

## Ensino de Física e Supercondutividade: Aplicações e Impactos Ambientais no Ensino Médio

DOI: <https://doi.org/10.33871/23594381.2025.23.2.10063>

Pedro Cordeiro da Silva<sup>1</sup>, Andrew da Silva Favacho<sup>2</sup>, João Pedro Alves Ferreira<sup>3</sup>, Alessandra Nascimento Braga<sup>4</sup>, Carlos Alberto Brito da Silva Júnior<sup>5</sup>, Vicente Ferrer Pureza Aleixo<sup>6</sup>

**Resumo:** Este trabalho, vinculado ao projeto de extensão do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências e Física (GPECF) da UFPA busca aprimorar o ensino de Física no Ensino Médio ao incorporar a supercondutividade de forma acessível e interativa, destacando suas aplicações em questões ambientais. A fundamentação teórico-metodológica empregada neste trabalho baseou-se no estudo de caso, com abordagem quantitativa por meio de um estudo descritivo. A abordagem prática incluiu seminário, atividades experimentais e *e-book* para 70 alunos do Ensino Médio da E.E.E.F.M. Raimundo Vera Cruz, localizada no município de Ananindeua-PA. Um pré e pós-questionário contendo 10 questões de múltipla escolha foram aplicados via Google Forms, coletando 70 respostas. Os resultados estatísticos do percentual de evolução dos alunos foram discutidos com base na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e dos recursos práticos utilizados nas aulas que evidenciam melhor entendimento de um conteúdo de física avançado e contemporâneo, como a supercondutividade e suas aplicações em questões ambientais, que não é abordado no Ensino Médio. Essa estratégia educativa não apenas ampliou o entendimento dos alunos sobre a supercondutividade, mas também os capacita a relacionar ciência e inovação com a preservação ambiental. Em suma, este trabalho contribui de forma eficaz para o ensino de Física ao despertar o interesse e a conscientização desses alunos sobre a importância de soluções científicas da supercondutividade para questões ambientais.

**Palavras-chaves:** Ensino de Física, Supercondutividade, Impactos Ambientais Positivos, Educação Prática.

## Physics Teaching and Superconductivity: Applications and Environmental Impacts in High School

**Abstract:** This work is linked to the extension project of the Research Group on Science and Physics Teaching (RGSPT) at UFPA seeks to improve physics teaching in high school by incorporating superconductivity in an accessible and interactive way, highlighting its applications to environmental issues. The theoretical and methodological framework used in this work was based on a case study, with a quantitative approach through a descriptive study.

<sup>1</sup> Graduando em Física, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil. [pedrocordeiro765@gmail.com](mailto:pedrocordeiro765@gmail.com) e <https://orcid.org/0009-0004-5067-123X>.

<sup>2</sup> Graduando em Física, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil. [andrewfavacho10@gmail.com](mailto:andrewfavacho10@gmail.com) e <https://orcid.org/0009-0009-0121-6771>.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia de Energia, UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil. [joao.alves.ferreira@ananindeua.ufpa.br](mailto:joao.alves.ferreira@ananindeua.ufpa.br) e <https://orcid.org/0009-0004-3682-5028>.

<sup>4</sup> Doutora em Física UFPA, Belém, Pará, Brasil. [alessandrabg@ufpa.br](mailto:alessandrabg@ufpa.br) e <https://orcid.org/0000-0001-9880-5648>.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Elétrica, UFPA, Belém, Pará, Brasil. [cabsjr@ufpa.br](mailto:cabsjr@ufpa.br) e <https://orcid.org/0000-0002-7084-8491>.

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Elétrica, UFPA, Belém, Pará, Brasil. [ferrer@ufpa.br](mailto:ferrer@ufpa.br) e <https://orcid.org/0000-0002-6048-3329>.

The practical approach included a seminar, experimental activities and *e-book* for 70 students from E.E.E.F.M. Raimundo Vera Cruz, located in Ananindeua-PA. A pre- and post-questionnaire containing 10 multiple-choice questions was applied via Google Forms, collecting 70 responses. The statistical results of student progress were discussed based on the Theory of Meaningful Learning (TAS) and the practical resources used in class, which demonstrate a better understanding of advanced and contemporary physics content, such as superconductivity and its applications to environmental issues, which is not covered in high school. This educational strategy not only expanded students' understanding of superconductivity, but also enabled them to relate science and innovation to environmental preservation. Finally, the work contributes effectively to making physics teaching more engaging and meaningful, sparking students' interest and raising their awareness of the importance of scientific solutions to environmental issues.

**Keywords:** Physics Education, Superconductivity, Positive Environmental Impacts, Hands-on Education.

## Introdução

O ensino de ciências vem se transformando ao longo das décadas, as metodologias ativas, a contextualização, o impacto das tecnologias e a interdisciplinaridade fazem com que a forma tradicional de ensinar física se transforme numa relação construtivista, em que o aluno passa a ser agente ativo na construção do seu próprio conhecimento (Marques *et al.*, 2021; Silva Jr., 2019).

Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) destacam a importância de incluir tópicos contemporâneos no currículo de ciências, pois muitos alunos não têm contato com o desenvolvimento mais recente da física, especialmente com as descobertas após 1900. Introduzir esses tópicos pode despertar a curiosidade dos alunos e fazê-los perceber que a física é uma atividade humana, próxima de suas próprias experiências.

Para Pszybylski, Motta e Kalinke (2020), o uso das Tecnologias Digitais de Comunicação e Informação (TDICs) ganha destaque nesse sentido, pois a inserção desses recursos como simulações e animações ajudam a apresentar conteúdos abstratos de forma interativa. Bianca *et al.* (2024) ressalta a independência e autonomia dos alunos diante do uso das TDICs, e a necessidade dos alunos estarem expostos a estímulos e interações diferentes para construir suas habilidades e conhecimentos. Segundo Schuartz e Sarmento (2020), isso torna o conteúdo acessível além dos limites físicos da sala de aula, ampliando significativamente o alcance e a flexibilidade do ensino, proporcionando uma experiência mais emissiva para os alunos.

Peres (2021) usou a metodologia centrada em atividades de experimentos em vídeos sobre supercondutividade com alunos do Ensino Médio na tentativa de suprir a ausência de experimentos reais. Os resultados mostram que os alunos tiveram um bom

aprendizado sobre o tema, em que reconheceram a importância dos vídeos-experimentos em seus processos de aprendizagem.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) nº 9394/1996 (Brasil, 1996) para o Ensino Médio tem por objetivo oferecer ao aluno: “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna” (LDB, artigo 36, § 1º, inciso I). A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) recomenda um ensino da Física capaz de proporcionar a compreensão de mundo a partir do contexto vivencial dos alunos (Brasil, 2018). Assim, a supercondutividade é um tema fascinante dentro da Física que tem inúmeras aplicações tecnológicas que pode enriquecer o currículo escolar dentro de um contexto real (Möckli e Azambuja, 2024). Ela é considerada tanto um tópico de física moderna (1900-1945), por ter sido descoberta em 1911 - Prêmio Nobel de Física de 1913 (Studart, 2003), quanto um tópico de física contemporânea (1946-?) por ser um ramo de estudo em pleno desenvolvimento tecnológico de veículos magneticamente levitáveis (MAGLEV), nas bobinas de equipamentos de ressonância magnética nuclear (RMN), motores de alto desempenho, supercomputadores, produção e transmissão de eletricidade, aceleradores de partículas, etc. (Branício, 2001).

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) não trata diretamente o tema supercondutividade como um conteúdo obrigatório ou recorrente nos livros didáticos de Física do Ensino Médio. No entanto, o tema pode aparecer de forma pontual, especialmente em livros voltados para a 3<sup>a</sup> série do Ensino Médio, em capítulos opcionais, seções de curiosidades ou aplicações da Física Moderna. Exemplos possíveis de como aparece: "Você sabia?" ou "Leitura complementar" explicando como a supercondutividade é usada em tecnologias modernas. Em livros com propostas interdisciplinares ou em seções voltadas para projetos e investigações científicas. Raramente em questões de revisão ou em atividades avaliativas regulares.

