIVIDADE AVALIATIVA
5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conceitos Básicos de Eletricidade; ▪ Propriedades dos materiais condutores e isolantes; ▪ Condutividade e Resistência Elétrica - Prática Experimental; ▪ Supercondutividade – Conceitos; ▪ As Principais Aplicações Práticas da Supercondutividade. 	Avaliar os alunos do 3º ano do ensino médio regular através de uma sequência didática e uma Avaliação de Verificação da Aprendizagem Final.	AVAF – Atividade de Verificação da Aprendizagem Final

Fonte: Adaptado do trabalho de Reis et al, 2019.

3.2.5 Etapas de Implementação da Sequência Didática em Sala de Aula

Este subitem tem como propósito relatar a implementação da Sequência Didática desenvolvida para introduzir o conceito de supercondutividade e a percepção dos professores que atuam com os alunos do ensino médio regular. A proposta executou-se em uma instituição pública estadual, que atende alunos dos anos finais do ensino médio na cidade de Tabatinga-AM. A implementação está estruturada em cinco seções principais, detalhadas no texto.

A aplicação iniciou-se no dia 8 de agosto e estendeu-se até 30 do mesmo mês, ocorrendo no período matutino da escola. O processo envolveu sete horas-aula, cada uma com duração de 48 minutos. A turma investigada, especificamente, é do 3º ano I, foi selecionada como parte de um conjunto de metodologias planejadas para avaliar o desempenho dos participantes na execução da sequência didática.

Os materiais de apoio, que incluem textos, encontram-se disponíveis para download no anexo B, enquanto os slides estão arquivados no anexo C desta pesquisa. A seleção específica da turma e a definição do período de implementação foram estrategicamente planejadas para proporcionar uma avaliação introdutória mais precisa dos resultados obtidos com a aplicação da Sequência Didática.

As abordagens pedagógicas utilizadas visam facilitar a compreensão e avaliação do impacto da Sequência Didática na turma específica selecionada. Ao incluir textos, slides e vídeos aulas nos anexos, buscou-se oferecer uma documentação auxiliar para

referência futura, possibilitando uma análise crítica e uma compreensão mais ampla do processo de implementação e seus resultados. A delimitação cuidadosa do período de implementação e a escolha específica da turma visaram aprimorar a validade interna da pesquisa, contribuindo para uma investigação precisa dos efeitos da abordagem pedagógica proposta.

SEÇÃO I – INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ELETRICIDADE.

Aula 1 – Período: matutino - Horário: 8h: 36min às 9h:24min - Introdução dos Conceitos Básicos de Eletricidade

A primeira aula da sequência didática transcorreu em 8 de agosto de 2023, durante o período matutino de uma terça-feira. A entrada na sala de aula ocorreu de maneira conjunta com o docente designado como “professor titular”. Neste contexto, o mesmo procedeu à apresentação formal dos estudantes, seguida pela exposição dos objetivos do trabalho a ser desenvolvido com a referida turma.

Dado que as instalações das salas de aula na escola não dispunham de projetor, os participantes foram conduzidos para a sala de mídia, destinada a palestras e conferências virtuais por meios de plataformas. A exposição inaugural, planejada para as sete aulas ocorridas do mês de agosto, foi estruturada em dois momentos:

1º - Diagnóstico dos Conhecimentos Prévios: Nesta etapa, uma revisão diagnóstica foi conduzida mediante perguntas e respostas, apoiada por recursos visuais Datashow, a fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos relacionados aos Conceitos Básicos de Eletricidade.

A presente exposição iniciou com uma introdução destinada a captar a atenção de todos os discentes, apresentando, inicialmente, a relevância contemporânea da Eletricidade. Em seguida, procedeu-se à abordagem conceitual da carga elétrica, explorando suas propriedades fundamentais.

A discussão subsequente focalizou-se no conceito de tensão elétrica, seguido pela análise da diferença de potencial, culminando na definição precisa do fenômeno da corrente elétrica. A Foto 2 exemplifica a explicação do professor sobre os Conceitos Básicos da Eletricidade.

Foto 2: Explicação da aula sobre os Conceitos Básicos da Eletricidade



Fonte: O Próprio autor, 2024.

Posteriormente, direcionou-se a atenção para o conceito de resistência elétrica, elucidando sua capacidade intrínseca de oferecer resistência ao fluxo de corrente em materiais condutores, contribuindo assim, para a compreensão dos elementos-chave envolvidos na geração de energia elétrica. Por fim, uma breve introdução à supercondutividade é uma das suas características, a de resistência elétrica nula. Esta abordagem sistemática proporcionou-se uma base conceitual sólida, destacando a interconexão essencial entre os princípios fundamentais da eletricidade.

Dentre as diversas indagações efetuadas, destaca-se a seguinte questão realizada pelo aluno A₁: “Qual é a relação entre corrente elétrica, carga elétrica e supercondutividade?”. Outra questão relevante abordada pelo aluno A₂ foi: “O que é resistência nula?”. Subsequentemente, as respostas a essas indagações foram apresentadas e discutidas.

Em relação à primeira indagação, respondeu-se que a corrente elétrica, carga elétrica e a supercondutividade residem em um fenômeno intrínseco aos materiais supercondutores, que é essencial compreender que a carga elétrica é uma propriedade fundamental das partículas subatômicas, como elétrons. A corrente elétrica, por sua vez, é o fluxo ordenado dessas cargas em um condutor.

No contexto supercondutor, os elétrons são capazes de se deslocar sem resistência, caracterizando a supercondutividade. Esse fenômeno ocorre em temperaturas

extremamente baixas, próximas ao zero absoluto. A ausência de resistência permite que a corrente elétrica flua de maneira contínua e eficiente.

Se tratando da segunda pergunta, resistência elétrica nula é uma característica específica dos materiais supercondutores. Em tais materiais, supercondutores atingem valores extremamente baixos, praticamente nulos, permitindo a condução de corrente elétrica altamente eficiente, sem dissipação de energia. Esta propriedade notável dos supercondutores é fundamental para diversas aplicações tecnológicas e científicas, destacando-se pela eficiência energética que proporciona.

2º - Ativação dos Conhecimentos Prévios e Avaliação Diagnóstica: A etapa seguinte iniciou-se mediante a entrega de um texto de apoio intitulado “A História da Eletricidade”. Esta abordagem empregou uma leitura interpretativa envolvendo a participação integral dos alunos, com o propósito de fornecer uma compreensão do contexto histórico da eletricidade. Durante esse processo, foram exploradas curiosidades relevantes e esclarecidas dúvidas pertinentes à temática em análise.

Posteriormente, os alunos foram submetidos à Avaliação de Verificação de Aprendizagem Diagnóstica (AVAD), estrategicamente elaborada para avaliar a compreensão dos tópicos discutidos na aula. Essa avaliação, delineada de maneira cuidadosa, objetiva diagnosticar o nível de entendimento dos discentes em relação aos conceitos apresentados, fornecendo subsídios para ajustes pedagógicos necessários.

Este estágio do processo educacional, pautado na ativação dos conhecimentos prévios e na aplicação de instrumentos de avaliação diagnóstica, contribuíram para uma abordagem sistemática e precisa no acompanhamento do processo dos discentes, fortalecendo, desse modo, a eficácia do processo de ensino e aprendizagem.

Ao término da aula, deparei-me com alguns comentários dos alunos. O estudante A₄ expressou: “*A aula de hoje foi proveitosa*”, enquanto a estudante A₇, em sua manifestação, indagou: “*gostei bastante, pois consegui compreender e visualizar diversas situações que envolvessem fenômenos físicos existentes*”. Esses depoimentos sugerem uma percepção positiva em relação à eficácia do processo de ensino e à compreensão dos conceitos apresentados durante a aula. Essas observações dos estudantes podem indicar uma efetiva comunicação pedagógica e um impacto no entendimento dos fenômenos físicos discutidos.

SEÇÃO II – RELAÇÃO DOS CONCEITOS: SUPERCONDUTORES & ELETRICIDADES.

Aula 2 – Período: matutino - Horário: 10h: 28min às 11h:15min - As Propriedades dos Materiais Condutores e Isolantes – Apresentação dos Conceitos

A temática conduzida na segunda aula realizou-se na terça-feira, dia 15 de agosto do ano em curso. Ao adentrar na sala de aula, foram feitas breves saudações aos alunos, conectou-se posteriormente o cabo HDMI a uma televisão posicionada acima do quadro da sala. Enquanto os alunos se encontravam dispersos, procedeu-se à organização da disposição da turma em formato circular, visando otimizar a visualização dos slides e facilitar os deslocamentos durante a explanação dos conceitos referentes às propriedades dos materiais Condutores e Isolantes. O tema abordado se desdobrou ao longo de duas aulas distintas: a primeira tratou da apresentação de conceitos, enquanto a segunda enfatiza os cuidados, normas e recomendações de segurança em laboratórios de ciências e física durante prática experimental. É imprescindível ressaltar que a temática central, introduzindo conceito de supercondutividade, esteve constantemente presente em todas as instâncias de instrução, sendo apresentado de maneira progressiva e em estrita conformidade com o nível de compreensão da turma.

A aula referente à apresentação dos conceitos dividiu-se em duas partes. A primeira subdividiu-se em dois momentos:

a) O professor iniciou-se a aula distribuindo cópias do texto sobre “Propriedades dos Materiais Condutores e Isolantes”. Em seguida, foram apresentadas, por meio de slides, palavras-chave na TV relacionadas à condutividade, resistividade e resistência elétrica. Durante a exposição da Aula 2.0, foram enfatizados os conceitos, as propriedades, os tipos de materiais condutores, os materiais isolantes, a fórmula matemática correspondente, além da explicação de suas unidades de medida e as diferenças entre esses conceitos.

Decorrido dez (10) minutos de aula, a aluna A₅ indagou: “*Professor, como posso realmente perceber a diferença entre condutores e isolantes?*”. Logo em seguida, o aluno A₂₁ questionou: “*Como a resistência elétrica ocorre nos materiais condutores e nos materiais supercondutores?*”. Utilizando recursos visuais nos slides 6 a 11, foram elucidadas

as diferenças entre condutores e isolantes, assim como a percepção dessas características por meio de suas propriedades elétricas, as quais se relacionam à capacidade dos materiais em permitir ou impedir a passagem de corrente elétrica. Tais propriedades desempenham um papel fundamental na compreensão do comportamento dos materiais em circuitos elétricos.

Para melhor compreensão, destacam-se alguns pontos relevantes à primeira etapa, incluindo os testes de condução realizados pelos discentes, as propriedades dos materiais, a estrutura atômica e a condutividade elétrica. A título de exemplificação, materiais condutores como cobre, alumínio e prata possibilitam a passagem de corrente elétrica, ao passo que os isolantes como plástico, vidro e borracha, caracterizados pela presença limitada de elétrons livres, oferecem alta resistência à condução de corrente elétrica.

No que concerne à segunda pergunta, a manifestação da resistência elétrica ocorre de maneira distinta em materiais condutores e supercondutores. Nos materiais condutores, como metais, a resistência elétrica advém das colisões entre elétrons e das imperfeições na rede cristalina do material. Por outro lado, nos materiais supercondutores, essa condição especial se manifesta em temperaturas extremamente baixas, próximas ao zero absoluto, momento em que os elétrons formam pares conhecidos como pares de Cooper.

b) O segundo momento, iniciou-se com 20 minutos, concentrou-se na apresentação dos cuidados necessários em relação às normas e recomendações de segurança. Utilizando a Aula 2.1 sobre tema Recomendação Básicas de Segurança em Laboratórios de Ciências ou Física, os assuntos abordados concentraram nas seguintes situações: os equipamentos de proteção individual e coletivos (EPIs) e (EPCs), emergência (princípio de incêndio, cortes, choque elétricos), aplicação do extintor para diferentes tipos de incêndio, e a orientações sobre o uso adequado do extintor em caso de emergência.

Na segunda parte, o docente iniciou-se a apresentação abordando as regras e recomendações de segurança aplicáveis a laboratórios de ciências ou física, destacando os equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletiva (EPCs), bem como os diferentes tipos de extintores destinados a situações específicas. Durante essa exposição, torna-se imperativo avaliar se está ocorrendo uma aprendizagem significativa por parte dos discentes, considerando seus conhecimentos prévios existentes. Esse processo visa identificar lacunas de aprendizagem e promover o desenvolvimento de novos conhecimentos,

estabelecendo uma conexão entre os conceitos aprendidos e aqueles que serão abordados nestas aulas e em aulas futuras.

Na introdução da exposição da aula 2.1 dos slides 2 a 11, foram abordados temas relacionados aos Equipamentos de Proteção Individual e Coletivos (EPIs) e (EPCs). Neste instante, os alunos demonstraram elevada concentração e curiosidade durante as explicações sobre cada item de proteção, compreenderam a importância de utilizar equipamentos adequados para realizar uma atividade prática. Em seguida, nos slides 12 a 14, foram discutidos assuntos inerentes à necessidade de conhecer as recomendações básicas de segurança ao lidar com materiais inflamáveis e eletricidade alternada.

Nos slides 15 a 25, foram apresentadas as principais situações de emergências, incluindo princípios de incêndio, cortes, choque elétricos, outros acidentes e a aplicação e uso dos adequados dos extintores em situações específicas, visando esclarecer aos alunos a correta utilização e distinção entre eles. O procedimento adequado para o uso do extintor foi demonstrado passo a passo no slide 19, essas informações foram fornecidas para orientar os alunos a buscar assistência em caso de emergência.

Ao final da apresentação, foi aberto um debate de perguntas e respostas. A primeira pergunta, feita por um aluno A₃ “*Por que devemos utilizar os Equipamentos de Proteção Individual mesmo quando não se está no laboratório?*”. Prontamente respondemos que tal conhecimento é essencial, ao poder ser útil em situações de risco dentro e fora do ambiente de aula, e que os EPIs são fundamentais para a segurança do indivíduo ao lidar com perigos específicos.

O segundo questionamento, feito pelo aluno A₂₅, indagou: “*O que todas essas recomendações de segurança têm a ver com o tema do seu trabalho?*”. As atividades práticas em laboratórios de ciências ou física demandam cuidados e segurança, sendo o professor o responsável por orientar tais atividades. Portanto, a aula ministrada é essencial para o conhecimento dos estudantes que realizam atividades práticas.

Um terceiro aluno, A₁₃, perguntou: “*Por que devemos ter cuidados com cortes e choques elétricos?*”. Acidentes podem ocorrer em qualquer ambiente, e é importante que todos conheçam as precauções para evitá-los, especialmente em um ambiente escolar.

Por fim, a aluna A₁₄ indagou: “*Em caso de algum acidente ocorra na sala de aula, o que devemos fazer?* Nesse contexto, é essencial que o professor aja prontamente, desligando a caixa central de distribuição de eletricidade.