A BNCC, que orienta o PNLD, não menciona diretamente ou em conteúdos centrais a supercondutividade como conteúdo obrigatório do Ensino Médio. Assim, a supercondutividade pode ser abordada como contextualização ou aprofundamento, especialmente em materiais que tratam de: Física Moderna e Contemporânea (FMC); Efeitos quânticos; Aplicações tecnológicas da Física (ex: trens de levitação magnética, imagem por ressonância magnética – MRI) e Propriedades dos materiais em baixa temperatura.

Aqui está um livro didático “Supercondutividade: Temas atuais de Física”, ideal para professores do Ensino Médio, estudantes e interessados na área (Ostermann e Pureur, 2005).

Apesar, da sustentabilidade e a questão ambiental ser tema frequentemente coberto, particularmente em obras de Ciências da Natureza e Biologia para o Ensino Médio e Anos Iniciais com as diretrizes do PNLD e da BNCC com enfoque nos livros, você encontra: (1) Projetos e seções específicas sobre fontes de energia renováveis, consumo consciente, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e desenvolvimento sustentável PNLD - FTD Educação (Canto, Leite e Canto, 2024); (2) Oficinas, sequências didáticas e textos integrados que discutem práticas sustentáveis, uso racional de recursos e impactos ambientais (Mortimer, et al., 2020).

Festa (2015) mostra que é possível trabalhar assuntos de FMC no ensino regular, pois os alunos apreciam e mostram disposição para aprender assuntos atuais e que o esforço para introduzir pequenas atualizações curriculares é válido e precisa ser incentivado como uma das possíveis alternativas para se alcançar a melhoria de qualidade na Educação Básica.

Em decorrência da escassez do conteúdo de supercondutividade analisados pelos referidos autores na BNCC e nos LDs contemplados no PNLD correspondente ao período de 2020-2024. Assim, selecionamos cinco periódicos brasileiros no sentido de produção do *e-book*, segundo os critérios de maior relevância científica, impacto na área e alinhamento temático com os objetivos da pesquisa. Além disso, os periódicos escolhidos contemplam diferentes subáreas da Física (como Física Teórica, Física Experimental, Ensino de Física, etc.), o que permite uma visão abrangente e equilibrada do campo de investigação sobre a supercondutividade. A seleção foi limitada a cinco títulos a fim de manter a profundidade da análise e viabilizar uma abordagem crítica e detalhada dos conteúdos publicados, evitando dispersões que poderiam comprometer a consistência do estudo. Os cinco periódicos foram usados, como fonte de dados de produção de artigos na área de Ensino de Física que apresentassem a expressão “supercondutividade” no título, nas palavras-chave e/ou no resumo, disponíveis on-line e que integram o Sistema *WebQualis* da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), estratos A1, A2, A3, B2 e C, ver Quadro 1, onde encontramos 17 artigos. A exclusão de outros estratos, como A4, B1, B3 e B4, deveu-se ao fato de não apresentarem publicações relevantes no escopo do estudo, ou por não atenderem aos critérios temáticos definidos. O periódico com estrato A1, A2, A3, B2 e

C tem 12, três, um, um e zero artigos sobre o tema supercondutividade, respectivamente. Porém, a maioria dos artigos (14) aborda a história, o conceito e as aplicações sobre o tema; dois discutem a inserção do tema no Ensino Médio; um é escrito na forma de resenha sobre o livro “supercondutividade” que aborda o tema no Ensino Médio no Apêndice B; nenhum dos artigos discute a questão ambiental e a sustentabilidade relacionada com a supercondutividade. Por isso, nosso trabalho tem extrema importância.

**Quadro 1** – Relação dos 17 artigos de supercondutividade encontrados na pesquisa.

Estrato	Revista	Quantidade de Artigos	Volume/Número/Página /Ano	Título	Autor(es)
A1	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	12	20/3/270-288/1998 23/4/381-390/2001 26/1/11-18/2004 33/2/1-17/2011 33/4/4602(1-15)/2011 34/2/2602-2615)/2012 35/1/1-10)/2013 35/2/1-14/2013 38/3/e3313/2016 40/4/e4213/2018	1. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: Um Texto para Professores sobre Supercondutividade; 2. Introdução à Supercondutividade, suas Aplicações e a Mini-revolução provocada pela Redescoberta do MGB2: Uma Abordagem Didática; 3. Roteiro para a Experiência de Levitação de um Ímã Repelido por um Supercondutor no Ensino de Física; 4. Liquefaction of Gases and Discovery of Superconductivity: Two Very Closely Scientific Achievements in Low Temperature; 5. Studies on the Temperature Dependence of Electric Conductivity for metals in the Nineteenth Century: A Neglected Chapter in History of Superconductivity; 6. Supercondutividade: Um Século de Desafios e Superação; 7. 100 Anos de Supercondutividade e a Teoria Ginzburg-Landau; 8. O Bóson de Higgs 9. On the Similitarity Transformations in Second Quantized Fermion-Boson Interacting Hamiltonian and the BCS Theory; 10. Feynman e os Pólarons; 11. Feynman, a Superfluidez e a	F. Ostermann, L.M. Ferreira, C.H.H. Cavalcanti. P.S. Branício. F.S. Rocha, H.A. Fraquelli. S. Reif-Acherman. S. Reif-Acherman. M.B.S. Costa, A.C. Pavão, S.H. Pereira, M.G. Félix. J.J.M. Pimenta, L.F.B. Belussi, E.R.T. Natti, P.L. Natti. C.A. Dartora, F.K.R. Campos. N. Studart. P.F. Farinas.

			40/4/e4212/2 018 46/4/Supl. 1- e20240094/2 024	Supercondutividade; 12. Magnetic Superconductivity	D. Möckli, M.K. Azambuaia.
<b>A2</b>	Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	3	131- 151/2001	1. 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;	F. Ostermann, M.A. Moreira.
			237- 272/2009	2. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico;	N.T. Massoni.
			339- 340/2017	3. Resenha do livro "Supercondutividade" de Fernanda Ostermann e Paulo Pureur.	R.S. Silva Jr.
<b>A3</b>	Física na Escola (FnE)	1	4/2/28- 29/2003	1. Prêmio Nobel de Física – Supercondutividade e Superfluídez: Manifestação de Efeitos Quânticos na Escala Macroscópica	N. Studart.
<b>B2</b>	Revista Brasileira de Física Tecnológica e Aplicada (RBFTA)	1	2/1/14- 21/2015	1. Construção de junções Josephson do tipo ponte obtidas manualmente em uma pastilha de Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> Sr <sub>2.0</sub> Ca <sub>2.0</sub> Cu <sub>3.0</sub> O <sub>x</sub>	G.Q. Freitas, J. A. Moreto, C. R. Cena, C. L. Carvalho.
<b>C</b>	Revista do Professor de Física (RPF)	-	-	-	-

Sotelo (2000) aplicou a supercondutividade de uma forma simples e qualitativa na sala de aula do Ensino Médio por meio de demonstrações e experiências: (*i*) levitação magnética e (*ii*) medida da resistência elétrica em função da temperatura de um supercondutor. Vieira (2014) propôs uma Sequência Didática (SD) sobre supercondutividade adequada ao currículo da escola de Ensino Médio e potencialmente significativa, capaz de promover também a aprendizagem significativa dos conceitos inerentes ao tema.

De acordo com Costa e Pavão (2012), no processo de ensino sobre supercondutividade, é crucial que os alunos compreendam não apenas os conceitos teóricos, mas também as suas aplicações práticas em problemas reais para melhorar a eficiência energética e mitigar os impactos ambientais negativos, o que estimula um aprendizado mais crítico e contextualizado. Já Ostermann *et al.* (1998) e Ostermann e

Pureur (2005) destacam aplicações em pequena escala, como dispositivos eletrônicos fabricados com materiais supercondutores, revelam um campo vasto e promissor, que está evoluindo rapidamente.

A discussão sobre a viabilidade de abordar conceitos como a supercondutividade no Ensino Médio destaca um ponto importante: a complexidade intrínseca do tema pode ser uma barreira, mas não um impedimento, se adaptado de forma adequada. Assim, o objetivo é aprimorar o ensino de Física no Ensino Médio ao incorporar a supercondutividade (efeitos Meissner, Josephson, etc.), destacando suas aplicações em questões ambientais. Para isso, a proposta parte de alguns elementos estruturais do ensino tradicional (como aula expositiva, organização por conteúdos), mas os combina com recursos contemporâneos (TDICs, experimentos, contextualização ambiental).

## **Metodologia**

Na realização das atividades didáticas com respeito à supercondutividade implementadas para a sala de aula, foi necessário apresentar uma proposta de ensino para a coordenação pedagógica da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio (E.E.E.F.M.) Raimundo Vera Cruz localizada no município de Ananindeua-PA, baseada no projeto de extensão “*Apresentação da Física Quântica como Porta de Ingresso Acadêmico*” (Programa Navega Saberes Infocentro/2023-UFPA - PJ064-2023) do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências e Física (GPECF) da Faculdade de Física do Campus Ananindeua (CANAN) da UFPA. Depois de aprovada, o professor de Física permitiu a realização dessas atividades em dois dias para os encontros na sala de aula com seus alunos em três turmas (101, 103 e 303) do turno da manhã do Ensino Médio que ocorreram em horários distintos nos dias 19 e 26 de outubro de 2023.

A fundamentação teórico-metodológica empregada neste trabalho baseou-se no estudo de caso, com abordagem quantitativa por meio de um estudo descritivo (Melo *et al.*, 2024). A justificativa metodológica para um *e-book* com experimentos sobre supercondutividade voltados ao Ensino Médio precisou abordar algumas questões importantes, como: (1) Por que trabalhar supercondutividade no Ensino Médio? (2) Por que escolher experimentos nesse tema, mesmo que complexos? (3) Por que esses experimentos especificamente? (4) Como isso se articula com a aprendizagem significativa e com as TDICs?

A escolha pelos experimentos que compõem o *e-book* está diretamente relacionada à necessidade de tornar acessível um conteúdo científico avançado, como a

supercondutividade, para estudantes do Ensino Médio. Embora esse tema extrapole o currículo tradicional desse nível, ele permite aproximar os alunos da fronteira do conhecimento científico, despertando interesse, curiosidade e engajamento. A opção por incluir experimentos (demonstrações simples, simulações digitais ou vídeos comentados) visa proporcionar uma experiência visual e prática que auxilie na compreensão de conceitos abstratos como resistência elétrica nula, levitação magnética (efeito Meissner) e transição de fase em materiais supercondutores, uma vez que a replicação real desses fenômenos exige materiais de alto custo e controle criogênico (envolve temperaturas extremamente baixas, geralmente abaixo de -150°C). Assim, buscou-se um equilíbrio entre rigor científico e viabilidade pedagógica, de forma a respeitar as limitações de infraestrutura das escolas e, ao mesmo tempo, manter o potencial formativo da atividade.

A seleção metodológica está alinhada à perspectiva da aprendizagem significativa de Ausubel, pois os experimentos atuam como organizadores prévios, conectando os conhecimentos prévios dos estudantes sobre corrente elétrica, materiais condutores e campo magnético a novas ideias sobre a supercondutividade. Além disso, o uso do *e-book* em formato digital responde às orientações da BNCC sobre o uso de TDICs no processo de ensino-aprendizagem, ampliando as possibilidades de acesso, revisão e aprofundamento dos conteúdos de forma autônoma e interativa.

Dessa forma, a escolha dos experimentos neste *e-book* não visa à reprodução exata do fenômeno em laboratório escolar, mas sim à construção de modelos mentais robustos e compreensão conceitual, aproximando o aluno de temas científicos atuais e contextualizados com aplicações tecnológicas, como o uso de supercondutores em trens de levitação magnética, equipamentos de ressonância magnética e redes elétricas mais eficientes.

Essa metodologia foi aplicada com 70 alunos da referida escola (17, 34 e 19 alunos das turmas 101, 103 e 303, respectivamente) e dividida em dois momentos (ou encontros) de 1h aula em cada turma, totalizando 6 h: (1) aplicação do pré-questionário ou avaliação diagnóstica para identificar as dificuldades e necessidades específicas dos alunos, apresentação oral via datashow/quadro e atividades experimentais investigativas, permitindo que os alunos observassem diretamente os efeitos da eletricidade e magnetismo e fossem desafiados a investigar um problema com o objetivo de promover a aprendizagem significativa e o desenvolvimento do pensamento científico, e (2) utilizou um *e-book* interativo que é um produto digital,

constituído por vários elementos para interagir com seu público, como palavras, imagens, vídeos, links, áudio e outros. Ele foi produzido pelos autores deste trabalho em uma linguagem de fácil compreensão e um questionário digital para complementar e avaliar o aprendizado de forma flexível. Este trabalho teve como ferramenta de coleta de dados os registros de imagens e o levantamento estatístico de um questionário avaliativo de múltipla escolha contendo dez questões com quatro alternativas cada aplicado antes (pré) e depois (pós) da abordagem do conteúdo de supercondutividade via *Google Forms*.

No momento 1, inicialmente, fizemos uma avaliação diagnóstica ao realizar perguntas para os alunos sobre a supercondutividade e praticamente todos responderam não conhecer a supercondutividade. Posteriormente, foram realizados seminários e experimentos práticos para demonstrar conceitos fundamentais, como o efeito Joule e o campo magnético. No experimento do efeito Joule, ver Figura 1, os alunos montaram um circuito simples com palha de aço, fios condutores e pilhas, permitindo que a corrente elétrica aquecesse a palha devido à resistência elétrica. Os alunos tiveram a oportunidade de tocar a palha de aço para sentir o calor gerado para compreender a relação entre resistência e dissipação de energia pelo efeito Joule (calor). No outro experimento, foi realizada a criação de campos magnéticos, utilizando fio de cobre enrolado em um prego para formar uma bobina. Ao passar corrente elétrica pela bobina conectada às pilhas, os alunos observaram o prego sendo atraído pelo campo magnético, o que reforçou a compreensão da interação entre eletricidade e magnetismo.

**Figura 1** - Demonstração do efeito Joule através da atividade prática para os alunos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os experimentos práticos, como a demonstração do efeito Joule e a criação de campos magnéticos, ajudaram os alunos a visualizar conceitos físicos de maneira prática e interativa. Isso facilitou a compreensão da supercondutividade, destacando a importância da eficiência energética e a conexão entre eletricidade e magnetismo.

No momento 2, o *e-book* interativo foi introduzido para combinar o ensino da supercondutividade ao ambiente digital, oferecendo outra alternativa interativa ao

método tradicional, ver <https://www.canva.com/design/DAFqZpqpB34/F4yyUwiTdNWKjXjqfv002A/edit>.

Assim, os alunos exploraram os conceitos de forma independente, utilizando recursos como *links*, animações e interações digitais. Um questionário foi aplicado via *Google Forms*, ampliando os métodos de avaliação e permitindo uma coleta de dados mais eficiente. O formato digital do *e-book* em PDF foi projetado para ser acessível em diversos dispositivos, proporcionando uma experiência educacional dinâmica e envolvente, facilitando o aprendizado dos alunos. Além disso, é possível publicar este *e-book* na plataforma Livros Digitais - <https://www.livrosdigitais.org.br/> (Damasceno, Pereira e Silva Júnior, 2017).