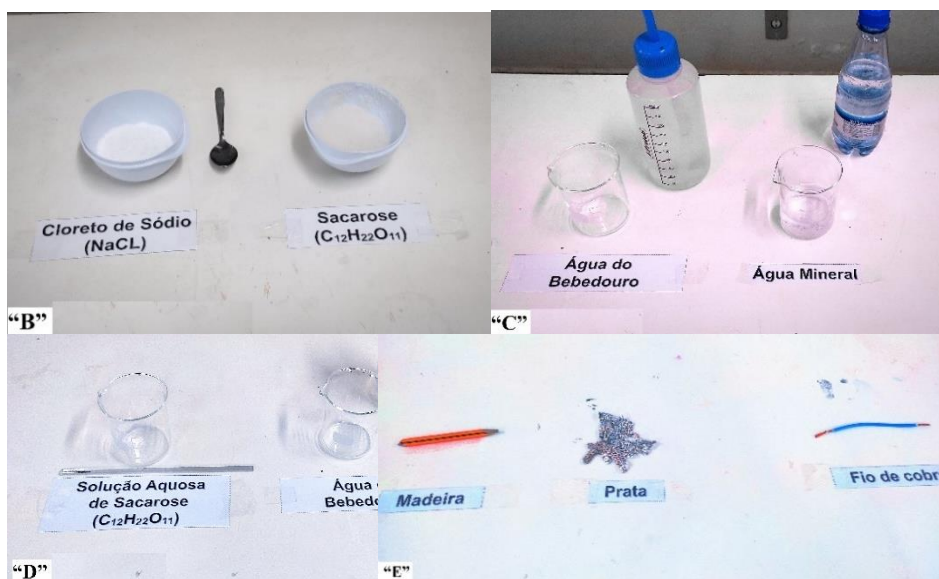
A participação crescente dos discentes revelou um aumento de interesse durante a aula. Ao término do período estipulado, foram designadas duas atividades a serem respondidas e entregues até a próxima aula. A primeira Atividade de Pesquisa e Aprendizagem (APA) visa avaliar a habilidade dos alunos em buscar informações em diversas fontes, com o propósito de enfatizar os conceitos relacionados aos tipos de materiais condutores e suas diferenças, provenientes de diferentes fontes de informação. A segunda Atividade de Verificação de Aprendizagem (AVA) tem como intuito avaliar a compreensão dos alunos em relação à importância, cuidados e normas de segurança associados ao ambiente laboratorial.

Aula 3ª – Período: matutino - Horário: 8h: 36min às 9h:24min - As Propriedade dos Materiais Condutores – Atividade Prática Experimental

A terceira sessão de aula ocorreu no quinto tempo do dia 16 de agosto. Nessa ocasião, antecipei minha presença uma hora antes do horário programado. Durante esse intervalo, procedeu-se à organização da bancada, com a disposição dos materiais de modo a assegurar sua visibilidade e acessibilidade durante a condução do experimento. Paralelamente, realizou-se a verificação e ajuste dos parâmetros experimentais necessários para a execução na sala do laboratório de Ciências. A disposição sequencial desses materiais sobre a bancada está ilustrada na Foto 3.

Foto 3: Disposição sequência do material sobre a bancada





Fonte: O próprio autor, 2024

A aula prática experimental divergiu do padrão convencional, com a colaboração do professor titular, procedeu-se à divisão da turma em duas etapas equitativas em termos de número de alunos. A primeira subdivisão dirigiu-se ao laboratório de ciências ou física, a fim de verificar e observar fenômenos físicos pertinentes à Condutividade e Resistência Elétrica. Simultaneamente, a segunda subdivisão permaneceu na sala de aula, engajando-se na resposta a uma Atividade, projetado para obter dados relevantes sobre a compreensão dos alunos sobre atividade experimental.

O professor titular assumiu a responsabilidade pela primeira subdivisão da turma, dedicando um período de 20 minutos para os alunos responderem de maneira reflexiva a todas as questões do Questionário. Ao mesmo tempo, os discentes que estavam no laboratório realizavam atividades práticas. Posteriormente, houve a troca entre as duas frações da turma. Durante esse processo, o professor titular assumiu a responsabilidade de esclarecer quaisquer dúvidas relacionadas às questões apresentadas no questionário. A Foto 4 ilustra a aplicação do questionário nas subdivisões “A” e “B” da turma.

Foto 4: Aplicação Teórica da Atividade Experimental aos Alunos



Fonte: O próprio autor, 2024.

Em relação às atividades conduzidas no laboratório de ciências ou física, apresentou-se um breve esquema de um circuito elétrico em série e paralelo no quadro, destacando suas principais diferenças. Durante a explicação, observou-se o interesse e a atenção dos alunos.

Previamente ao início da atividade prática, foram lembradas as normas de segurança, especialmente devido à natureza elétrica das atividades, alertando sobre os cuidados para evitar choques elétricos. Presentemente, um aluno A₆ fez um comentário pertinente, questionando: “*Professor, por isso que foi ministrada uma explicação sobre as Normas de Segurança em Laboratórios?*”. Perguntou-se posteriormente, foi confirmado que sim.

Durante a execução do experimento de Condutividade Elétrica, utilizou-se uma base de matéria com dimensões de 40 x 30 cm, conforme ilustrado na Figura 16, com a turma “A”. Este experimento compreende uma lâmpada fixada em um soquete e conectada a um fio. Uma das extremidades do fio estava conectada a uma fonte de corrente

elétrica alternada, enquanto a outra permanecia em aberto. É essencial enfatizar que, para a lâmpada ser acesa, é necessário conectar as duas extremidades do fio, fechando assim o circuito.

O objetivo do experimento consistiu em conectar diferentes materiais às extremidades dos conectores dos fios para verificar se a lâmpada acendia, sem a necessidade de unir fisicamente os dois fios entre si. Na etapa inicial, procedeu-se ao toque das pontas dos fios na sacarose, sem que a corrente passasse, resultando na ausência de iluminação da lâmpada. Logo após, repetiu-se o procedimento com o cloreto de sódio, também sem sucesso na iluminação da lâmpada. Posteriormente, as pontas dos fios foram conectadas a recipientes contendo água mineral e água do bebedouro da escola, constatando-se que a lâmpada não acendeu em ambas as situações.

Retornando à atividade prática, desta vez utilizando soluções aquosas de sacarose e cloreto de sódio, verificou-se que, ao imergir as pontas dos conectores na solução de sacarose, a lâmpada não acendeu. Contudo, ao repetir o procedimento com a solução aquosa de cloreto de sódio, a lâmpada finalmente acendeu. Essa ação foi atribuída à presença de íons de sódio (Na^+) e de cloreto (Cl^-) na solução, mantidos juntos por uma ligação iônica, caracterizada por uma força atrativa entre as cargas opostas dos íons.

Os experimentos utilizados na atividade prática, relacionados à associação de resistores, estão representados na Foto 5, “C” e “D”. Antes de retomar a explanação, realizou-se uma revisão sobre circuitos elétricos simples, destacando as características dos circuitos em série e em paralelo.

Em relação aos resistores em série, foram feitas uma analogia com carros em uma única rua para representar a situação, onde todos os carros (correntes) seguem o mesmo caminho. Para demonstrar esses conceitos, na prática, foram calculadas as resistências elétricas totais como a soma das resistências individuais. Posteriormente, foram introduzidas analogias de ruas paralelas, onde os carros (correntes) podem escolher caminhos diferentes, destacando que a voltagem é a mesma mediante todos os resistores em paralelo.

Ao abordar o tema dos supercondutores, a analogia destacou que a resistência elétrica nula de um supercondutor é equivalente à ausência de obstáculos para o tráfego de carros. Na última parte da aula, houve a troca das turmas, repetindo os procedimentos anteriores. As imagens referentes às atividades realizadas pelas turmas A e B, bem como

os experimentos de associação de resistores em série, retratados na foto “C”, e em paralelo, na foto “D”, encontram-se representados na Foto 5.

As imagens referentes às atividades realizadas pelas turmas A e B, assim como os experimentos de associação de resistores em série, retratados na Foto “C” e em paralelo, na Foto “D”, são apresentados.

Foto 5: Alunos das turmas "A" e "B" na atividade prática experimental



Fonte: O próprio autor, 2024.

SEÇÃO III – SUPERCONDUTIVIDADE X PERCEPÇÕES DOS PROFESSORES.

Aula 4ª – Período: matutino - Horário: 8h: 36min às 9h:24min - Supercondutividade

A quarta iniciou na terça-feira, dia 22 de agosto de 2023, com objetivo de introduzir ao discente a reflexão acerca da ideia de resistência elétrica nula, além de proporcionar uma compreensão dos princípios que envolvem esses fenômenos intrigantes.

No momento da chegada dos estudantes à sala, foram distribuídos textos de apoio intitulados “Supercondutividade: uma jornada pelo mundo sem resistência”. Sugeriu-se que fossem acomodados na parte da frente da sala de aula, visando facilitar a interação e participação durante a exposição. A aula foi estruturada em duas partes diferentes: a

primeira parte destinou-se à apresentação dos conceitos fundamentais da supercondutividade, enquanto a segunda descreveu a opiniões dos professores relacionados ao tema investigado.

Durante a introdução da aula, recapitulei os conceitos gradualmente apresentados nas aulas anteriores, buscando avaliar o grau de assimilação dos alunos em relação ao tema da supercondutividade.

A aula começou explorando o conceito de supercondutividade, destacando a descoberta deste fenômeno e utilizando como apoio os slides 1 a 5, os quais resumiam o texto de apoio distribuído. Durante a explicação, diversos alunos fizeram indagações, sendo a observação do discente A₇ particularmente relevante: *“Professor, estou entendendo agora quando você fez aquela analogia sobre os supercondutores”*. Esse momento evidenciou a importância das aulas anteriores, especificamente nas aulas 2 e 3, para o aprimoramento das ideias dos alunos sobre os supercondutores.

Na sequência, foram mostrados os mecanismos que caracterizam o fenômeno da resistência elétrica nula em um supercondutor. Durante essa fase, notou-se o interesse dos alunos pelo título do slide, o que motivou a estudante A₁₈ a perguntar: *“Professor, como ocorre esse fenômeno da resistência elétrica nula mesmo?”*. Em resposta, destaquei a importância de abordar conceitos fundamentais para compreensão do fenômeno, tais como resfriamento abaixo da temperatura crítica, formação dos pares de Cooper, supressão da dispersão eletrônica, exclusão do campo magnético e retenção do estado supercondutor. Além disso, indiquei que as aplicações práticas seriam discutidas em aulas subsequentes.

Ao retornar à explicação, enfatizou-se o processo de resfriamento abaixo da temperatura crítica, utilizando recursos visuais por meio dos slides. Destacou-se que a transição para o estado supercondutor é desencadeada pelo resfriamento do material abaixo de uma temperatura crítica específica. A temperatura crítica representa o ponto mais elevado no qual o material exibe propriedades supercondutoras, marcando a entrada no estado supercondutor, caracterizado pela ausência de resistência elétrica.

Adicionalmente, abordou-se a formação dos pares de Cooper como um processo essencial na supercondutividade. Destacou-se que esses pares são constituídos por dois elétrons emparelhados devido à interação atrativa mediada por vibrações na rede

crystalina, sendo elementos-chave para o comportamento coletivo que facilita o fluxo de corrente sem resistência.

A supressão da dispersão eletrônica é um fenômeno comum em materiais condutores convencionais. Essa dispersão resulta em colisões que levam à dissipação de energia na forma de calor, porém, nos supercondutores, essa dispersão é minimizada, contribuindo para a ausência de resistência elétrica.

No slide 10, a explicação sobre a exclusão do campo magnético, conhecido como Efeito Meissner, foi abordada. Esse fenômeno é essencial, pois campos magnéticos podem induzir correntes dissipativas em materiais condutores. Destacou-se que, nos supercondutores, esse efeito é minimizado, permitindo a ausência de resistência elétrica.

Finalmente, abordou-se a importância da retenção do estado supercondutor, enfatizando que manter o material em condições de temperaturas é vital para a retenção desse estado. Explicou-se que variações inadequadas podem resultar na perda das propriedades supercondutoras, levando o material de volta a um estado resistivo.

Para encerrar a aula, foi conduzido um feedback, abordando as principais ideias e dúvidas dos estudantes. Os alunos expressaram satisfação com a aula, indicando uma assimilação significativa dos conceitos centrais. No entanto, manifestaram dúvidas em relação à compreensão mais aprofundada do fenômeno, demonstrando interesse em uma explanação mais detalhada. A Foto 6 ilustra a conclusão da aula acerca dos conceitos relacionados à supercondutividade.

Foto 6: Término da aula acerca dos conceitos sobre supercondutores



Fonte: O Próprio autor, 2024.

Aula 5ª - Período: matutino - Horário: 10h:28 min às 11h:15min – Concepção dos professores X alunos em relação introdução supercondutividade.

Na quinta aula, realizada em 23 de agosto, os estudantes foram cumprimentados e, em seguida, procedeu-se à instalação e configuração dos equipamentos audiovisuais conectados ao notebook. A introdução da aula abordou o tema do dia, que focou nas opiniões dos docentes sobre a introdução do conceito de supercondutividade aos alunos do ensino médio. A aula concentrou-se em uma exposição, debate detalhado das concepções metodológicas e estratégicas eficazes para ensinar a supercondutividade.

A abordagem proporcionou uma compreensão curiosa dos alunos, assim também buscou-se repassar um entendimento profundo do conceito e estimular a curiosidade científica dos alunos, alinhando-se aos objetivos pedagógicos traçados para a implementação do tema no currículo do ensino médio.

Nesta aula, os discentes debateram sobre as opiniões dos docentes, citando os pontos positivos e negativos:

Os pontos positivos: as ideias de os professores utilizarem conhecimentos adquiridos para relacionar com novos ainda a ser adquiridos, tema atualidade, estimular curiosidade e interesse, além de estar alinhada com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Os pontos negativos: a complexidade do conteúdo, uma base sólida em conceitos básicos de eletricidade e física, o que não é o caso em todas as turmas, limitações didáticas e formação, pois nem todos os professores estão suficientes capacitados para ministrar o tema específico e avançado.

Para realçar a aula, mostrou-se um vídeo abordando a cerâmica como uma técnica milenar na evolução chinesa. Em seguida, discorreu sobre a trajetória evolutiva dos supercondutores, com destaque na aplicação dos trens de levitação. Durante a exibição, os alunos acompanharam atentamente as explicações do vídeo, expressando comentários sobre a relevância da aula anterior e como ela tem contribuído para a compreensão e correção dos conceitos discutidos.