**Figura 2** - Páginas do nosso *e-book*: (a) capa com levitação magnética; (b) supercondutividade e os estados supercondutor e natural do mercúrio; (c) explicação da supercondutividade baseada no gráfico da transição de fase da supercondutividade e Pares de Cooper.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A capa do nosso *e-book* “Descobrindo a Supercondutividade: Uma Jornada pelo Mundo da Física”, ver Figura 2 (a), chama a atenção ao destacar a levitação magnética, um fenômeno associado à supercondutividade (Rocha e Fraquelli, 2004), despertando o interesse pelo tema e mostrando a conexão com aplicações práticas. Na Figura 2 (b), o *e-book* introduz de forma clara e objetiva os conceitos fundamentais da supercondutividade, explicando como certos materiais, quando resfriados a temperaturas muito baixas, perdem sua resistência elétrica. A comparação visual entre o mercúrio em estado natural e supercondutor reforça essa explicação, tornando o conceito mais tangível.

Na Figura 2 (c), o conteúdo aprofunda os mecanismos da supercondutividade, explicando a transição de fase de supercondutores e os Pares de Cooper (Massoni, 2009). Essas explicações mais complexas são acompanhadas de gráficos e diagramas, que ajudam a ilustrar a transição de materiais para o estado supercondutor e como os elétrons se comportam nesses casos. O uso de recursos visuais em todas as páginas facilita a compreensão dos alunos, oferecendo um aprendizado gradual e mais envolvente, desde os conceitos básicos até os mais avançados.

**Figura 3** - Páginas do e-book: (a) Supercondutores na Vida Real; (b) Supercondutividade e Sustentabilidade; (c) Mão à Obra: Experimentos de Supercondutividade.

**(a) Supercondutores na Vida Real**

Máquinas de Resonância Magnética | Trem da Levitação Magnética (Maglev)

Foto: Trenes de alta velocidad, 2021 | Foto: Parchal R/T, 2021

Não vides sofá? A supercondutividade desempenha um papel incrivelmente importante. Por exemplo, nas máquinas de ressonância magnética (MRI), ela permite o círculo de imagens detalhadas do interior do corpo para diagnósticos médicos. Além disso, a levitação magnética é usada em trens de alta velocidade, permitindo que eles fiquem acima das trilhas, reduzindo o atrito e tornando o transporte mais eficiente. Outra aplicação crucial é no transporte de energia elétrica, que ajuda a tornar a possibilidade a transmissão de eletricidade de forma altamente eficiente, minimizando as perdas de energia.

Trem Maglev em Funcionamento

Foto: Shutter, 2022

**(b) Supercondutividade e Sustentabilidade**

A supercondutividade é uma aliada valiosa na busca por um mundo mais sustentável. Ao eliminar a resistência elétrica em certas aplicações, como na transmissão de eletricidade, ela reduz as perdas de energia. Menos energia perdida significa menos desperdício e um grande de carbono reduzido, ajudando a combater as mudanças climáticas.

Único Sol

Foto: Cesar Soeiro, 2022

Único Báltico

Foto: Jeroen, 2022

**(c) Mão à Obra: Experimentos de Supercondutividade**

**Experimento 1: Demonstração do Efeito Joule**

**Material necessário:**

- Um filo condutor (que seja prático para ser feito com)
- Uma bateria de 9V ou similar
- Um resistor (pode ser feito com um pedaço de fio de cobre)
- Fios isoladores
- Um amperímetro (opcional)

**Passo a passo:**

1. Coloque os terminais em cada ponta do fio.
2. Coloque uma extremidade dos terminais em cada polos da bateria.
3. Insira a outra extremidade dos terminais no resistor.
4. Encerre o circuito.
5. Observe o resultado. Haverá arco elétrico entre o fio e o resistor.
6. Se houver um amperímetro, pode medir o consumo de corrente elétrica no circuito.

**Experimento 2: Criação de um Eletrônico**

**Material necessário:**

- Um pôlo
- Um pedaço de fio de cobre estanhado
- Um prato (preferencialmente de ferro)
- Alumínio
- Manganês

**Passo a passo:**

1. Prepare um ambiente de onde você possa fazer o experimento. Escolha um local comum, mas que não seja muito perto de outras pessoas ou de equipamentos eletrônicos.
2. Certifique-se de que o seu pôlo esteja limpo e seco.
3. Coloque o pôlo sobre o prato de ferro.
4. Coloque o fio de cobre estanhado sobre o pôlo.
5. Observe o efeito de aquecimento do fio de cobre.
6. Observe o efeito de aquecimento do ferro.
7. Observe o efeito de aquecimento do alumínio.
8. Observe o efeito de aquecimento do manganês.
9. Desconecte o fio do pôlo quando terminar o experimento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Figura 3 (a), o conteúdo explora as aplicações práticas da supercondutividade, destacando: (i) a ressonância magnética, em que a capacidade dos supercondutores de gerar fortes campos magnéticos é crucial, e (ii) o uso em trens de levitação magnética, que permitem velocidades elevadas devido à ausência de atrito. Um *GIF* animado ilustra o trem maglev em ação, proporcionando uma visualização mais imersiva. O impacto didático é significativo na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel quando novos conhecimentos são incorporados de forma não arbitrária (conceitos conhecidos - os chamados *subsunçores*) e substantiva (modifica ou enriquece significativamente os conceitos já conhecidos) à estrutura cognitiva do aluno, enquanto que na perspectiva de Moreira e suas unidades de ensino potencialmente significativa (UEPS) quando a organização e aplicação didática favorecem ativamente a aprendizagem significativa, respeitando e transformando os conhecimentos prévios dos alunos. Dessa forma, o impacto didático significativo se

manifesta quando o ensino promove modificações duradouras na maneira como o aluno organiza, comprehende e utiliza o conhecimento - facilitando a retenção, a transferência e o uso funcional desse saber em diferentes contextos. Pois essas aplicações tangíveis demonstram como conceitos teóricos se traduzem em inovações que impactam o cotidiano, tornando o aprendizado mais relevante e envolvente (Schuartz e Sarmento, 2020).

Na Figura 3 (b), a relação entre supercondutividade e energias renováveis é discutida. A página ilustra como a supercondutividade pode melhorar a eficiência em usinas eólicas e solares, ao reduzir perdas de energia e maximizar a captura e transmissão de eletricidade. Também são destacados os benefícios ambientais e econômicos dessa tecnologia. Essa conexão mostra aos alunos a relevância da supercondutividade para o futuro energético, incentivando um pensamento mais consciente sobre o meio ambiente.

A Figura 3 (c) propõe duas atividades práticas: (i) a demonstração do efeito Joule, que evidencia como a resistência elétrica gera calor, e (ii) a criação de um eletroímã, que ilustra a relação entre eletricidade e magnetismo. Esses experimentos práticos ajudam a consolidar o aprendizado teórico de forma acessível. O impacto didático é notável, pois as atividades incentivam a participação ativa dos alunos, reforçando os conceitos por meio de experiências diretas.

Por fim, foi repassado aos alunos um *link*, ver Figura 4 (a), para resolver um questionário via *Google Forms*, que tem como objetivo avaliar a compreensão dos conteúdos apresentados. As dez questões abordam desde os conceitos fundamentais da supercondutividade até suas aplicações práticas, incentivando uma reflexão crítica sobre o material estudado, esse impacto didático é significativo, pois essa avaliação fomenta o aprendizado contínuo e autônomo, permitindo que os alunos revisitem os conceitos conforme necessário para consolidar seu conhecimento. A Figura 4 (c) mostra as referências utilizadas para elaboração do *e-book*.

**Figura 4 - Final do e-book:** (a) Questionário Disponibilizado; (b) Referências.

<p><b>(a)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Questionário sobre supercondutividade</b></p> <p>Chegou a hora de testar seus conhecimentos de Supercondutividade aprendidos com este eBook através deste questionário:</p> <p style="text-align: center;"><b><a href="https://forms.gle/hsnyMcwPmUZiqKV9">https://forms.gle/hsnyMcwPmUZiqKV9</a></b></p>	<p><b>(b)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Referências</b></p> <p>1. Técnica térmica: Usar supercondutividade: 11   C. M. S. P. S. Usar supercondutividade: não é possível sentir 1.820,00. Resolução: prima no “Técnica térmica”. Disponível em: <a href="https://www.inductiva.com.br/cursos/usar-supercondutividade-0-00.html">https://www.inductiva.com.br/cursos/usar-supercondutividade-0-00.html</a>. Acesso em: 2024-02-16 10:16:16. Disponível: <a href="https://www.inductiva.com.br/cursos/usar-supercondutividade-0-00.html">https://www.inductiva.com.br/cursos/usar-supercondutividade-0-00.html</a>.</p> <p>2. Spotify. O Poder da Mente. In: Spotify. Disponível em: <a href="https://open.spotify.com/episode/3PHDyElRugTPYBmW7">https://open.spotify.com/episode/3PHDyElRugTPYBmW7</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>3. Física Supercondutora. O que acontece se você colocar a mola dentro da mercúria líquida? In: Física Supercondutora. Disponível em: <a href="https://www.fisicasupercondutora.com.br/o-que-acontece-se-voc%C3%A9-colocar-mola-dentro-da-merc%C3%BAria-l%C3%ADquida/">https://www.fisicasupercondutora.com.br/o-que-acontece-se-voc%C3%A9-colocar-mola-dentro-da-merc%C3%BAria-l%C3%ADquida/</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>4. Google Images. Imagem de mercúrio líquido. In: Google Images. Disponível em: <a href="https://images.app.goo.gl/URzqJynK3Y7rV2d8">https://images.app.goo.gl/URzqJynK3Y7rV2d8</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>5. Wikipedia. Par de Cooper. In: Wikipedia. Disponível em: <a href="https://pt.wikipedia.org/wiki/Par_de_Cooper">https://pt.wikipedia.org/wiki/Par_de_Cooper</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>6. Zerando. Círculo MRI. In: Zerando. Disponível em: <a href="https://zerando.io/p/17C2PL3mew/1nf1">https://zerando.io/p/17C2PL3mew/1nf1</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>7. R7. China apresenta trens que atingem a velocidade de 600 km/h. In: R7. Disponível em: <a href="https://verdesa7.com/internacional/treinos-apresentam-trens-que-atingem-a-velocidade-de-600-km-h-29083222/">https://verdesa7.com/internacional/treinos-apresentam-trens-que-atingem-a-velocidade-de-600-km-h-29083222/</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>8. G1. G1f de treino. In: G1f. Disponível em: <a href="https://g1f.com.br/145f/">https://g1f.com.br/145f/</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>9. Celul Solar. Célula solar: projeto Aracaju 36 passa para etapa final. In: Celul Solar. Disponível em: <a href="https://celulsolar.com.br/celula-solar-para-criancas-ha-um-passo-para-etapa-final/">https://celulsolar.com.br/celula-solar-para-criancas-ha-um-passo-para-etapa-final/</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>10. Jornal. Complexo sócio-energético: Paraná vai gerar mais de 700 empregos diretos e indiretos. In: Jornal. Disponível em: <a href="https://www.jornalparana.com.br/noticia/4246/complexo-socio-energetico-paran%C3%A1-gera-mais-de-700-empregos-diretos-e-indiretos">https://www.jornalparana.com.br/noticia/4246/complexo-socio-energetico-paran%C3%A1-gera-mais-de-700-empregos-diretos-e-indiretos</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>11. INESF. Experimentos de Física - Eletricidade. In: INESF. Disponível em: <a href="https://www.inesf.br/experimentos-de-fisica/elettricidade/foto/1309v12">https://www.inesf.br/experimentos-de-fisica/elettricidade/foto/1309v12</a>. Acesso em: 2023.</p> <p>12. UEP. Imagens experimentos de física. In: UEP. Disponível em: <a href="https://top.uep.br/foto/1309v12/supera/imagens/12/">https://top.uep.br/foto/1309v12/supera/imagens/12/</a>. Acesso em: 2023.</p>
---	--

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

## Resultados e Discussão

Um questionário avaliativo com perguntas de múltipla escolha antes (pré) e depois (pós) da intervenção permite avaliar quantitativamente uma pesquisa. Esse tipo de instrumento é amplamente utilizado em pesquisas quantitativas por apresentar diversas vantagens, como: (a) Facilidade de quantificação, pois as respostas podem ser facilmente convertidas em dados numéricos e analisadas estatisticamente; (b) Padronização, pois todos os participantes respondem às mesmas perguntas, o que permite comparações consistentes; (c) Objetividade, pois minimiza a subjetividade na interpretação das respostas; (d) Eficiência na aplicação e análise, especialmente útil com um grande número de participantes.

A aplicação do questionário antes (pré) e depois (pós) da intervenção contendo 10 questões de múltipla escolha com quatro alternativas cada (A, B, C e D), ver Quadro 2, realizada via plataforma *Google Forms* na referida escola, foi fundamental para uma avaliação aprofundada do progresso dos alunos e do impacto do material didático via *e-book* com experimentos no aprendizado sobre supercondutividade, pois a diferença nas médias de acertos pode indicar um ganho de aprendizagem. A coleta de dados abrangeu um total de 70 alunos do Ensino Médio da referida escola, possibilitando uma análise quantitativa detalhada do nível de compreensão dos conteúdos abordados, do material didático proposto e aplicado como os alunos. Os resultados obtidos

permitiram identificar padrões de aprendizado, bem como possíveis lacunas no entendimento, contribuindo para uma avaliação diagnóstica *precisa*. Além disso, o *feedback* fornecido pelos alunos foi um recurso valioso para a reflexão crítica sobre as estratégias pedagógicas adotadas, resultando em ajustes e aprimoramentos na metodologia utilizada. Essa abordagem garantiu que o processo educativo fosse continuamente otimizado promovendo um ensino mais eficiente e alinhado às necessidades dos discentes (Netto, Santos, Silva Jr, 2023).

**Quadro 2** – Respostas do questionário com 10 de múltipla escolha contendo quatro alternativas aplicadas com os 70 alunos da referida escola. Há apenas uma alternativa correta para cada questão.