A videoaula abordou os pontos negativos, mostrando-se os custos associados à manutenção da linha de levitação, explicou o fenômeno da levitação magnética e ressaltou a importância do nitrogênio líquido no processo de levitação. Destacou-se que, devido

às baixas temperaturas, abaixo de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, é possível ativar os supercondutores. A apresentação dos vídeos culminou com a demonstração de uma partícula supercondutora levitando.

O segundo vídeo mostrou um material contendo Y-Ba-Cu-O em um recipiente de isopor, mostrou os procedimentos realizados em temperatura ambiente, sem nenhuma interação evidente. Em seguida, os estudantes mantiveram atenção aos fenômenos observados, quando um ímã potente foi posicionado sobre o material supercondutor, seguido pela adição de nitrogênio líquido. Nesse momento, a temperatura do sistema diminuiu gradualmente, atingindo aproximadamente $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou 77 Kelvin.

Devido à interação entre o nitrogênio líquido e o supercondutor, o nitrogênio passou do estado líquido para o gasoso. Os estudantes observavam, atentamente, forma atenta, todos os fenômenos ocorrendo. Ao final do processo, o supercondutor alcançou a temperatura crítica e, portanto, manifestou suas propriedades supercondutoras.

Posteriormente à apresentação dos vídeos, a turma foi dividida em seis grupos, cada um composto por cinco alunos, visando realizar uma Atividade de Mapa Conceitual (AMC) relacionada aos temas previamente estudados e discutidos. Dois grupos foram designados para abordar o tema História da Eletricidade, outros dois grupos para Propriedades dos Materiais Condutores e Isolantes, e os dois últimos grupos para Supercondutividade.

O tempo estipulado para a execução da atividade foi de 20 minutos, durante os quais foram esclarecidas eventuais dúvidas. Observou-se que os alunos gostaram da aula, pois se sentiram participativos do processo do ensino. Fizeram com que os mesmos se relembressem de assuntos estudados anteriormente que fazem conexão com novos conhecimentos.

No encerramento da aula, foram selecionados representantes de cada grupo para compartilharem a abordagem adotada na elaboração do mapa mental conceitual. As principais informações apresentadas por cada grupo foram destacadas, evidenciando a síntese e compreensão dos conceitos discutidos.

História da Eletricidade: Abordaram conceitos fundamentais como corrente, carga, tensão e resistência elétrica e circuito elétrico, destacaram unidades de medida associadas a esses conceitos e exploraram tipos de carga elétrica, contribuindo para uma compreensão ampla da eletricidade.

Propriedade dos Materiais Condutores e Isolantes: enfatizaram as características distintivas entre materiais condutores e isolantes. Exploraram propriedades específicas desses materiais, fornecendo uma compreensão de como conduzir ou bloquear a corrente elétrica.

Supercondutividade: Abordaram propriedades fundamentais, aplicações práticas e a principal diferença entre materiais condutores tradicionais e supercondutores, destacaram as características únicas dos supercondutores, especialmente a ausência de resistência elétrica.

Cada grupo apresentou apresentações abrangentes, com a integração ativa de todos os membros, enquanto os restantes compartilharam suas exposições em aulas subsequentes. Este processo de compartilhamento de conhecimento permitiu uma visão ampla e aprofundada dos assuntos discutidos, promovendo uma troca de informações entre os grupos. Essa prática enriqueceu a compreensão coletiva dos conceitos e fortaleceu a interação colaborativa no contexto do aprendizado. Além disso, evidenciou a integração e o engajamento eficaz dos discentes nas atividades propostas, demonstrando uma abordagem pedagógica robusta e interativa.

SEÇÃO IV – PRINCIPAIS APLICAÇÕES PRÁTICAS DA SUPERCONDUTIVIDADE.

Aula 6ª - Período: matutino - Horário: 8h: 36min às 9h:24min – Principais Aplicações Práticas da Supercondutividade.

A sexta aula da sequência didática teve seu início em 29 de agosto, com o propósito de despertar a curiosidade dos alunos sobre as principais aplicações práticas da Supercondutividade, tanto no ambiente escolar quanto extraescolar.

Ao longo da aula, foram exploradas as aplicações dos supercondutores nos diversos setores da sociedade, com ênfase na tecnologia elétrica, transporte, aplicações em pequena escala e na área da medicina.

Na condução da exposição didática, utilizaram-se slides como recursos visuais, cuja finalidade consistia em mostrar as aplicações práticas em turbinas eólicas, cabos supercondutores WD, circuitos supercondutores, computadores quânticos e baterias

supercondutoras. Ressalta-se, ainda, a relevância destas inovações tecnológicas na estabilização de redes elétricas, em usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares.

Ao debater acerca da tecnologia elétrica, mostrou-se a eficiência dos geradores supercondutores, cujo potencial de eficácia alcançaria até 99%, conforme Branício (2001). Destacou-se, também, a relevância da supercondutividade em aceleradores de partículas, como, por exemplo, LHC (Large Hadron Collider) do CERN, evidenciando o papel essencial desempenhado pelos supercondutores nesses contextos de pesquisa.

A explicação acerca das aplicações dos supercondutores no setor de transporte foi conduzida por meio da exibição de dois vídeos. O primeiro abordou o tema “Supercondutores aplicações”, enquanto o segundo explorou a “Supercondutividade em supercondutores em automação industrial”. Neste contexto, abordou-se o exemplo dos Trens Maglev, destacando sua capacidade de levitação, resultando em um meio de transporte silencioso e sem atrito.

Durante a apresentação, uma aluna identificada como A₃₀ questionou ao professor: “*Quem são os grandes responsáveis por todos esses avanços mencionados?*”. A resposta à indagação enfatizou-se que tais progressos são frutos do trabalho conjunto entre cientistas, pesquisadores, além do suporte financeiro proporcionado por empresas e governos, ressaltando a evolução industrial ao longo dos séculos.

Nos slides 6 a 13, foram abordados os tópicos relativos às aplicações sobre os setores de transporte, pequena escala e saúde. No estudo direcionado por Luiz (2012), foram identificadas diversas aplicações da supercondutividade em pequenas reduções que dispensam o uso contínuo de líquido refrigerante. Em outras palavras, nessas aplicações, não é requerido o fornecimento permanente de nitrogênio líquido ou hélio. Dispositivos fundamentados em junções Josephson e outras tecnologias compactas podem ser resfriados utilizando-se ciclos termodinâmicos apropriados em recipientes fechados, dispensando, assim, a necessidade de suprimentos contínuos de nitrogênio líquido nem do hélio líquido.

Por fim, foram abordadas as aplicações dos supercondutores em áreas como medicina, biofísica e ciências biológicas. Destacou-se o uso de dispositivos SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices), dispositivo supercondutor que utiliza fenômeno da interferência quântica produzida por junções Josephson, em diversas aplicações biomédicas, tais como biomagnetismo, magnetocardiograma (MCG) e magneto-ocular

(MOG). Além disso, foram discutidas outras aplicações importantes, como a ressonância magnética nuclear (RMN) e a ressonância paramagnética eletrônica (RPE), utilizada em diagnósticos médicos.

O encerramento da aula foi marcado por agradecimento, participação ativa dos alunos ao longo de toda a sequência didática. Este envolvimento demonstrou que o processo de transmissão de conhecimento sobre supercondutividade é um caminho promissor para ser explorados pelos professores, visando capturar a atenção e o interesse dos discentes.

SEÇÃO V - AVALIAÇÃO DE VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM FINAL.

Aula 7ª - Período: matutino - Horário: 10h: 28 min às 11h:15min – Aplicação da Atividade Verificação Aprendizagem Final (AVAF).

A sétima aula, realizada em 30 de agosto, dedicou-se à aplicação de uma avaliação destinada a verificar a aprendizagem dos alunos. Ao ingressarem na sala, os alunos foram informados de que seriam submetidos a uma Atividade de Verificação de Aprendizagem Final (AVAF), abrangendo todos os conteúdos discutidos nas seis aulas anteriores.

Esta avaliação consistia em cinco questões subjetivas, englobando desde a introdução dos conceitos básicos de eletricidade até as atividades experimentais realizadas, passando pelos conceitos relacionados à ausência de resistência. Adicionalmente, foram propostas outras cinco questões objetivas, com múltiplas escolhas, focando nos conceitos de supercondutividade. Os alunos dispuseram um período de 40 minutos para responder às questões, durante os quais todas as 10 perguntas foram lidas e eventuais dúvidas foram esclarecidas. Essa abordagem proporcionou uma avaliação ampla dos temas discutidos ao longo da sequência didática.

Portanto, ao longo das seis aulas ministradas aos alunos, notou-se um engajamento significativo por parte dos estudantes. As atividades práticas, vídeos e discussões em sala de aula contribuíram para uma compreensão aprofundada dos conceitos de supercondutividade. A aplicação da avaliação final verificou a assimilação desses conhecimentos, encerrando eficazmente o ciclo de aprendizado proposto. O feedback e a participação ativa dos alunos ao longo das aulas sugerem um impacto positivo na compreensão dos fenômenos da supercondutividade e suas aplicações.

4 CAPÍTULO

4.1 RESULTADOS

A partir das repostas obtidas nos dois questionários aplicados aos professores que ministram aula no ensino médio, assim como as atividades de Verificação da Aprendizagem Final destinadas aos alunos, foram possíveis obter informações satisfatórias para a coleta de dados da pesquisa.

A discussão dos resultados foi estruturada em duas seções principais, visando proporcionar uma compreensão detalhada dos achados da pesquisa. A primeira seção foi subdividida em dois segmentos: o primeiro explora o diagnóstico realizado com os professores participantes, enquanto o segundo aborda a percepção desses docentes em relação à possível implementação do conceito de supercondutividade no ensino médio. Esses enfoques permitiram uma compreensão categorizada da prática pedagógica dos professores envolvidos, evidenciando como eles abordariam o ensino desse conceito específico em suas aulas e as estratégias pedagógicas que poderiam ser adotadas para introdução do tema na sala de aula.

A segunda seção abordou-se a análise sobre as atividades de Verificação da Aprendizagem, as quais foram as principais fontes de informações dos trabalhos, e estão organizadas em cinco etapas diferentes.

A primeira etapa teve por objetivo avaliar os conhecimentos prévios dos discentes e realizar uma avaliação diagnóstica. A segunda etapa relacionou os conceitos de supercondutores com os conceitos básicos de eletricidade. A terceira etapa envolveu a aplicação acessível e compreensível dos conceitos de supercondutividade, assim como as concepções dos professores sobre o tema em estudo. A quarta etapa dedicou-se a despertar o interesse e a curiosidade dos alunos pela física dos supercondutores. Por fim, a quinta etapa, de extrema importância, teve como propósito verificar o processo de ensino-aprendizagem por meio de uma Atividade de Verificação da Aprendizagem Final (AVAF) realizada junto aos participantes da pesquisa.

Neste sentido, o propósito deste trabalho consiste em desenvolver um produto educacional por meio da elaboração de uma sequência didática voltada para introdução do tema no ensino médio e a percepção dos professores do município de Tabatinga-AM.

Os instrumentos de coleta de dados empregados nas distintas fases do estudo, assim como a metodologia adotada, encontram-se detalhadamente documentadas nos seguintes anexos e apêndices, conforme a estrutura abaixo descrita:

Os textos de apoio utilizados na pesquisa estão incluídos no Anexo B, identificados como Texto de Apoio A, B, C, D e E. As aulas em slides se encontram organizadas no Anexo C, foram categorizadas como Aula 1.0, Aula 2.0, Aula 2.1, Aula 3.0 e Aula 4.0. O Anexo D contém as avaliações destinadas à verificação da aprendizagem. No Anexo E, encontram-se as atividades desenvolvidas para verificação do processo de aprendizagem e o Anexo F, Termo de Autorização do Responsável para participar da pesquisa.

Adicionalmente, os apêndices fornecem materiais complementares essenciais para a execução e compreensão da pesquisa: a Carta de Apresentação, direcionada à autorização para realização da pesquisa, está disponibilizada no Apêndice I. O Termo de Consentimento Livre Esclarecido encontra-se no Apêndice II, garantindo a ética no processo de coleta de dados. O questionário referente ao diagnóstico está disposto no Apêndice III e o questionário destinado à Avaliação da Aprendizagem Prática Pedagógica se encontra no Apêndice V.

Essa estruturação metodológica proporcionou uma análise detalhada dos impactos da metodologia pedagógica adotada, evidenciando seu papel no contexto educacional investigado.

4.1.2 Formação dos Professores Pesquisados.

O subtema em questão tem como propósito apresentar os resultados do diagnóstico realizado com os nove docentes de Física da rede estadual de ensino do município de Tabatinga-AM. As questões analisadas correspondem às perguntas 1º, 2º, 3º e 4º, que foram elaboradas para investigar a formação acadêmica, a experiência profissional e as percepções iniciais dos professores em relação ao tema da supercondutividade.

“1º - Qual sua formação acadêmica, caso possua mais de uma, qual?”

“2º - Em que tipo de Instituição você fez o curso superior? Se você estudou em mais de uma Instituição, assinale aquela em que obteve o seu último título profissional”.

“3º - Como professor do ensino médio da disciplina de física, trabalha há quantos anos?”

“4º - Você possui alguma formação ao nível de Pós-graduação Lato Sensu (Especialização) ou em sentido estrito (mestrado ou doutorado) na área que atual?”

Todas as alternativas do Questionário realizado pelos professores encontram-se devidamente listadas no apêndice III deste estudo. A pesquisa analisou a formação dos professores que ministrada aulas de física no ensino médio regular, com o propósito de identificar abordagens potenciais e sua integração nas práticas pedagógicas, bem como fornecer informações pertinentes sobre a utilização de material didático relacionado ao tema da supercondutividade no ensino de física.

Os dados relativos a esses parâmetros investigativos foram sistematizados e consolidados no Quadro 6, fornecendo uma visão ampla das características dos educadores participantes da pesquisa.

Quadro 6: Formação acadêmica, instituição de graduação, experiência na disciplina e a qualificação dos docentes ao nível de pós-graduação.