<i>Questões</i>	<i>Resposta</i>	<i>Acertos (Diferença = Pós - Pré)</i>	<i>Percentual de Evolução (Diferença/Pós)</i>
1- <i>O que é supercondutividade?</i>	(C) A propriedade de certos materiais de apresentarem resistência elétrica nula a baixas temperaturas.	66 (94%)-04 (6%) = 62	94%
2- <i>Qual é o efeito da temperatura na supercondutividade?</i>	(C) A supercondutividade ocorre quando o material é resfriado abaixo de uma temperatura crítica.	49 (70%)-21 (30%) = 28	57%
3- <i>Qual é a importância da supercondutividade na geração e transmissão de energia?</i>	(B) Elimina perdas por aquecimento nos cabos de energia.	62 (88,5%)- 08 (11,5%) = 54	87%
4- <i>Como a supercondutividade contribui para a redução do impacto ambiental?</i>	(C) Ao permitir o transporte de energia com perdas quase nulas, reduzindo a necessidade de produção excessiva.	66 (94%)-04 (6%) = 62	94%
5- <i>Quais são as duas principais categorias de supercondutores?</i>	(B) Supercondutores do tipo I e do tipo II.	70 (100%)-37 (53%) = 33	47%
6- <i>Qual é o fenômeno conhecido como "efeito Meissner"?</i>	(B) A expulsão completa de campo magnético do interior de um supercondutor.	62 (88,5%)- 08 (11,5%) = 54	87%
7- <i>Qual é o principal desafio na utilização generalizada da supercondutividade em aplicações práticas?</i>	(B) Custo elevado e necessidade de resfriamento a temperaturas muito baixas.	58 (83%)-12 (17%) = 46	79%
8- <i>Quais são as aplicações práticas da supercondutividade além da geração e transmissão de energia?</i>	(B) Em trens de levitação magnética, equipamentos médicos como o MRI e sensores ultra-sensíveis.	63 (90%)-07 (10%) = 56	89%
9- <i>O que é o "efeito Josephson" na supercondutividade?</i>	(B) O bloqueio de corrente entre dois supercondutores separados por uma camada isolante muito fina.	47 (67%)-23 (33%) = 24	51%
10- <i>Quais são os principais desafios para a aplicação da supercondutividade no transporte de energia de longa distância?</i>	(B) Elevado custo de resfriamento e manutenção da temperatura crítica ao longo de grandes distâncias.	57 (81%)-13 (19%) = 44	77%

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Dos 17 artigos sobre supercondutividade apresentados no Quadro 1, a maioria deles (16) faz referência a pesquisa e ao professor, mas não foi aplicado em sala de aula com os alunos do Ensino Médio, salvo o artigo de Ostermann e Moreira (2001) referente a revista CBEF. Assim, nossa análise dos resultados do questionário sobre supercondutividade, aplicados via *Google Forms*, nas três turmas de Ensino Médio da referida escola, revelou uma ampla variação no nível de compreensão dos alunos à luz

da teoria da aprendizagem significativa (TAS), destacando tanto os pontos fortes quanto as áreas que necessitam de maior atenção pedagógica.

Na primeira questão, 4 alunos (6 %) acertaram o pré-questionário, enquanto que no pós-teste foram 66 alunos (94 %). A diferença (pós - pré) do número de pessoas que acertaram foi de 62 o que resulta num percentual de evolução na compreensão do conceito de supercondutividade igual a  $62/66 = 94\%$ . Esse resultado positivo indica que houve aprendizagem significativa para a maior parte dos alunos, pois o tema foi bem introduzido ativando os conhecimentos prévios sobre corrente elétrica, resistência e condutores com o uso de recursos didáticos como os experimentos simples no ensino de supercondutividade e o *e-book* interativo como recurso digital para tornar o conceito concreto e visualizável promovendo a construção do conhecimento, o que estabelece uma base sólida para discussões mais aprofundadas do tema investigado.

Na segunda questão, relacionada ao efeito da temperatura na supercondutividade, 21 alunos (30 %) e 49 alunos (70 %) responderam corretamente o pré-questionário e o pós-teste, respectivamente. A diferença (pós - pré) do número de pessoas que acertaram foi de 28 o que resulta num percentual de evolução na compreensão do efeito da temperatura na supercondutividade igual a  $28/49 = 57\%$ . Isso demonstra que mais da metade dos alunos conseguiu assimilar o conteúdo e a discussão relacionada ao efeito da temperatura na supercondutividade, pois ele pode ser significativo para o aluno se ele já comprehende o conceito de resistência elétrica e condutividade em metais, como ensinado em eletricidade básica. Assim, o novo conceito (queda brusca da resistência abaixo da temperatura crítica (Pureur, 2012)) se ancora em noções já aprendidas como a variação da resistência com a temperatura em condutores comuns, conforme a equação  $R=R_0 \cdot (1+\alpha \Delta T)$ , onde  $\alpha$  é o coeficiente de temperatura da resistência que indica a sensibilidade da resistência ( $R$ ) à variação de temperatura ( $\Delta T$ ) e  $R_0$  é a resistência inicial (a uma temperatura de referência, geralmente  $20^\circ C$ ), bem como com a experimentação direta ou virtual, apresentação de vídeos e *e-book* que são fundamentais para tornar visível um fenômeno invisível e atum como organizador prévio, antecipando conceitos-chave antes de aulas e favorecendo a integração do conhecimento. Porém, sugere-se que a relação entre temperatura crítica e a perda de resistência elétrica precisam ser mais bem elucidadas em sala de aula.

A terceira questão abordou a relevância prática da supercondutividade na geração e transmissão de energia, 8 alunos (11,5 %) e 62 alunos (88,5 %) responderam corretamente o pré-questionário e o pós-teste, respectivamente. A diferença (pós - pré)

do número de pessoas que acertaram foi 54, o que resulta num percentual de evolução igual a  $54/62 = 87\%$ . Esse dado reforça que à maioria dos alunos conseguiram reconhecer a importância da aplicação tecnológica do conceito no contexto energético. Pois, para que o aluno comprehenda ou torne significativa a relevância prática da supercondutividade na geração e transmissão de energia, segundo a TAS, é essencial que o aluno: (i) reconheça, com base em seus saberes prévios, os problemas das redes elétricas convencionais; (ii) Vivencie, por meio de experimentos e simulações, as propriedades especiais dos supercondutores; (iii) Utilize recursos didáticos digitais (como o *e-book*) que organizam o conteúdo de forma acessível e conectada à realidade. Além disso, deve estimular o aluno com perguntas reflexivas: “*Como a eliminação de perdas pode impactar o meio ambiente e os custos da energia?*” Isso reforça não apenas o entendimento conceitual, mas também a valorização social e ambiental do conhecimento científico, conectando Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Na quarta questão, referente à supercondutividade reduzir o impacto ambiental apontou resultados bem expressivos, em que a diferença foi de 62 alunos (isto é, 66 - 4 alunos) acertaram a questão 4 obtendo um percentual de evolução igual a 94% do número de acertos. Isso indica que à maioria dos alunos assimilaram bem como a supercondutividade pode contribuir para a redução do impacto ambiental, um aspecto crucial no ensino contemporâneo, considerando os desafios climáticos globais (Costa e Pavão, 2012). A compreensão da relação entre supercondutividade e redução do impacto ambiental só se consolida de forma significativa quando: (i) O aluno relaciona conceitos elétricos com a questão ambiental ou ativa os conhecimentos prévios sobre energia e sustentabilidade (teoria de Ausubel); (ii) Experimentos ou simulações demonstram visualmente como a resistência gera perdas e como os supercondutores eliminam essas perdas; (iii) utiliza o *e-book* como ferramenta para organizar o conhecimento, contextualizar com a realidade e refletir sobre sua importância ambiental. Essa abordagem vai além da memorização e permite ao estudante atribuir sentido real ao conteúdo aprendido, cumprindo os princípios da aprendizagem significativa.

Na quinta questão, a diferença foi de 33 alunos (isto é, 70 - 37 alunos) acertaram obtendo um percentual de evolução igual a 47% do número de acertos. Apesar, do percentual de evolução ser menor que das outras questões, mas tivemos um número de acerto alto no pré-questionário e 100 % acertaram o pós-teste distinguindo corretamente as categorias de supercondutores. Isso mostra que o tema foi bem

abordado na sala de aula por meio da apresentação do conteúdo, atividades experimentais investigativas e *e-book* interativo. A compreensão das categorias dos supercondutores — tipo I e tipo II — não deve ser memorizada isoladamente, mas construída a partir de: (i) Uma análise comparativa com base em conhecimento prévio sobre materiais e campos magnéticos; (ii) O uso de representações visuais e simulações experimentais que evidenciam o comportamento distinto entre tipo I e tipo II; (iii) *e-book* como ferramenta de organização conceitual, tornando mais claro o que diferencia cada categoria e por que isso importa.

Na sexta questão, sobre o “efeito Meissner”, apenas 8 alunos (11,5 %) acertaram o pré-questionário e 62 alunos (88,5%) responderam corretamente o pós-teste, o que resultou na diferença de 54 alunos e num percentual de evolução de 87 %. O efeito Meissner não é um fenômeno comum na natureza, mas sim um fenômeno notável que demonstra a peculiaridade dos materiais supercondutores e suas propriedades únicas quando resfriados abaixo de uma temperatura crítica. Entretanto, poucos alunos ainda apresentaram dificuldades, indicando que, apesar do conceito ser amplamente entendido, alguns discentes necessitam de explicações adicionais para consolidar o aprendizado (Möckli e Azambuja, 2024). A compreensão do efeito Meissner, como a expulsão de campo magnético por um supercondutor, requer: (i) A ativação de conceitos prévios sobre campo magnético e condutividade elétrica; (ii) A visualização por meio de vídeos, experimentos ou recursos digitais simulados, um fenômeno que é difícil de visualizar diretamente; (iii) A utilização do *e-book* como recurso de apoio, que contextualiza e organiza as ideias, além de mostrar aplicações reais. Essa abordagem respeita os princípios da aprendizagem significativa e contribui para uma formação conceitual sólida e motivadora.

A sétima questão investigou as limitações práticas da supercondutividade, como o resfriamento, apenas 12 alunos (17 %) acertaram o pré-questionário, enquanto 58 alunos (83%) acertaram o pós-teste, obtendo uma diferença de 46 acertos e alcançando um percentual de evolução de 79 %. Apesar, do bom desempenho dos alunos, sugere-se que as barreiras tecnológicas, como o custo e a complexidade de manter temperaturas extremamente baixas devem ser apresentadas de forma detalhadas. A compreensão de que a necessidade de temperaturas extremamente baixas é a principal limitação da aplicação prática da supercondutividade só é construída de forma significativa quando: (i) Conectada a conhecimentos prévios sobre temperatura, materiais e tecnologia; (ii) Favorecida por recursos visuais e experimentais que tornam

o problema concreto; (iii) Organizada e contextualizada em um *e-book* didático, com aplicações tecnológicas e discussões CTS. Esse processo favorece uma aprendizagem significativa, reflexiva e conectada à realidade científica e social.

Na oitava questão, aborda as aplicações da supercondutividade, em que apenas 7 alunos (10 %) acertaram o pré-questionário, enquanto 63 alunos (90%) acertaram o pós-teste o que corresponde a uma diferença de 56 acertos e um alto percentual de evolução de 89 %. Assim, à maioria dos alunos identificaram corretamente as aplicações práticas da supercondutividade, como a ressonância magnética e a computação quântica, o que evidencia uma boa percepção da utilidade do tema no cotidiano e em áreas de ponta ou fronteira do conhecimento científico.

A nona questão, sobre o “efeito Josephson”, teve apenas 23 alunos (33%) que acertaram o pré-questionário e 47 alunos (67 %) acertaram o pós-teste, obtendo uma diferença de 24 acertos e um percentual de evolução de 51 %. Isso revela um que um pouco mais da metade dos alunos conseguiram assimilar esse conhecimento. O efeito Josephson, assim como o efeito Meissner estudado na supercondutividade, não é um fenômeno comum no dia a dia, mas é fascinante e fundamental em aplicações específicas e avançadas, principalmente em tecnologias que envolvem supercondutividade e medições precisas que ocorrem em condições extremas, pode ser compreendido significativamente no Ensino Médio quando é ancorado a conceitos prévios de corrente elétrica, condutividade e resistência; potencial elétrico; tunelamento quântico (em linguagem acessível). Porém, esse tópico avançado requer uma abordagem diferenciada, possivelmente utilizando experimentos ilustrativos ou simulações que tornem o conceito mais tangível (Schuartz e Sarmento, 2020). Freitas *et al.* (2015) propõe a construção de junções Josephson do tipo ponte com uma pastilha de Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>Sr<sub>2.0</sub>Ca<sub>2.0</sub>Cu<sub>3.0</sub>O<sub>x</sub> e fio de nylon via método Pechini, em que mediadas foram obtidas com microscópio óptico e difração de raio-X, depois obteve a corrente (i) x voltagem (V), indicando o tunelamento Josephson.

Por fim, a décima questão aborda sobre os desafios para aplicação da supercondutividade no transporte de energia a longas distâncias, 13 alunos (19%) acertaram o pré-questionário e 57 alunos (81 %) acertaram o pós-teste, obtendo uma diferença de 44 acertos e um percentual de evolução de 77 %. Isso indica que esse tema, embora bem assimilado pela maioria dos alunos, poderia ser enriquecido com exemplos concretos ou estudos de caso. Assim, ao estudar os desafios no uso de supercondutores em grandes distâncias, segundo a TAS, o aluno: (I) Compreende

como a energia elétrica é transportada (sistemas de transmissão) e onde estão as perdas; (ii) Visualiza, através de experimentos, simulações e vídeos, a diferença entre sistemas convencionais e supercondutores; (iii) Utiliza o *e-book* como recurso organizado, contextualizado e reflexivo, ancorando o conteúdo em problemas reais que envolvem os impactos sociais e ambientais dessas tecnologias.

Em resumo, a maioria dos alunos demonstrou uma sólida compreensão dos conceitos fundamentais da supercondutividade, porém tópicos mais complexos, como o efeito da temperatura na supercondutividade (Questão 2), os efeitos Meissner (Questão 6) e Josephson (Questão 9) precisam ser revisados. Essa análise sugere que uma abordagem didática mais detalhada, incluindo o uso de recursos visuais, experimentos práticos e simulações interativas, pode facilitar a aprendizagem e ampliar o engajamento dos estudantes. Além disso, a diversificação das estratégias pedagógicas pode contribuir para atender às diferentes formas de assimilação de conhecimento dentro da turma (Moreira, 2021).

### **Considerações finais**

O ensino de Física por meio da supercondutividade, com enfoque nas aplicações e impactos ambientais positivos, proporcionou uma experiência educacional enriquecedora para os 70 alunos da E.E.E.F.M. Raimundo Vera Cruz por meio da realização de seminários, experimentos práticos como a demonstração do efeito Joule e a criação de campos magnéticos, *e-book* e questionário digital que puderam explorar conceitos complexos de forma tangível e aplicar seu conhecimento em situações do mundo real.

Assim, Forneck *et al.* (2022) destacam que propostas metodológicas de ensino em contexto virtualizado são efetivas se partirem do pressuposto da aprendizagem ativa, em que o somatório entre práticas experimentais e ambientes virtuais pode auxiliar os alunos a se sentirem desafiados. Nesse ponto, podemos separar os resultados por meio da abstração dos alunos pelo método experimental e virtual (*e-book* e questionário via *Google Forms*).

Os experimentos despertaram o interesse dos alunos pela Física e estimularam sua curiosidade científica. Eles puderam compreender como a supercondutividade está relacionada à eficiência energética, ao uso responsável da eletricidade e ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

Embora alguns desafios tenham sido identificados, como a complexidade de certos conceitos e limitações de recursos, a abordagem adotada mostrou-se eficaz em promover uma compreensão mais profunda e contextualizada da FMC. A integração de aspectos ambientais ao ensino de supercondutividade não apenas enriqueceu o conteúdo curricular, mas também fomentou uma consciência crítica sobre o papel da ciência na sociedade e no meio ambiente.

Aliado a isso, o *e-book* serviu como complemento as informações que não puderam ser expressas por meio de experimentos. Souza *et al.* (2021) retrata o auxílio do *e-book* no aprendizado, destacando a recepção por parte dos alunos e como tais abordagens ajudam o ensino de ciências a tornar-se mais eficaz e interativo.