DOCENTE	FORMAÇÃO ACADÊMICA	INSTITUIÇÃO DE FORMAÇÃO	TEMPO DE SERVIÇO NA DISCIPLINA	NÍVEL DE QUALIFICAÇÃO
Professor “A”	Matemática e Física	Estaduale Federal	4 anos	Especialização lato sensu
Professor “B”	Pedagogia e Física	Estaduale Federal	4 anos	Especialização lato sensu
Professor “C”	Matemática, Física e Bacharel em Ciências Teológica	Estadual, Federal e Particular	5 ou mais anos	Especialização lato sensu
Professor “D”	Matemática e Física	Estaduale Federal	5 ou mais anos	Especialização lato sensu
Professor “E”	Matemática e Física	Estaduale Federal	+10 anos	Especialização stricto sensu
Professor “F”	Matemática e Física	Estaduale Federal	4 anos	Especialização lato sensu
Professor “G”	Matemática	Estadual	5 ou mais anos	Especialização lato sensu
Professor “H”	Biologia e Física	Federal	+10 anos	Especialização lato sensu
Professor “I”	Física	Federal	1 anos	Não possui

Fonte: Próprio autor, 2024

No Quadro 6, observa-se que, em relação à Alternativa 1, que versa sobre a formação acadêmica dos docentes, 89% dos participantes detêm formação acadêmica na área

de Física, enquanto 11% restantes apresentam formação em disciplinas correlatas. Tal distribuição percentual é também evidenciada na Alternativa 2, que aborda a origem da formação acadêmica dos docentes. Neste caso, a maioria completou sua graduação em instituições de caráter federal, enquanto o restante realizou seus estudos em instituições estaduais.

Entretanto, é decisivo destacar que, em relação à Alternativa 3, que investiga a experiência dos docentes no campo específico da disciplina de Física, observa-se uma distribuição distinta. O levantamento revela que 33% dos docentes possuem experiências profissionais inferiores a 4 anos nesse campo. Paralelamente, outro contingente de 33% acumula uma prática profissional variada entre 5 a 6 anos. Em contrapartida, 23% dos profissionais apresentam uma trajetória profissional superior a 10 anos na referida disciplina, enquanto apenas 11% detêm uma experiência inferior a 2 anos no âmbito da Física.

No que diz respeito ao nível de qualificação, conforme explorado na Alternativa 4, observa-se que 78% dos participantes possuem titulação em Especialização (pós-graduação lato sensu). Adicionalmente, 11% detêm título de Mestrado ou Doutorado (pós-graduação stricto sensu) e outros 11% se encontram desprovidos de titulação em âmbito de lato sensu.

Na Tabela 1 são apresentadas, respectivamente, as respostas fornecidas pelos educadores às alternativas 5º, 6º e 7º do Questionário os professores investigados acerca da possível incorporação do conceito da supercondutividade. Vale ressaltar que, de cada alternativa, foram selecionadas criteriosamente as três respostas consideradas mais pertinentes.

“5º – Um dos tópicos em pauta é a supercondutividade. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?”

“6º - Você acha que os alunos iriam se interessar pela temática supercondutividade, caso fosse abordada nas aulas? Se sim, por quê?”

“7º - Se existe um material disponível ou em processo de desenvolvimento relacionado ao tema anteriormente mencionado, caso seja possível incorporá-lo em seu planejamento, você gostaria de usar esse material? Se sim, justifique?”

Tabela 1: Sínteses das respostas dos professores relacionados às questões 5º, 6º e 7º

ALTERNATIVA	PROFESSOR(A)
5º	“D” – Tudo que é relativo à eletricidade se faz importante para o aluno do 3º ano médio estudar. Com isso, terá, mais conhecimento para sua formação.
5º	“E” – Sim. É importante todos os tópicos de física moderna, mas a supercondutividade, por estar relacionada às temperaturas da matéria e suas variações de temperaturas nos materiais, torna-se um motivo de curiosidade em ensinar.
5º	“G” – Sim. Porque os alunos descobriram que existem elementos na natureza que podem conduzir eletricidade sem nenhuma perda de energia.
6º	“B” - Certamente eles se interessariam, principalmente se for ministrada de maneira lúdica e prazerosa, colocando-os como protagonistas na construção de seus conhecimentos. Isso porque a Física é uma ciência fantástica que, além de observar na teoria, ela nos permite provar os fenômenos, na prática.
6º	“C” – Sim, quando se criam meios para facilitar o processo ensino aprendizagem, o aluno começa a ver a matéria com outros olhos.
6º	“F” - Sim, para o conhecimento do mundo da resistência nula e suas aplicações cotidianas empregadas na prática.
7º	“A” – Sim. Porque seria um ponto inicial disponível já existente, para utilizar com os alunos. Onde poderia adaptar à realidade do mesmo ou seguir os passos adotados.
7º	“H” – Sim, utilizaria, desde que este manual ou apostila estivesse adequado às exigências e adaptado para utilizar com os alunos.
7º	“I” – Sim. Utilizaria, porque são temas contemporâneos, muitas vezes desconhecidos pelos alunos, que podem despertar a curiosidade ou até mesmo o interesse dos alunos.

Fonte: Próprio autor, 2024

4.1.3 A pesquisa Realizada com os Professores.

Para investigar as perspectivas dos professores pesquisados a respeito das abordagens pedagógicas delineadas em suas respostas ao Questionário Prático Pedagógico (QPP), cujo documento encontra-se anexado nos apêndices IV, torna-se fundamental aprofundar a compreensão da estratégia didática que eles propõem.

Em sequência, procedemos à análise resultante da aplicação do QPP ao professores envolvidos na pesquisa. Essa etapa visou aprofundar nossa compreensão acerca dos docentes e de suas abordagens pedagógicas.

Questão 1 - Como abordaria a introdução dos conceitos de supercondutividade em suas aulas utilizando de conceitos básicos de eletricidade?

“Apesar de nunca terem utilizado formalmente a temática, todos os docentes relataram que abordariam de forma teórica, com conceitos e explicações no quadro e depois, com participação dos alunos, fariam experimentos com aulas práticas para melhorar o entendimento dos alunos”.

A segunda questão relata as aplicações práticas dos docentes investigados.

Questão 2 - De que forma você abordaria as aplicações práticas dos princípios da física moderna, com o foco na temática supercondutores, para promover uma compreensão profunda dos estudantes do ensino médio?

Os professores identificados como B, D, E, G e I relataram opiniões em comum, entre elas *“levariam os discentes para o laboratório, a fim de mostrar, na prática, os princípios da física moderna. Eles planejavam utilizar experimentos acessíveis que permitissem a realização de atividades experimentais, proporcionando aos alunos uma compreensão concreta dos conceitos abordados em sala de aula”.*

As respostas dos professores A, C, F e H manifestam opiniões que *“utilizariam apenas conceitos teóricos, devido serem temas que exigem limitações quanto aos materiais e equipamentos”.* Embora a demonstração prática seja envolvente, é importante lembrar que os alunos possuem diferentes estilos de aprendizado.

Questão 3 - Quanto aos tópicos envolvendo conhecimentos sobre supercondutores, você se sente adequadamente capacitado para lecionar sobre temas relacionados à física moderna contemporânea?

A questão três foi unânime entre todos os docentes entrevistados. *“Sim, consideramos-nos capacitados para apresentar os conceitos; no entanto, ressaltamos os desafios pessoais ao contextualizar esse conteúdo de forma acessível aos alunos do ensino médio. A redução do tempo de aula na disciplina de Física, resultante da reforma no ensino médio, torna ainda mais complexa a transmissão do conteúdo de forma que os estudantes possam alcançar uma aprendizagem satisfatória e estabelecer conexões relevantes com a sua realidade cotidiana”.*

Questão 4 - A formação profissional adquirida no curso de Licenciatura em Física foi suficiente para habilitar o professor a lecionar aulas de Física Moderna aos estudantes do ensino médio dentro da sua prática pedagógica nesta disciplina? Forneça argumentos que sustentem sua resposta, que seja afirmativa ou negativa?

Os educadores A, B, C, E e G disseram que *“Não. Apesar da boa qualidade das aulas ministradas pelo professor, houve um espaço vago para atividades práticas relacionadas a alguns temas, o que deixou a desejar. Ainda que diversos conteúdos tenham sido abordados com atividades centradas em cálculos, consideradas essenciais, existiu uma deficiência na integração de atividades práticas experimentais com a teoria”*.

Os professores D, F, H e I reconheceram que as aulas durante sua graduação foram de qualidade satisfatória. No entanto, observaram-se que faltou a integração entre os conceitos teóricos com situações do dia a dia, comprometendo assim a compreensão e aplicação dos princípios da Física Moderna pelos alunos.

Questão 5 - Quais metodologias você incorporaria ao seu planejamento para abordar práticas experimentais relacionadas ao tema da física moderna aos alunos?

Os docentes B, C, E e I relataram que *“utilizariam inicialmente os conceitos teóricos e atividades que envolvam cálculos durante os três primeiros bimestres”*. Em contrapartida, os professores A, C, F e G planejavam iniciar com a *“implementação das atividades experimentais decorrentes, utilizando os assuntos já estudados anteriormente. Essas práticas experimentais seriam conduzidas em grupos de alunos, permitindo-lhes expor suas ideias e opiniões sobre os experimentos realizados”*.

4.1.4 Aplicação das Atividades de Verificação da Aprendizagem ao Discentes.

Os resultados da Avaliação de Verificação da Aprendizagem dos alunos foram utilizados para investigar o impacto da abordagem pedagógica proposta, em consonância com aos objetivos específicos desta pesquisa, sobre a supercondutividade no ensino de física, considerando-se os conhecimentos prévios dos alunos. A pesquisa estruturou-se em quatro etapas, as quais foram empregadas como instrumentos de análise para atingir os resultados estabelecidos.

Etapa 1ª – Introdução dos Conhecimentos Prévios.

Na etapa de introdução dos conhecimentos prévios, utilizou-se um exame diagnóstico para verificar o nível de Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica (AVAD). Nessa fase, os estudantes foram submetidos a questões relacionadas ao

conhecimento básico de eletricidade. Das dez questões aplicadas, foram selecionadas três: a primeira abordou conceitos básicos de eletricidade, a segunda envolveu a relação entre os conhecimentos prévios e a terceira tratava de informações sobre supercondutores.

A seleção dos participantes baseou-se na identificação realizada durante a aplicação do produto educacional na sala de aula. Cada resposta atribuiu-se conforme o grau de participação do aluno: na primeira resposta de cada pergunta, foi associada aos discentes assíduo e participativo, a segunda ao aluno participativo, e a terceira ao aluno não participativo(a) ou disperso(a). A Tabela 2, se encontra as questões relacionada a abordagem mencionada acima sobre conceitos básicos, conhecimento prévios e supercondutores.

Tabela 2: Questões da Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica (AVAD)

PERGUNTA	ALUNOS (AS)
2 - Explique com suas palavras o que você entende como corrente elétrica?	“A1” – Fluxo de cargas elétricas, por exemplo, o transporte de energia de um lugar para outro.
	“A20” – É a energia que passa pelos fios condutores de um receptor a outro.
	“A22” – “Para mim, corrente elétrica são as energias”.
4 - Na sua opinião, o que é resistência elétrica?	“A13” - São materiais que dificultam a passagem de corrente elétrica.
	“A18” - É a resistência de um material que atua na passagem de energia a outros pontos.
	“A26” – É um material que possui a passagem de corrente elétrica e as suas dimensões do condutor.
9 - Considerando o que você aprendeu sobre eletricidade, você já ouviu falar sobre o fenômeno da supercondutividade? Se sim, por favor, compartilhe qualquer conhecimento que tenha adquirido; se não, sinta-se à vontade para expressar suas expectativas ou curiosidades em relação a esse tópico.	“A5” - Não, mas tenho um grande interesse e curiosidade de aprender esse tipo de conteúdo.
	“A24” - Não, mas tenho curiosidade em saber como é esse fenômeno da supercondutividade funciona.
	“A25” - Não ouvi falar, mas parece interessante e gostaria de aprender.

Fonte: O próprio autor, 2024.

Etapa 2ª – Relação dos Conceitos: Supercondutividade & Eletricidades

Nesta etapa, buscou-se estabelecer uma relação entre os conceitos de supercondutividade e a eletricidades aos alunos, assuntos essenciais para compreender os subsunçores como ponto de partida para essa conexão.

O objetivo da APA (Atividade de Pesquisa e Aprendizagem), AVA (Atividade de Verificação da Aprendizagem) e APE (Atividade Prática Experimental) consistiu em

avaliar se os estudantes são capazes de pesquisar em diferentes fontes de informação, destacando os cuidados e recomendações das normas de segurança. Além disso, visou verificar a aprendizagem dos alunos após a realização de atividades experimentais sobre condutividade e o tipo de resistência elétrica. Veja a Tabela 3 com as respostas dos alunos investigados.

Tabela 3: Respostas das Atividades Realizadas.

QUESTÃO	ATIVIDADES - APA
1 - Qual é a diferença entre materiais supercondutores e materiais de resistência elétrica?	<p>“A₂” – os supercondutores têm resistência elétrica nula quando estão em temperatura muito baixa, onde a corrente elétrica não tem perda de energia. A resistência elétrica perde energia durante a condução da eletricidade.</p> <p>“A₆” – para mim, os supercondutores têm resistência elétrica nula quando estão em baixa temperatura, faz com que não perca energia, já a resistência elétrica é o contrário ao fluxo de corrente, pede energia.</p> <p>“A₁₀” – A diferença é que os supercondutores não pedem energia em temperaturas muito baixas. A resistência elétrica apresenta dificuldade no movimento das cargas elétricas.</p>
1 - Qual é a importância das normas e recomendações de segurança nos laboratórios durante a execução de atividades experimentais?	<p style="text-align: center;">ATIVIDADE - AVA</p> <p>“A₂₉” – é fundamental o conhecimento dos aparelhos de laboratório em função e o cuidado de extrema importância para evitar possíveis acidentes.</p> <p>“A₁₉” – De prever as nossas vidas de possíveis acidentes que ponham em risco nossa vida.</p> <p>“A₁₆” – é importante para evitar quaisquer tipos de acidentes durante o experimento realizado pelo professor no laboratório de ciências ou sala de aula.</p>
1 - Vocês já perceberam que existem diferentes maneiras de conectar lâmpadas em uma instalação elétrica, certo? Alguns arranjos são chamados de série e outros de paralelo. Agora, pense um pouco sobre como esses arranjos podem afetar o funcionamento das lâmpadas quando você liga o interruptor. Quais são as principais coisas que você acha que podem ser diferentes entre esses dois tipos de conexões?"	<p style="text-align: center;">ATIVIDADE - APE</p> <p>“A₁₄” – Em paralelo à corrente é dividida, a tensão é a mesma em todos os pontos. Em série, a corrente é a mesma em todos os caminhos e a tensão é dividida.</p> <p>“A₂₀” – Paralelo à tensão é a mesma em todos os caminhos, já a corrente é dividida. Em série com duas ou mais ligações, a corrente é dividida e a corrente é a mesma e a tensão elétrica é dividida.</p> <p>“A₂₆” – a corrente em paralelo é distribuída, a tensão é igual em toda a parte, em série a corrente é contrária a instalação em paralela e a tensão é dividida.</p>

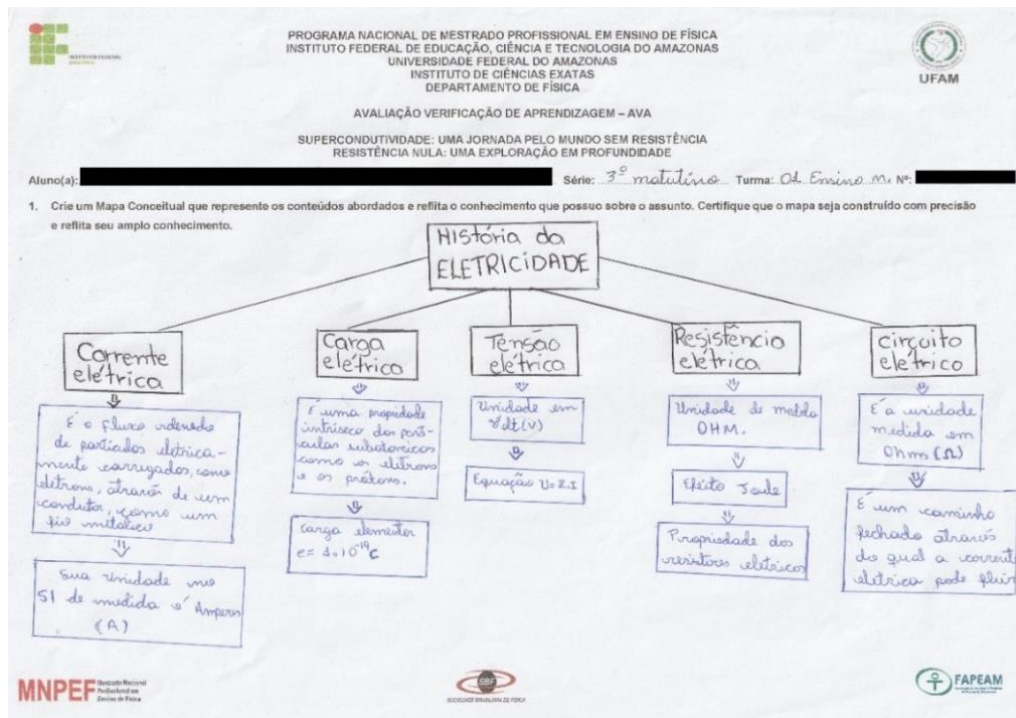
Fonte: O próprio autor, 2024.

Etapa 3ª – Aplicação dos conceitos de supercondutividade de forma compreensível aos alunos envolvidos na pesquisa.

A terceira etapa se encarregou da implementação da atividade que proporcionasse consolidar a compreensão dos estudantes acerca dos conhecimentos sobre: história da eletricidade, propriedade dos materiais condutores e isolante, com ênfase no conceito principal a supercondutividade. Essa atividade organizou-se em seis grupos, cada qual composto por cinco alunos, com o intuito de desenvolver mapas conceituais que evidenciassem os aspectos essenciais desses temas.

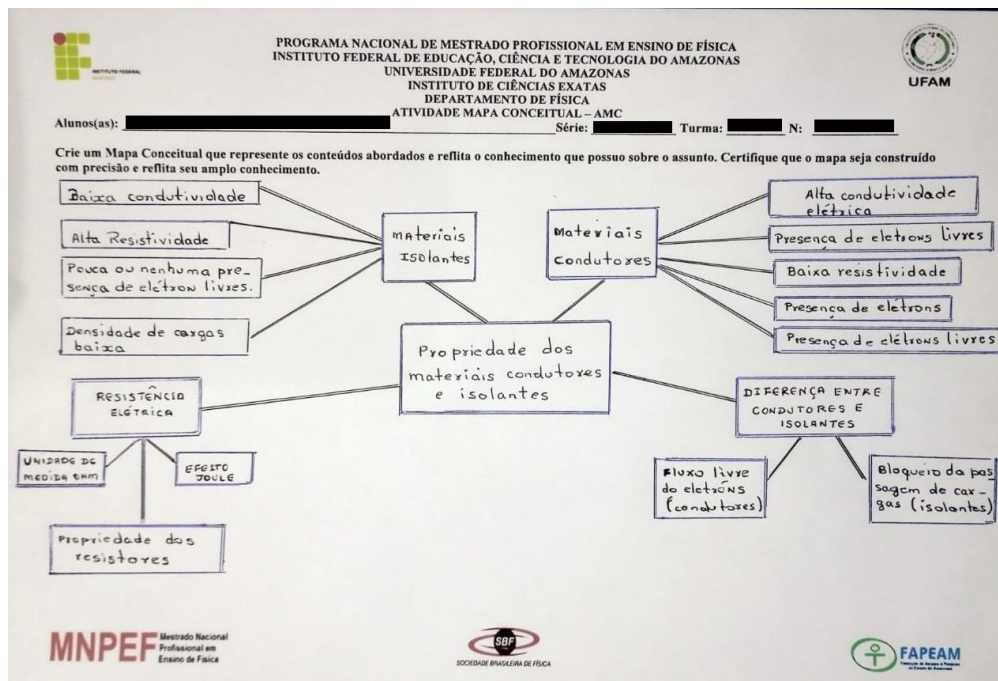
Assim, foram exibidas representações de três figuras de mapas conceituais elaboradas pelos discentes que mais se destacaram dos seis grupos. Cada um desses mapas abordou, de maneira específica, as definições dos tópicos previamente discutidos, com ênfase no fenômeno da resistência elétrica nula. A foto 7a trata da História da Eletricidade, a foto 7b foca nas propriedades dos Materiais Condutores e Isolantes, enquanto a foto 7c se dedica especificamente aos Supercondutores.

Foto 7a: Tema abordado: História da Eletricidade.



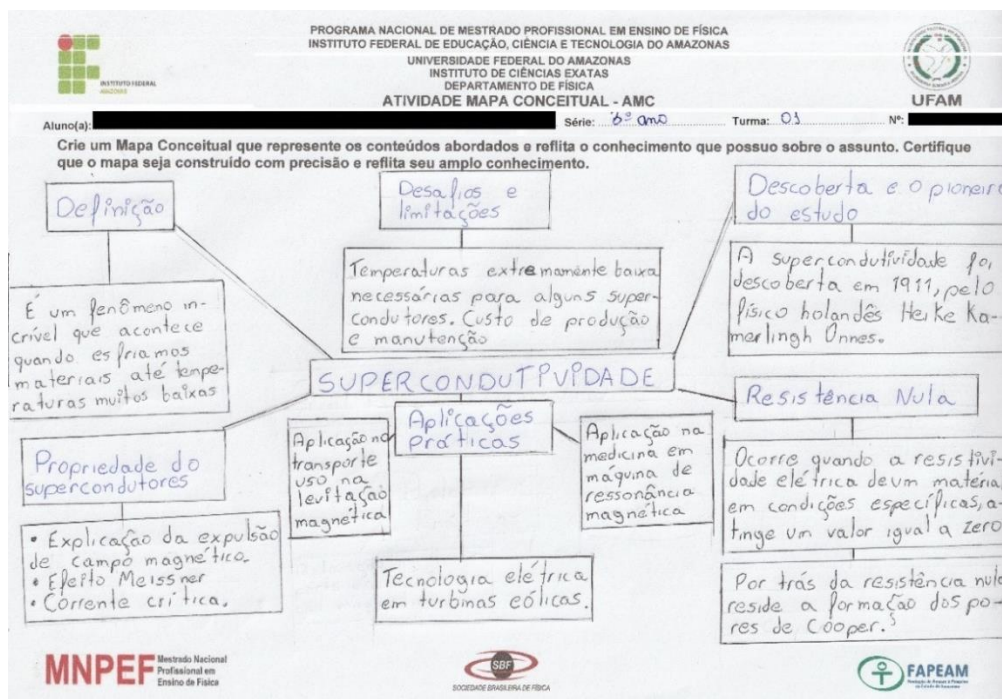
Fonte: Alunos pesquisados, 2023

Foto 7b: Tema abordado: Propriedade dos Materiais condutores e isolantes.



Fonte: Alunos pesquisados, 2023.

Foto 7c: Tema abordado: Supercondutividade.



Fonte: Alunos pesquisados, 2023.

Etapa 4ª – As principais aplicações práticas da supercondutividade.

A quarta etapa teve como objetivo principal despertar o interesse e a curiosidade dos alunos pela física dos supercondutores. Durante essa fase, foi realizada uma exploração da compreensão e das aplicações práticas da supercondutividade, estabelecendo conexões com os conceitos teóricos previamente abordados.

Nesse contexto, foi adotada uma abordagem informal por meio de conversas com os alunos, na qual se questionou sobre o que aprenderam ao longo das seis aulas da sequência didática sobre os supercondutores. Destaca-se que a Aula 4.0 foi especialmente dedicada à introdução do tema das aplicações dos supercondutores.

A avaliação do processo de ensino e aprendizagem se deu através da observação e engajamento dos alunos durante as discussões coletivas e individuais, bem como pela análise de participação ao longo da aula.

Etapa 5ª - Desempenho final dos alunos.

Com base no questionário Avaliação Verificação da Aprendizagem Final (AVAF), foi observado que as perguntas discursivas 1 a 5 exploraram os conhecimentos prévios dos alunos, a introdução dos subsunçores e a importância da descoberta da supercondutividade na contemporaneidade. Essas perguntas foram categorizadas em três tipos: resposta correta, resposta confusa e resposta incorreta, como explicado no subitem sobre Tipo de Pesquisa e Instrumentos de Coleta de Dados.

No que diz respeito à primeira indagação, constatou-se que 80% dos alunos demonstraram compreensão adequada sobre o conceito de corrente elétrica, enquanto 17% apresentaram respostas confusas e uma pequena proporção de 3% indicou respostas incorretas.

Em relação à segunda questão, que abordava sobre a importância dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) no ambiente laboratorial de física, constatou-se que a maioria das respostas, correspondente a 73%, foi classificada como correta. Uma proporção menor, equivalente a 27%, apresentou respostas consideradas, não foi registrada nenhuma resposta classificada como incorreta.

No que se refere à terceira questão, sobre a realização de atividades práticas relacionadas à condutividade e resistência elétrica dos condutores, observou-se que 87% dos participantes forneceram respostas corretas, enquanto 13% apresentaram respostas confusas. Não foram identificadas respostas incorretas nesta análise.

Quando questionados sobre a quarta questão, que aborda a importância da supercondutividade na contemporaneidade, a maioria dos estudantes, correspondendo a 80%, demonstrou uma compreensão adequada do tema. Em contrapartida, 13% dos alunos forneceram respostas consideradas confusas, enquanto 7% apresentaram respostas incorretas.

Em relação à quinta e última questão, que trata da distinção entre supercondutividade e condutores tradicionais em termos de resistência elétrica, observou-se uma distribuição heterogênea nas respostas dos alunos. Os dados revelam que 70% dos alunos apresentam uma compreensão adequada do conceito. Entretanto, 23% dos estudantes forneceram respostas que indicam uma compreensão parcial ou confusa, enquanto 7% representam respostas incorretas. A Tabela 4 apresenta a distribuição das respostas corretas, confusas e incorretas para as perguntas subjetivas 1 a 5.

Tabela 4: Resposta das questões 1 a 5 referentes às perguntas subjetivas do AVAF

QUESTÃO	CATEGORIA DE ESCALAS DAS PERGUNTAS SUBJETIVAS		
	Corretas	Confusas	Incorretas
1. Explique com suas palavras o que você entende como corrente elétrica?	24 (80%)	5 (17%)	1 (3%)
2. Como os EPIs e os EPCs utilizados no laboratório de física durante atividades experimentais contribuem para a segurança e o bem-estar dos envolvidos? Cite os nomes dos principais equipamentos de proteção.	22 (73%)	8 (27%)	0 (0%)
3. Como você interpretou os conceitos de condutividade elétrica e resistência elétrica após a atividade experimental no laboratório de Ciências? Poderia fornecer um esboço de um circuito elétrico simples e identificar quais são os componentes básicos circuitos?	26 (87%)	4 (13%)	0 (0%)
4. Na sua opinião qual a importância da supercondutividade para a atualidade?	24 (80%)	4 (13%)	2 (7%)
5. Como a supercondutividade se diferencia dos condutores tradicionais em termos de resistência elétrica?	21 (70%)	7 (23%)	2 (7%)

Fonte: O Próprio autor, 2024.

As perguntas 6 a 10 do AVAF foram formuladas como questões objetivas, apresentadas com cinco alternativas distintas (A, B, C, D e E). O propósito é avaliar o conhecimento dos alunos em relação à aplicação da Sequência Didática, abordando conceitos específicos sobre supercondutividade. Essas indagações visam explorar a compreensão dos discentes acerca dos seguintes temas: a definição de supercondutividade; as alterações na resistência elétrica de um material supercondutor quando submetido a temperatura extrema; as capacidades conferidas aos supercondutores em termos de condução elétrica; a compreensão do fenômeno da resistência elétrica nula em supercondutores; e as aplicações práticas dos supercondutores.

Embora apenas essas questões tenham sido analisadas como fonte de dados, é pertinente mencionar que outras seis atividades foram utilizadas como parte do processo sequencial de conhecimento, reforçando a abordagem pedagógica, promovendo um desenvolvimento progressivo do conhecimento sobre o tema em análise, contribuindo para a elaboração do referido processo de ensino e aprendizagem.

A sexta questão explorou o conhecimento dos alunos sobre o fenômeno da supercondutividade, indagando *“O que é supercondutividade?”*. Os resultados revelam que 87% dos discentes selecionaram corretamente a alternativa representada pela letra “C”. Em contrapartida, 10% optaram pela opção “B” e 3% pela “D”, enquanto as alternativas “A” e “E” não foram escolhidas.

A sétima questão visou avaliar o entendimento dos alunos sobre *“O que acontece com a resistência elétrica de um material supercondutor quando resfriado a temperaturas muito baixas?”*. Os dados indicam que 80% dos discentes selecionaram a alternativa “C”, que corresponde à resposta correta. Em contrapartida, 7% optaram pelas alternativas “B” e “D”, enquanto 3% selecionaram as alternativas “A” e “E”, ambas incorretas.

A oitava questão abordou a capacidade dos supercondutores em manipular a eletricidade, questionando *“O que os supercondutores permitem fazer com a eletricidade?”*. Os resultados mostraram que 90% dos estudantes optaram pela alternativa “C”, indicando um conhecimento significativo sobre os efeitos dos supercondutores na condução elétrica. Por outro lado, 7% optaram pela alternativa “A” e 3% pela alternativa “B”, enquanto as alternativas “D” e “E” não foram citadas.