Esta experiência destaca a importância de incorporar tópicos de FMC no Ensino Médio, não apenas para atualizar o currículo, mas também para inspirar a próxima geração de cientistas e cidadãos conscientes (Silva *et al.*, 2024). Recomenda-se a continuidade e expansão dessa abordagem, com o desenvolvimento de mais recursos didáticos e a formação continuada de professores para lidar com esses temas avançados.

## Agradecimentos

O GPECF da UFPA agradece a: (1) PROEX-UFPA (PJ064-2023 e PJ056-2023); (2) PROEG-UFPA pelo fomento no projeto de ensino “Pesquisa-ação: a interação universidade-escola para a popularização das ciências Química e Física na educação básica” (PIBID-UFPA/2020-21); (3) CNPq/MCTI (408735/2023-6).

## Referências

- BARBOSA, N. G. T. **Supercondutividade no Ensino Médio:** Uma Proposta Fundamentada na Aprendizagem Baseada em Problemas. 2016. 158 f. Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- BIANCA, M. T. D.; VIEIRA, L. A.; CASAGRANDE, K. A mediação e a contribuição das Tecnologias Digitais da Comunicação e Informação para a educação inclusiva. **Ensino & Pesquisa**, v. 22, n. 2, p. 59-72, 2024.
- BRANÍCIO, P. S. Introdução a Supercondutividade, Suas Aplicações e a Mini-Revolução Provocada Pela Redescoberta do MgB<sub>2</sub>: Uma Abordagem Didática, **Revista Brasileira de Ensino de Física - RBEF**, v. 23, n. 4, p. 381-390, 2001.
- BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, **LDB**. 9394/1996.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: **MEC**, 2018.

CANTO, E. L.; LEITE, L. C. C.; CANTO, L. C. **Moderna em Projetos: Ciências da Natureza**. . 1a. ed. SP: Moderna, 2024.

COSTA, M. B. S.; PAVÃO, A.C. Supercondutividade: Um Século de Desafios e Superação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2602, 2012.

DAMASCENO, L. E. F.; PEREIRA, L. F.; SILVA JÚNIOR, C. A. B. A experimentação e o livro virtual auxiliando nas aulas de ciências físicas, **Experiências em Ensino de Ciências - EENCI**, v. 12, n. 7, p. 180-197, 2018.

DARTORA, C. A.; CAMPOS, F. K. R. On the Similitarity Transformations in Second Quantized Fermion-Boson Interacting Hamiltonian and the BCS Theory. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. e3313, 2016.

DE SOUZA, A. da C.; DE ARAÚJO, J. F.; BARBOSA, M. P.; DA SILVA JÚNIOR, C. A. B. Atividade experimental investigativa e e-book no ensino de ciências do ensino fundamental: uma experiência de estágio supervisionado. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática, [S. l.]**, v. 5, n. 2, p. 402–422, 2021.

FARINAS, P. F.; Feynman, a Superfluidez e a Supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. 4212, 2018.

FESTA, F. **Proposta didática para desenvolver o tema da supercondutividade no ensino médio**. 2015. 181f. Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FORNECK, K. L.; MARTINS S.N; FALEIRO, R.S.; WERLANG, C. T. Experiências de aprendizagem, contextos de ensino e processos de interação: pistas para a educação pós-pandêmica. **Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 2, p. 22–36, 2022.

FREITAS, G. Q.; MORETO, J. A.; CENA, C.R.; CARVALHO, C. L. Construção de junções Josephson do tipo ponte obtidas manualmente em uma pastilha de Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>Sr<sub>2.0</sub>Ca<sub>2.0</sub>Cu<sub>3.0</sub>O<sub>x</sub>, **Revista Brasileira de Física Tecnológica e Aplicada**, v. 2, n. 1, p. 14-21, 2015.

MARQUES, H. R.; CAMPOS, A. C.; ANDRADE, D. M.; ZAMBALDE, A. L. Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 26, n. 3, p. 718–741, 2021.

MASSONI, N. T. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 237-272, 2009.

MELO, L. R. A.; et al. Familiarização de docentes universitários com as tecnologias digitais de informação e comunicação na pandemia de covid-19: múltiplos saberes. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 187-200, 2024.

MÖCKLI, D.; AZAMBUJA, M. K. D. Magnetic superconductivity. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240094, 2024.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021.

MORTIMER, E.; et al. **Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar - evolução, biodiversidade e sustentabilidade**. 1a. ed. SP: Scipione, 2020.

NETTO, A. M.; SANTOS, M. J. N.; SILVA JR, C. A. B. Uso de ferramentas midiáticas e práticas no ensino de acústica. **Revista do Professor de Física**, v. 7, n. 1, p. 87-105, 2023.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-278, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. 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.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. **Supercondutividade: Temas Atuais de Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

PEREIRA, S. H.; FÉLIX, M. G. 100 Anos de Supercondutividade e a Teoria Ginzburg-Landau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1313, 2013.

PERES, M. da S. **Supercondutividade: uma abordagem para o ensino médio centrada em vídeos-experimentos**. 103 f. Dissertação MNPEF-UFMT, Campus Universitário do Araguaia e ICET, Barra do Garças, 2021.

PIMENTA, J. J. M.; BELUSSI, L. F. B.; NATTI, E. R. T.; NATTI, P. L. O Bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2306, 2013.

PSZYBYLSKI, R. F.; MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A. Uma revisão sistemática sobre as pesquisas realizadas em programas de mestrado profissional que versam sobre a utilização de *smartphones* no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física, /S. l.J**, v. 37, n. 2, p. 406–427, 2020.

PUREUR, P. Supercondutividade: cem anos de desafios. **Revista USP**, n. 92, p. 142–156, 2012.

REIF-ACHERMAN, S. Liquefaction of Gases and Discovery of Superconductivity: Two Very Closely Scientific Achievements in Low Temperature. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 2061, 2011.

REIF-ACHERMAN, S. Studies on the Temperature Dependence of Electric Conductivity for metals in the Nineteenth Century: A Neglected Chapter in History of Superconductivity. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4602, 2011.

ROCHA, F.S. Fraqueli, H.A. Roteiro para a Experiência de Levitação de um Ímã Repelido por um Supercondutor no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 11-18, 2004.

SCHUARTZ, A. S.; SARMENTO, H. B. DE M. Tecnologias digitais de informação e comunicação e processo de ensino. **Revista Katalysis**, v. 23, n. 3, p. 429-438, 2020.

SILVA JR., R.; LIMA, N. C. S.; CHAHINI, T. H. C. Tecnologias Digitais e Metodologias Ativas na Educação Básica: a relevância das TIC para uma aprendizagem significativa. **Revista Tecnologias na Educação**, n.30, v. 30, 2019.

SILVA JR., R. S. Resenha do livro "Supercondutividade" de Fernanda Ostermann e Paulo Pureur. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 339-340, 2017.

SILVA, M. J. C.; AMORIM, M. V. de; TSUKADA, J. Desafios e recomendações para a inserção de temas de física moderna e contemporânea no ensino médio: usando a tecnologia de plasma em um experimento de baixo custo. **Observatório de la economía latinoamericana, [S. l.]**, v. 22, n. 10, p. e7308, 2024.

STUDART, N. Prêmio Nobel de Física em 2003: Supercondutividade e Superfluídez - Manifestação de Efeitos Quânticos na Escala Macroscópica, **Física na Escola – FnE**, v. 4, n. 2, p. 28-29, 2003.

STUDART, N. Feynman e os Pólaron. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e4213, 2018.

SOTELO, G. G. **A supercondutividade aplicada na sala de aula no ensino médio.** 2000. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

VIEIRA, D. M. **Supercondutividade:** uma proposta de inserção no ensino médio. 2014. 159f. Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

**Submissão:** 12/12/2024. **Aprovação:** 15/08/2025. **Publicação:** 29/08/2025.