A análise da nona questão teve como intuito aferir o entendimento dos alunos sobre *“O que é a resistência elétrica nula em supercondutores?”*. Observou-se que 87%

dos alunos compreendiam o conceito, escolhendo a alternativa “D”. Em contraste, 7% selecionaram a letra “E” e 3% marcaram as letras “A” e “B”, sendo que nenhum aluno escolheu a alternativa “C”, todas incorretas.

A décima questão abordou as aplicações práticas dos supercondutores, visando estimular a curiosidade dos alunos tanto no ambiente intraescolar quanto no extraescolar. A questão indagou sobre “*Quais são as principais aplicações práticas da resistência elétrica nula em supercondutores?*”. Os resultados da análise de dados revelaram que 87% dos participantes demonstraram compreensão acerca das aplicações dos supercondutores, selecionando a resposta correta representada pela alternativa “D”. Enquanto 7% optaram pela letra “B”. Em contraste, 3% escolheram as alternativas “A” e “C”, enquanto nenhum participante optou pela alternativa “E”. Portanto, todas as dez questões resultaram em uma análise satisfatória sobre a eficácia da sequência didática utilizada na introdução dos conceitos de resistência elétrica nula nas aulas de eletrodinâmica.

A Tabela 5 apresenta a distribuição percentual das escolhas dos alunos, organizadas segundo a prevalência percentual mais elevada de marcações referentes às questões 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 5: Análise das questões 6 a 10 das perguntas objetivas

QUESTÃO	ALTERNATIVA				
	C	B	D	A	E
6. O que é supercondutividade?	26 (87%)	3 (10%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)
7. O que acontece com a resistência elétrica de um material supercondutor quando ele é resfriado a temperatura muito baixas?	C	B	D	A	E
	24 (80%)	2 (7%)	2 (7%)	1 (3%)	1 (3%)
8. O que os supercondutores permitem fazer com a eletricidade?	C	A	B	D	E
	27 (90%)	2 (7%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)
9. O que é a resistência nula em supercondutores?	D	E	A	B	C
	26 (87%)	2 (7%)	1 (3%)	1 (3%)	0 (0%)
10. Quais são algumas aplicações práticas da resistência nula em supercondutores?	D	B	A	C	E
	26 (87%)	2 (7%)	1 (3%)	1 (3%)	0 (0%)

Fonte: O próprio autor, 2024.

4.2 DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados foi organizada em duas seções. A primeira examina a percepção dos docentes e a possível implementação do conceito de supercondutividade como prática pedagógica nas aulas do ensino médio regular.

A segunda seção dedica-se à análise da Atividade de Verificação da Aprendizagem Final, cujo objetivo foi entender como a metodologia proposta impactou o aprendizado dos alunos, destacando tanto a eficácia quanto os desafios encontrados na implementação da sequência didática.

Essa estrutura de discussão permitiu uma análise sistemática e ampla dos diferentes elementos da pesquisa, fornecendo dados valiosos sobre a prática pedagógica dos professores investigados, a eficácia da sequência didática aplicada aos alunos.

4.2.1 Análise dos Dados dos Questionário ao Professores Pesquisados

A análise do Questionário Prático Pedagógico (QPP) referente à Questão 1 revelou-se ser relevante a introdução do tema supercondutividade no contexto do ensino de física. Esse processo teve como intuito verificar se os resultados foram alinhados com a metodologia adequada e efetiva para transmitir esses conceitos no ensino médio.

No geral, os professores combinaram a teoria com a prática, objetivando potencializar a compreensão e o envolvimento ativo dos discentes. No entanto, o sucesso dessa abordagem estará condicionado à efetiva execução das aulas práticas e do nível de engajamento dos alunos, bem como à habilidade do docente em facilitar a transição eficaz entre os aspectos teóricos e práticos do processo de ensino no contexto educacional.

Lahera e Forteza (2012) destacam a importância da metodologia que integra teoria e prática para consolidar o conhecimento dos discentes. Segundo os autores, esse enfoque é viável mediante a integração cuidadosa de sucessivas etapas de aprendizagem, permitindo que os alunos adquiram conhecimentos prévios com seus educadores e, posteriormente, apliquem esses conhecimentos ao realizar atividades práticas.

A abordagem recomendada por Lahera e Forteza (2012) é uma valiosa contribuição para a promoção de uma educação efetiva, enfatizando a relevância da conexão entre teoria e prática no processo educacional. Essa perspectiva ressalta a necessidade contínua de implementação de estratégias pedagógicas que fortaleçam a interconexão entre teoria

e prática, visando enriquecer as experiências de aprendizado dos discentes e proporcionando uma formação sólida e aplicável.

A realização de experimentos práticos mencionados na Questão 2, aos educadores B, D, E, G e I, afirmaram que abordariam temática relacionada aos supercondutores. Embora tais abordagens demandem recursos financeiros e infraestrutura técnica consideráveis, o que pode tornar a tarefa mais complexa, eles procurariam utilizar materiais acessíveis para tornar eficazes. Convém destacar que o acesso a laboratórios devidamente equipados não é universal, especialmente em instituições de ensino público estadual.

Os professores A, C, F e H, por sua vez, utilizariam principalmente os conceitos teóricos como fonte de transmissão. No entanto, a atividade prática não seria descartada em nenhum momento, dependendo da iniciativa dos professores em chamar a atenção dos alunos para as atividades.

A prática experimental proporciona ao discente a oportunidade de edificar seu conhecimento de maneira autônoma, fornecendo habilidades e incentivando o hábito de questionamento. Sendo assim, o papel do docente é essencial, atuando como orientador nesse processo, ao mesmo tempo, em que registra e organiza as ideias geradas durante a experimentação (Dickman, *et al.*, 2009).

A análise das respostas fornecidas pelos docentes à Questão 3, concernente à sua capacidade para lecionar conteúdos relativos à supercondutividade e ao princípio de Física Moderna Contemporânea, evidencia limitações substanciais. Apesar de apresentar disposição, surgem preocupações quanto à sua eficácia e adequação para transmitir tais conceitos aos estudantes do ensino médio.

Para De Oliveira Pereira e Aguiar (2006), o desinteresse observado no estudo da física moderna contemporânea não se deve à ausência de aplicações práticas no cotidiano dos estudantes, uma vez que essa disciplina está presente, por exemplo, no funcionamento de dispositivos eletrônicos presentes na maioria dos lares brasileiros. Os autores enfatizam que não se pode considerá-la uma disciplina intrinsecamente difícil de ensinar e aprender. As limitações identificadas, como argumentado pelos autores, refletem a baixa qualidade do ensino brasileiro, evidenciando a necessidade de revisão das práticas pedagógicas. Dentre essas limitações, alguns aspectos devem ser considerados: complexidade dos tópicos, contextualização, redução do tempo de aula e a conexão com a realidade dos alunos.

O estudo de Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) destaca que, para a efetiva concretização das mudanças no currículo, não é suficiente apenas introduzir novos temas que permitam a análise e o estudo de problemas contemporâneos. É necessário também assegurar que haja uma preparação adequada dos alunos dos cursos de licenciaturas para poderem implementar essas mudanças eficazmente.

Em resumo, a ausência de técnicas metodológicas específicas para lidar com a complexidade dos temas em questão, aliada à falta de habilidades para contextualização, otimização do horário escolar e estabelecimento de ligações pertinente com cotidiano dos alunos. Todos esses fatores indicam a necessidade de uma avaliação profunda da aptidão pedagógica dos docentes e dos métodos de ensino a serem empregados antes de assumir a responsabilidade de lecionar esses temas.

As respostas dos professores A, B, C, E e G à Questão 4, referente à sua formação profissional para lecionar conteúdo da Física Moderna aos estudantes do ensino médio, revelam uma auto percepção crítica, indicando a necessidade de uma reflexão sobre a eficácia de sua preparação acadêmica. Os educadores reconhecem que sua formação profissional obtida no curso de Licenciatura em Física, embora suas aulas tenham qualidade, não os preparam adequadamente para lecionarem aspectos práticos relacionados a alguns tópicos de Física Moderna.

A observação realizada pelos docentes D, F, H e I sobre a ausência de atividades práticas destaca um descompasso entre a formação recebida e a demanda por uma metodologia mais prática e experimental, especialmente ao lidar com conceitos complexos da Física Moderna. Sendo assim, Araújo e Abib (2003) ressaltam que o emprego de atividades práticas experimentais continua a ser uma estratégia importante na aprendizagem dos alunos. A realização prática dessas atividades possibilita a verificação de leis e teorias físicas, permitindo aos discentes refletirem sobre seus próprios conceitos, leis ou fenômenos físicos existentes e, inclusive, formularem seus próprios entendimentos.

Nas respostas à Questão 5, todos os professores indicaram que utilizariam os conceitos e teorias como base para suas aulas. No entanto, os docentes B, C, E e I iniciariam com conceitos teóricos e atividades nos cálculos nos três primeiros bimestres, enquanto os A, D, F e G se concentrariam em utilizar conhecimentos previamente estudados.

A integração entre teoria e prática, a metodologia pedagógica e a promoção de discussões são fundamentais para um ensino eficaz. Contudo, destaca-se a ausência de

uma preparação adequada para a realização de atividades práticas, comprometendo a abordagem ativa dos conceitos de Física Moderna.

Para Araújo e Abib (2003), a experimentação e a teoria no ensino de física são uma das ferramentas importantes para o aluno aprender os conceitos concretamente, onde possa conectar com o seu cotidiano.

Diante da complexidade dos tópicos, como supercondutores é categórico assegurar a compreensão dos alunos para evitar que a prática seja percebida como desprovida de significado. A análise aponta para fragilidades que dificultam práticas pedagógicas eficazes no ensino de Física Moderna no ensino médio regular. Em síntese, é fundamental garantir que os alunos compreendam os conceitos subjacentes aos fenômenos observados, a fim de evitar que a demonstração prática seja percebida como uma exibição desprovida de significado ou mero artifício.

A utilização combinada da experimentação e teoria no ensino de ciências físicas, conforme os pontos de vistas de Araújo e Abib (2003) e Lahera e Forteza (2006), emerge como estratégia essencial para facilitar a assimilação concreta de conceitos pelos discentes. Neste caso, é imprescindível que os referidos conceitos sejam apresentados em um ambiente propício, estabelecendo conexões expressivas com a realidade dos alunos. O emprego sinérgico de experimentação e teoria não apenas propicia uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados, mas também fomenta a contextualização desses conceitos no cotidiano dos estudantes.

4.2.2 Discussão e Análise da Atividade de Verificação da Aprendizagem Final

A partir dos resultados obtidos por meio do questionário aplicado na Atividade de Verificação da Aprendizagem Final, a avaliação central deste estudo concentrou-se na eficácia da concepção da sequência didática para a introdução dos conceitos de supercondutividade aos alunos do 3º ano do Ensino Médio.

A discussão e análise específica das respostas dos discentes em relação às atividades realizadas nas aulas implementadas durante a pesquisa estão organizadas em quatro etapas. Na primeira etapa, procedeu-se à introdução dos conhecimentos prévios aos discentes. A segunda etapa visou estabelecer relação entre os conceitos de supercondutores e eletricidades. Na terceira etapa, subdividiu-se em duas partes: a primeira parte realizou-

se análise dos conceitos e características dos supercondutores, e a segunda parte destinou-se a apresentar as principais práticas relacionadas aos supercondutores. Por fim, a quarta etapa destinou-se à avaliação final do produto educacional.

Introdução dos Conhecimentos Prévios

A introdução dos conhecimentos prévios permitiu analisar, por meio de uma Avaliação de Verificação da Aprendizagem Diagnóstica (AVAD), o entendimento dos discentes em relação aos conceitos básicos de eletricidade, tais como corrente elétrica, resistência elétrica e outros. Enquanto alguns estudantes demonstram compreensão da corrente elétrica como um fluxo de cargas elétricas, outros apresentavam interpretações mais amplas, associando-a à energia que percorre fios condutores. Quanto à resistência elétrica, as respostas indicam uma percepção geral de que se trata de materiais que dificultam a passagem da corrente elétrica, embora tenham havido variações nas descrições conforme foram estabelecidos na classificação das análises das perguntas.

No que diz respeito ao conhecimento sobre supercondutividade, é notável que grande parte dos alunos ainda não ouviu falar do fenômeno. No entanto, a maioria demonstrou curiosidade e interesse em aprender sobre o tema. Essa falta de familiaridade inicial pode representar uma oportunidade para introduzir o tópico de supercondutores de maneira envolvente e educativa, aproveitando o interesse manifestado pelos alunos.

Esses resultados destacam a importância de uma abordagem pedagógica que transcende a simples transmissão de informações, buscando envolver os alunos em experiências de aprendizagem que estimulem a curiosidade e promovam uma compreensão profunda dos conceitos elétricos, incluindo a supercondutividade. Essa abordagem demonstrou ser positiva e decisiva, ao evidenciar que para compreender novos conceitos é necessário estabelecer relações com as definições conhecidas, visando alcançar os objetivos educacionais propostos.

Relação dos conceitos: supercondutividade x Eletricidade

As respostas dos estudantes relacionados à Atividade de Pesquisa e Aprendizagem (APA), à Avaliação de Verificação da Aprendizagem (AVA) e à Atividade Prática Experimental (APE) evidenciaram uma diversidade de compreensões, abordando diferentes aspectos das questões propostas.

Na questão “c” da APA sobre a diferença entre materiais supercondutores e materiais com resistência elétrica, observou-se um entendimento geral sobre a resistência elétrica em supercondutores, particularmente em baixas temperaturas. Algumas respostas destacaram a ideia de perda de energia devida à resistência elétrica, evidenciando uma compreensão mais aprofundada do fenômeno.

No que diz respeito à importância das normas de segurança em laboratórios, conforme abordado na Questão 1 do AVA, os alunos reconhecem a relevância do conhecimento dos equipamentos e a adoção de precauções para prevenir acidentes. A resposta “A19” destaca a dimensão preventiva das normas, relacionando-as diretamente à preservação da vida.

Quanto à última atividade, referida na Questão 1 do APE, que aborda os arranjos de lâmpadas em instalações elétricas, as respostas evidenciam um entendimento diferenciado entre conexões em série e paralelo. Os alunos mencionam corretamente a divisão de corrente e tensão nos arranjos em paralelo, demonstrando uma compreensão adequada dos conceitos elétricos fundamentais.

Diante desses resultados, as respostas indicam uma variedade de níveis de conhecimento e compreensão por parte dos participantes, sugerindo a necessidade de implementação de metodologias de ensino diferenciadas. Esses instrumentos pedagógicos foram direcionados a atender às distintas necessidades individuais desta pesquisa, promovendo a relação entre conceitos já assimilados e aqueles que ainda não foram internalizados pelos alunos.

A consideração dessas diferentes percepções dos alunos reconhece a diversidade de capacidades e estilos de aprendizado, como também a importância de fazer trabalhos que estabeleçam ligações entre os conhecimentos prévios dos alunos e os conceitos novos, favorecendo uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

Análise do conceito de supercondutividade e suas características de forma contextualizada.

A análise dos resultados relacionados aos conceitos de supercondutividade foi implementada por meio de exposição de aula, utilizando slides, vídeo aulas e textos de apoio pertinentes ao tema proposto. A avaliação de uma das características dos supercondutores dividiu-se em três partes: A primeira parte proporcionou realização de um feedback em relação aos temas anteriormente abordados, integrando-os ao conteúdo de forma introdutória. Logo após, a segunda parte implementou atividade prática, consistiu na elaboração de mapas mentais pelos discentes e a terceira parte apresentou as principais aplicações práticas da supercondutividade.

A implementação da primeira parte observou-se que os alunos A₁ até A₂₁ pesquisado na atividade em grupo demonstraram conhecimento concreto sobre o tema e suas definições. Em contraste, os alunos A₂₂ até A₃₀ enfrentam limitações no entendimento dos estudos, especificamente em relação às características dos supercondutores e à compreensão de alguns fenômenos associados.

Os conhecimentos adquiridos nessa etapa foram contextualizados de maneira que os estudantes compreendessem as ideias centrais de estudo, buscando estabelecer relações por meio da incorporação de novas informações aos conhecimentos preexistentes. Essas metodologias foram empregadas como uma âncora cognitiva para facilitar a assimilação de novas ideias e promover uma aprendizagem significativa.

A segunda parte consistiu na elaboração de mapas mentais elaborados pelos discentes, com o objetivo de refletir a aprendizagem adquirida ao longo das aulas precedentes, bem como a compreensão da aula atual sobre supercondutividade.

A terceira parte da análise dedicou-se a explorar as principais aplicações práticas dos supercondutores. Foram utilizados vídeos e atividades de discussão em grupos para auxiliar na compreensão dos alunos.

A metodologia adotada nesta etapa proporcionou uma integração ativa entre os conteúdos utilizados, incentivando os alunos a relacionar e aplicar o conhecimento adquirido. A utilização de mapas mentais como instrumento visual promoveu uma representação concreta dos conceitos, facilitando a compreensão e internalização das informações pelos alunos.

Essas atividades demonstraram-se eficazes, por permitirem que os alunos interagissem e realizassem o trabalho em grupo. Em se tratando das aplicações dos supercondutores, permitiram-se que os alunos conhecessem diversos setores benéficos à sociedade, como no transporte, na geração de energia e na saúde. Muitos começaram a compreender essas aplicações, das quais anteriormente não tinham conhecimento.

Contudo, percebeu-se que, mesmo que alguns discentes não tenham assimilado todos os conceitos, as atividades utilizadas contribuíram expressivamente para compreensão e assimilação dos conteúdos. No entanto, devido à complexidade e a falta de laboratórios equipados com materiais sensíveis, não foi possível realizar uma atividade prática.

Discussão e análise do desempenho da avaliação de verificação final

Os resultados analisados sobre a compreensão dos estudantes em relação aos conceitos abordados permitiram concluir sobre o impacto da abordagem pedagógica proposta. Dentre as cinco questões subjetivas abordadas, foram escolhidas para discussão da análise as 1, 2, 4 e 5. Quanto às perguntas objetivas, foram escolhidas as questões 6, 9 e 10, que abordam sobre o conceito e fenômenos da supercondutividade e suas aplicações práticas na sociedade.

Essa seleção baseou-se na necessidade de examinar tanto aspectos subjetivos, que envolvem a compreensão mais dos conceitos, quanto aspectos objetivos, que possibilitam avaliar o conhecimento factual dos alunos sobre os temas abordados. A análise dessas questões permitiu um entendimento amplo do impacto dessa metodologia pedagógica na assimilação e internalização dos conceitos pelos discentes.

Quanto à primeira indagação, os resultados revelam uma tendência positiva em relação à compreensão dos alunos sobre o conceito de corrente elétrica. Notavelmente, 80% dos participantes demonstraram uma compreensão correta do tema, indicando uma concreta base de conhecimento nesse aspecto da eletrodinâmica. Este indicativo positivo encontra respaldo nas respostas fornecidas pelos participantes, as quais, segundo a pesquisa realizada, foram consideradas corretas. Para exemplificar, o discente A₉ expressou: *“É o fluxo ordenado de partículas eletricamente carregadas, como os elétrons, mediante*

um condutor como fio metálico, sendo medida em ampère". De maneira análoga, o discente A₂₅ definiu corrente elétrica como o *"fluxo ordenado de elétrons em um condutor"*.

No entanto, é relevante observar que 17% dos alunos apresentaram respostas confusas. Esse aspecto pode apontar para diferentes interpretações do conceito pelos alunos, indicando áreas potenciais de aprimoramento no processo de ensino. Exemplificando essas respostas confusas, temos o aluno A₁₅, que afirmou: *"Ela que conduz às eletricidades e que os movimenta o ponto em um circuito aberto"*. Já o estudante A₂₄ expressou: *"Corrente elétrica fala tudo sobre eletricidade com positivo e negativo de cada corrente elétrica"*. Essas manifestações revelam interpretações que, embora não incorretas, denotam uma certa imprecisão e confusão nos conceitos relacionados à corrente elétrica.

Ademais, a identificação de 3% de respostas incorretas indica a presença de uma minoria de alunos que não assimilou adequadamente o conceito de corrente elétrica, indicando a necessidade de estratégias pedagógicas alternativas para aprimorar o entendimento desses estudantes. As respostas incorretas fornecidas pelos estudantes A₂₂ *"não entendo muitas coisas, mas não são elétrons e prótons"*, e A₂₃, *"Diferença de potencial na energia elétrica"*, demonstraram interpretações equivocadas do conceito em questão. A resposta de A₂₂ indica uma falta de clareza sobre o conteúdo, mencionando elétrons e prótons de forma não pertinente à definição de corrente elétrica. Por sua vez, a resposta de A₂₃ aborda a diferença de potencial, evidenciando uma associação inadequada entre conceitos elétricos.

Embora a maioria dos alunos tenha demonstrado proficiência no entendimento do conceito de corrente elétrica, a presença de respostas confusas e incorretas destaca a importância contínua da avaliação e aprimoramento das práticas metodológicas. Para Halliday e Resnick (2009), a corrente elétrica é definida como o movimento de partículas carregadas, entretanto, é relevante notar que nem todas as partículas carregadas em movimento resultam na produção de corrente elétrica. Para que esse fenômeno ocorra, é necessário existir um fluxo líquido de carga por uma superfície.

A segunda questão abordou os cuidados de segurança, tanto individuais quanto coletivos, adotados no laboratório de Ciência. Os resultados da análise referente à segunda questão sobre a importância dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletivo (EPCs) para a segurança dos estudantes durante a realização de atividade no laboratório de Ciências refletem uma compreensão satisfatória

por parte dos discentes. Com 73% das respostas consideradas corretas, observou-se que a maioria dos alunos demonstrou entendimento adequado acerca da importância desses equipamentos na promoção da segurança individual e coletiva durante atividades experimentais.

As respostas fornecidas pelos alunos A₁₇ e A₁₉ colaboraram para essa percepção. O discente A₁₇ expressou “*Sim, bastante, principalmente quando fazemos atividades práticas envolvendo alguns tipos de eletricidade ou reações químicas perigosas*”. O aluno A₁₉ respondeu: “*Contribui de forma para que ninguém se machuque durante um experimento realizado pelo professor*”.

A ausência de respostas incorretas constitui um indicativo positivo, evidenciando que os estudantes estão cientes da vital relevância dos EPIs e EPCs para prevenir acidentes e garantir a integridade física no ambiente laboratorial, inclusive para as instituições que não possuem laboratórios. Os 27% de respostas confusas indicam que os alunos não têm uma compreensão clara ou completa sobre o papel desses equipamentos de proteção.

No estudo conduzido por Pimentel (2019), destaca-se a carência de adesão ao uso de EPIs durante a realização de atividades práticas experimentais, mesmo diante da conformidade com a legislação que prescreve a obrigatoriedade de sua utilização por parte dos alunos, funcionários e professores. Diante desse cenário, a preocupação relacionada à segurança dos indivíduos no ambiente escolar assume uma preeminência substancial, evidenciando a possibilidade de ocorrência de acidentes.

Ao abordar a quarta questão sobre a importância da supercondutividade na atualidade, 80% dos alunos demonstraram uma compreensão adequada desse fenômeno, indicando que os participantes conseguiram identificar e entender o tema supercondutividade. Diante disso, os 13% de respostas confusas e 7% de respostas incorretas mostram que uma parcela minoritária dos alunos pode não ter entendimento preciso sobre o tema. As opiniões dos estudantes em relação às questões foram examinadas, destacando-se as respostas corretas, confusas e as incorretas.

O participante A₈ e A₁₀ expressaram compreensões corretas sobre a relevância da supercondutividade. O participante A₈ afirmou: “*Foi algo muito bem pensado, que ajudou bastante na economia de energia. Acredito que futuramente a economia de energia no mundo será maior ainda*”. O participante A₁₀ reconheceu que “*a descoberta da*

supercondutividade é de grande importância para a atualidade, ao ser através dela que temos novos avanços em várias áreas da tecnologia”.

Já as respostas confusas foram apresentadas por A₁ e A₉. A₁ mencionou que a supercondutividade *“impulsiona o avanço tecnológico”*, enquanto A₉ afirmou que *“moderniza o campo elétrico”*. Essas respostas indicam uma compreensão parcial.

Por fim, as respostas incorretas de A₂₃ e A₂₇ demonstraram interpretações equivocadas. A₂₃ expressou: *“Será ótimo para o Brasil, pois terá energia”*, enquanto o participante A₂₇ associou que *“será muito bem-vindo, pois teremos energia elétrica com temperatura alta”*.

Em relação à quinta questão, que trata da distinção entre supercondutividade e condutores tradicionais em termos de resistência elétrica, os dados revelam uma distribuição diferente nas respostas dos alunos. A maioria, representando 70% dos alunos, apresentou uma compreensão adequada do conceito, indicando uma percepção correta das diferenças entre supercondutores e condutores tradicionais. Porém, é notável que 23% dos discentes participantes forneceram respostas que indicam uma compreensão parcial ou confusa, enquanto 7% apresentam respostas incorretas.

Dias (2000) enfatizou que os metais, sendo bons condutores elétricos, transmitem eletricidade com facilidade, mas também oferecem alguma resistência à passagem de corrente elétrica, e esse efeito é mais profundo conforme a agitação dos átomos do metal. Em contraste, no contexto dos supercondutores, destaca-se que estes não dissipam energia, permitindo que uma corrente elétrica circule indefinidamente sem atenuação em um anel supercondutor.

Este resultado evidencia que a metodologia utilizada fortaleceu o entendimento dos alunos sobre os supercondutores em comparação com os condutores tradicionais, destacando a importância dessa estratégia didática para promover uma compreensão mais robusta desses conceitos complexos.

A apreciação dos resultados da sexta questão, que investigou o conhecimento dos estudantes sobre o fenômeno da supercondutividade, revela aspectos interessantes quanto ao entendimento da temática. Dos participantes, 87% selecionaram corretamente a alternativa “C”, indicando um acerto expressivo e uma compreensão adequada do conceito de supercondutividade. É plausível inferir que a alternativa “C” apresentava provavelmente

a definição precisa do fenômeno, evidenciando que a maioria dos discentes possuía conhecimento substancial sobre o tema.

Por outro lado, 10% dos alunos optaram pela alternativa “B” e 3% pela alternativa “D”, indicando uma parcela pequena que apresentou uma compreensão parcial ou concepções alternativas sobre o fenômeno da supercondutividade. Essas escolhas podem indicar diferentes entendimentos do conceito ou confusão em relação a aspectos específicos da supercondutividade.

É relevante observar que as alternativas “A” e “E” não foram escolhidas, sugerindo que os alunos não foram induzidos a respostas aleatórias, mas sim fizeram escolhas fundamentadas, mesmo que nem sempre corretas.

Esses resultados evidenciam a importância de estratégias pedagógicas voltadas para a elucidação de conceitos específicos, abordando potenciais pontos de confusão e proporcionando uma compreensão do fenômeno da supercondutividade. Além disso, ressaltam a necessidade contínua de avaliação formativa para identificar e corrigir falhas no entendimento dos alunos, contribuindo para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem nesse contexto específico.

Com base nos estudos conduzidos por Ostermann e Moreira (2001), o fenômeno da supercondutividade encontra-se intrinsecamente relacionado à notável revolução tecnológica observada no final do século. No entanto, para uma compreensão ampla desse tema, é importante abordar conteúdos de física clássica previamente trabalhados no ambiente escolar, a título de exemplo, a Eletrodinâmica e o Eletromagnetismo. Dessa forma, a formação dos professores de física deve ser analisada de maneira crítica diante da complexa tarefa de implementar inovações curriculares nas escolas.

A análise da discussão da nona questão teve como objetivo avaliar o conhecimento dos alunos em relação à característica dos supercondutores, por meio da pergunta “*O que é a resistência elétrica nula em supercondutores?*”. Os resultados indicam uma compreensão expressiva por parte dos discentes, com 87% demonstrando compreensão do conceito ou escolhendo a letra “D” como alternativa correta, enquanto 7% optaram pela alternativa “E”, e 3% selecionaram as letras “A” e “B”. É notável a ausência de respostas direcionadas à alternativa “C”.

Os resultados obtidos refletem uma aprendizagem considerável por parte dos alunos, sugerindo um entendimento substancial do conceito abordado. Contudo, a presença

de respostas incorretas destaca a relevância contínua de desenvolver e aprimorar metodologias pedagógicas que elevem ao máximo a aprendizagem dos alunos.

Nesse contexto, a pesquisa educacional e a prática pedagógica devem caminhar de mãos dadas, buscando constantemente habilidades que promovam uma aprendizagem profunda e demorada. Essa metodologia não apenas proporcionou uma introdução ao conceito de supercondutividade, mas também se utilizou de analogias simples, exemplos práticos, vídeo aulas e experimentos para evidenciar as diferenças entre condutividade convencional e os comportamentos singulares associados à supercondutividade.

A análise e discussão da décima questão exploraram as aplicações práticas da resistência elétrica nula em supercondutores, revelando um entendimento aceitável por parte dos alunos e indicando a eficiência da sequência didática na introdução desse conceito durante a implementação das aulas. Os números de acertos de 87% demonstraram que o conteúdo foi bem assimilado e compreendido pelos alunos. Os outros percentuais de 7% e 3% escolheram, respectivamente, as alternativas “B”, “A” e “C”, e nenhum optou pela alternativa “E”.

Em resumo, os resultados qualificam que a sequência didática sobre supercondutividade teve impacto positivo no entendimento dos discentes. Entretanto, também destacam áreas específicas que podem ser aprimoradas, sugerindo a necessidade de realização, revisão e implementação de pesquisas e trabalhos nesse campo de ensino da física.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou a introdução do tema supercondutividade no ensino médio regular, bem como a percepção dos professores do município de Tabatinga-AM. A pesquisa analisou a elaboração de um produto educacional eficaz, desenvolvido mediante uma sequência didática destinada a introduzir o conceito de supercondutividade para alunos do 3º ano do ensino médio regular.

A introdução da definição de supercondutividade como uma metodologia que torna os conceitos acessíveis e compreensíveis para os alunos, apresenta tarefa desafiadora. No entanto, ao explorar a curiosidade, o interesse e ao despertar nos alunos o gosto pela investigação e pelo conhecimento de suas aplicações, é possível transmitir esses conhecimentos de maneira eficaz.

No que diz respeito ao objetivo central da pesquisa, que consistiu na implementação de produto educacional por meio da sequência didática. Observou-se uma aceitação satisfatória por parte dos discentes, com uma taxa de aprovação de 80% na Avaliação de Verificação de Aprendizagem Final. Este objetivo foi alcançado mediante questões discursivas e objetivas. As perguntas discursivas exploraram os conhecimentos prévios dos alunos e a importância da supercondutividade. Os resultados evidenciaram uma predominância de respostas corretas, indicando uma compreensão satisfatória pela maioria dos alunos. Contudo, foram identificadas respostas confusas e incorretas, apontando para a necessidade de ajustes na abordagem pedagógica. As questões objetivas avaliaram o conhecimento acerca dos fenômenos da supercondutividade, revelando uma compreensão adequada dos conceitos fundamentais.

Foi possível criar uma sequência didática eficiente, baseada em atividades de verificação de aprendizagem, textos de apoio, vídeos didáticos e experimentos práticos. Essa metodologia estabeleceu analogias que facilitassem a compreensão do conceito de supercondutividade para discentes dos anos finais do ensino médio regular. A concepção da sequência considerou os conhecimentos prévios dos alunos, empregando estratégias pedagógicas adequadas para lidar com possíveis dificuldades de compreensão.

Ao longo da pesquisa, foram exploradas as perspectivas prévias de nove docentes que lecionam aulas de física na rede estadual de ensino no município de Tabatinga-AM, em relação à introdução da temática da supercondutividade em suas práticas educativas.

A investigação demonstrou que a implementação foi valiosa, fornecendo estratégias pedagógicas eficientes alinhadas às necessidades e interesses dos alunos. As concepções dos professores sobre sua metodologia e estratégias didáticas para suas aulas envolvendo o tema em estudo indicaram alternativas promissoras de ensino. No entanto, a formação dos professores revelou fragilidades na abordagem de temas específicos da Física Moderna, como, por exemplo, o estudo da supercondutividade. Esses resultados justificam a relevância desta pesquisa em apresentar alternativas para os professores incorporarem o estudo dessa temática em sua prática diária.

Além disso, foi analisada a influência das condições socioeconômicas dos estudantes no processo educativo, evidenciando que tais condições impactam expressivamente a aprendizagem. Destaca-se, portanto, a importância de apoios financeiros e programas de assistência estudantil para mitigar esses impactos e promover uma educação mais equitativa.

É importante destacar que a análise dos dados, realizada com base nas respostas dos estudantes, limitou-se a dez questões. Contudo, o processo de construção do conhecimento incluiu outras seis atividades. Essa observação reforça a abordagem pedagógica adotada, indicando um desenvolvimento progressivo do entendimento sobre o assunto ao longo do estudo.

Este trabalho planeja ser um guia para profissionais da educação em suas práticas pedagógicas, visando facilitar a aprendizagem e promover uma melhor compreensão e aquisição de conhecimento sobre a supercondutividade para os discentes do ensino médio regular e seus fenômenos correlatos. Acredita-se que esta pesquisa contribua em diversas áreas de conhecimento, constituindo-se uma ferramenta em constante processo de aprimoramento.

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos com este guia educacional, o estudo enfrentou diversas limitações e dificuldades, desde a implementação da sequência didática na escola até as limitações temporais para sua elaboração. Reconhecendo que o conhecimento é dinâmico, recomenda-se a realização de revisões e atualizações contínuas, alinhadas ao surgimento de novas diretrizes e avanços referentes à temática.

Ademais, sugere-se a realização de estudos futuros para avaliar a eficácia do material educativo no conhecimento, atitude e prática do público-alvo, tanto antes quanto após o uso deste guia, visando assim aprimorar sua aplicabilidade e impacto na educação.

REFERÊNCIAS

- AURELIO, Gonçalves Filho; TOSCANO, Carlos. *Física: interação e tecnologia*. v. 3. 2º ed. São Paulo: Leya, 2016.
- ALONSO, M.; FINN, E. J. *Física*. São Paulo: Addison-wslei, 1992.
- BARBOSA, Nara Gracy Travessa. *Supercondutividade no Ensino Médio: uma proposta fundamentada na aprendizagem baseada em problemas*. 2016. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ensino de Física) - Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas Ensino de Física. Manaus. 2016
- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. *Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades*. Revista Brasileira de ensino de física, v. 25, p. 176-194, 2003.
- BRANÍCIO, P. S. *Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a Mini-Revolução provocada pela redescoberta do MgB₂: uma abordagem didática*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 23(Rev. Bras. Ensino Fís., 2001 23(4)), 381-390. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/8CSJ5zLMH4ZJdndBGBKJdJwg/?lang=pt#>>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- BERNARDI, Luís Otavio; PANTANO FILHO, Rubens. *Medição da resistividade elétrica em condutores metálicos*. Revista Intellectus, v. 19, p. 55, 2012.
- CHINA PRIVATE TRAVEL. *Shanghai Maglev Train*. Disponível em: <<http://www.chinaprivatetravel.com/attractions/shanghai/shanghai-maglev-train.htm>>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- COSTA, M. B. S.; PAVÃO, A. C. *Supercondutividade: Um século de desafios e superação*. Revista Brasileira de Ensino de Física. V. 34, n. 2, Recife, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/3FwKrZdXXNvMTHs8j4qtMjz/?lang=pt>>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- DE ARAÚJO, Gustavo Rezende et al. *Leis de Ohm*. 2015.
- DE OLIVEIRA PEREIRA, Denis Rafael; AGUIAR, Oderli. *Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação*. Revista Ponto de Vista, v. 3, n. 1, p. 65-81, 2006.
- DIAS, Frederico Carvalho. *Supercondutividade: um tema aberto*. 2000. Disponível em: <https://recil.ensinulusofona.pt/bitstream/10437/2393/1/1078.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- DICKMAN, Adriana Gomes et al. *Atividade experimental de baixo custo no ensino de física: construindo um viscosímetro*. Simpósio Nacional de Ensino de Física, v. 18, 2009.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- _____. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. volume 3. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

_____. Fundamento de Física: Eletromagnetismo. volume 3. ed. 10. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HELERBROCK, Rafael. "Supercondutores"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/os-supercondutores>.>. Acesso em: 21 de jun. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *População do Município de Tabatinga*. IBGE, 2022. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/am/tabatinga. Acessado em: 29 de set. 2023.

JUSTINO, Lucca Radicce. *Supercondutividade e o Efeito Meissner*. Eletromagnetismo Avançado, p. 89. 2020. Disponível em: <https://ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material20202%207600035%20Eletroavancado/SeminarBooklet.pdf#page=97>. Acesso em: 19 set. 2023.

KITTEL, Charles. *Introdução À Física do Estado Sólido*. Tradução: Adir M. Luiz. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A, 2000. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Kittel_introducao_a_fisica_do_estado_sol.pdf. Acessado em 17 de jun. 2024.

LAHERA, J.; FORTEZA, A. *Ciências físicas no ensino fundamental e médio: modelos e exemplos*. Tradução: Antônio Feltrin. Porto Alegre: Artmed, 2006.

LUIZ, Adir Moysés. *Aplicações do Supercondutores na Tecnologia e na Medicina*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

LIMA, Ana Lúcia L. *Metais*. Revista Mundo Educação. 2018. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/metais.htm>>. Acesso em: 22 de out. 2023.

MAGNETIC LEVITATION Vídeo Disponível em: www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms. Acesso em: 23 nov. 2023.

MOREIRA, M. A. *A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel*. In: MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. *O que é afinal aprendizagem significativa*. Instituto de Física-Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais. UFRGS. Porto Alegre: 2012.

MARCONI, E. M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de Metodologia Científico*. 5 ed. São Paulo. Atlas, 2003.

MARTENDAL, Caroline. *Supercondutividade cada vez mais próxima da temperatura ambiente*. 17 ago. 2015. Disponível em: <https://engenheirodemateriais.wordpress.com/2015/08/17/supercondutividade-cada-vez-mais-proxima-da-temperatura-ambiente/>>. Acesso em: 21 de mai. 2023.

NEVES, Glauber Siqueira. *Instalação elétricas: uma proposta para o ensino de eletrodinâmica no 3º ano do ensino médio*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro; Universidade Federa do Amazonas, 2019.

NILSON, James W.; RIEDEL, Susan A. *Circuitos elétricos*. Revisão técnica Antônio Angueth de Araújo, Ivan José da Silva Lopes. 10 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

OLIVEIRA, F. F. de., VIANNA, D. M., & GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. Revista Brasileira de Física, 29 (Rev. Bras. Ensino

Fís., 29(3), 447- 454. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000300016>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

OLIVEIRA, Vinícius Jossé Rodrigues de et al. Aplicação da Lei de Ohm para o ensino médio. 2015.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. Principais Propriedades física dos Supercondutores. In: OSTERMANN, F. *Supercondutores: tema atuais de Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Letície M; CAVALCANTI, Cláudio J. H. (1998 b). *Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio*. Porto Alegre: Instituto de Física–UFRGS, 1998.

OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Letície Mendonça; CAVALCANTI, Cláudio José Holanda. (1998 a). *Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 3, p. 270-288. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/116764>. Acessado em: 15 de set. 2023.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. *Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

PECINATO, Henrique. Efeito da paridade da hibridização em supercondutores multi-bandas. 2017.

PEREIRA, S H.; FÉLIX, M. G. *100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau*. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n1a13.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

PIMENTEL, Reidevandro Machado da Silva et al. *O uso de equipamentos de proteção individual-EPIs na educação profissional do IFAM Campus Parintins: sensibilizar para prevenir acidentes e promover saúde*. 2019. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/5338>. Acessado em: 17 de dez. 2023.

PORTAL, Câmara do Deputados. *Letícia-Tabatinga-mapa-Portal da Câmara dos Deputados*. Palácio do congresso Nacional. 57ª Legislatura – 1ª Sessão Ordinária. 2020. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/english/historico/chamber-of-deputies-news-agency/imagens/leticia-colombia.jpg/view>. Acessado em: 30 set. 2023.

PUREUR, Paulo. *Supercondutividade: cem anos de desafios*. Revista USP, n. 92, p. 142-156, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i92p142-156>. Acesso em: 22 set. 2023

RABELO, E. H. Avaliação: novos tempos, novas práticas. 7. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1998.

RANGEL, Everton. *A supercondutividade*. Prof. Everton Rangel. 2012. Disponível em: <http://profevertonrangel.blogspot.com.br/2012/03/supercondutividade.html>. Acesso em 21 set. 2023.

- REITZ, John R.; MILFORRD, Frederick J.; CHRISTY, Robert W. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.
- RIBEIRO, Daniel. Georg Simon Ohm. *Revista de Ciência Elementar*, v. 2, n. 3, 2014. Disponível em: <http://doi.org/100.24927/rce20144.2344> . Acesso em: 12 set. 2023.
- RIEDEL, Susan A.; NILSON, James W. *Circuitos elétricos*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.
- REIS, Luana Tavares et al. Conceitos básicos da física dos semicondutores apoiado no uso de software e experimento de baixo custo. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/handle/4321/807> . Acesso em 30 fev. 2024.
- ROCHA, Reinaldo C. R. et al. *Motivando os alunos do ensino médio com experimento de baixo custo*. In: IX Encontro Internacional de Ensino e Pesquisa em Ciências na Amazônia, 2019, CSTB/UEA.
- ROSA, Fabiano Mesquita. *Supercondutores: condutividade e resistividade*. 2003. Disponível em: if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Fabiano/supercondutores.htm>. Acesso em: 12 set. 2023.
- SANTOS, Barbará Maria de Oliveira. *Simulação de máquinas supercondutoras de fluxo aprisionado com fitas de segunda geração*. 2019. 115f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luís Coimbra. 2019
- SANTOS, Cintia Aparecida Bento dos; CURI, Edda. *A formação dos professores que ensinam física no ensino médio*. *Ciência & Educação*, v. 18, n. 04, p. 837-849, 2012. ISSN 1516-7313.
- SANTOS, A. C; NASCIMENTO, S. D; SOUZA, D. N. *Ensino de Física Moderna: perspectiva e desafios sob o olhar de alguns professores de Física do Ensino Médio*. *Scientia plena*, [S.I.], v. 12, n. 11. 2016. DOI: 10.14808/sci.plena.2016.112710. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/2970>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- SILVA, D. B. *A supercondutividade e suas aplicações*. Rio de Janeiro. 2003. 39.p. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/2846>>. Acesso em: 12 de fev. 2023.
- SOUZA, Daniel Fonseca de. *Supercondutividade, um estudo sobre os 100 anos*. Elementos para sua divulgação científica. 2012. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade Federal do Amazonas. Departamento de Física. 2012. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3468>>. Acesso: 5 de mar. 2023.
- TIPLER, Paul. A. LLEWELLYN, Ralph. A. *Física dos Estado Sólido*. In: BIASI, R. S. *Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- TIPLER, Paul. A.; MOSCA, G. A. *FÍSICA para Cientistas e Engenheiros, Volume 2: Eletricidade, Magnetismo e Óptica*. Ed: LTC, Rio de Janeiro, 2009. Universidade

Federal do Amazonas. Departamento de Física. 2012. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3468>>. Acesso: 5 de mar. 2023.

VENEGAS URENDA, Pablo A. et al. *Física dos materiais e a tecnologia do século XX*. Ciência & Educação, v. 1, p. 99-127, 1995.

VIEIRA, D. M. *Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio*. 2014. 152f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas. Vitória, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/4784>. Acesso em: 2 de mar. 2023

YOUNG, Hugh D. FREEDMAN, Roger A. *Eletromagnetismo*. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.