

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA ROSELI SALU DOS SANTOS HEPPNER

O ENSINO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA

**CAMPO MOURÃO
2022**

MARIA ROSELI SALU DOS SANTOS HEPPNER

O ENSINO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA

The Teaching Of Superconductivity in Basic Education

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Profº: Dr. Cesar Vanderlei Deimling

CAMPO MOURÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao (s) autor (es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RESUMO

O presente produto educacional foi gerado a partir de uma pesquisa de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, vinculado à Universidade Federal Tecnológica do Paraná, UTFPR – CM, na qual o tema de Supercondutividade foi abordado na educação básica, inserido no contexto da Física Moderna e Contemporânea (FMC) e caracterizado por apresentar funcionalidades que permitem amplas aplicações tecnológicas que, mesmo após um século de sua descoberta, continua sendo um campo de pesquisa de ponta. Esta proposta está fundamentada na Pedagogia Histórico-Crítica, e ao longo de seu desenvolvimento apresenta uma abordagem iniciada na realidade vivenciada do estudante, gerando ao final, uma aprendizagem consolidada e sistematizada no aluno. Ao longo deste trabalho foram desenvolvidas atividades teórico-práticas tais como, um questionário inicial – que serviu como ponto de partida para o desenvolvimento das atividades, um experimento demonstrando o fenômeno de levitação magnética, a produção de histórias em quadrinhos pelos alunos e um questionário final que serviu para avaliar a compreensão do conteúdo pelos estudantes. Esperamos que com o desenvolvimento deste projeto possamos contribuir com o aprendizado dos estudantes bem como disponibilizar aos professores uma alternativa atraente e viável para o ensino de supercondutividade na educação básica.

Palavras-chave: supercondutividade; resistência elétrica nula; levitação magnética; educação básica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Interface do questionário inicial.....	17
Figura 2: Imagem de Kammerlingh Onnes (esquerda) e da medida da resistência em função da temperatura para a amostra de mercúrio (direita).....	21
Figura 3: (a) O comportamento de um supercondutor, revelando o efeito Meissner abaixo de T_c , e em (b) de condutor perfeito que obedece à lei da indução de Faraday.....	23
Figura 4: Dependência do campo magnético em função da posição.....	25
Figura 5: Comportamento da magnetização M em função do campo magnético aplicado em supercondutores (a) do tipo I e (b) do tipo II.....	26
Figura 6: Dependência dos campos críticos em função da temperatura para supercondutores do tipo I (a) e do tipo II (b)	27
Figura 7: Ilustração da rede de Abrokosov, e da dependência espacial do comprimento de coerência.....	28
Figura 8: Evolução do descobrimento dos materiais supercondutores.....	31
Figura 9: Íons positivos atraídos pelo elétron que passa pela rede cristalina do material supercondutor, fazendo interação elétron-fónon e finalmente formando par de Cooper.....	32
Figura 10: Representação de um sensor SQUID.....	33
Figura 11: Montagem para levitação de um pequeno ímã sobre um disco supercondutor de YBCO.....	35
Figura 12: Passos no experimento de levitação magnética.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Laureados com o prêmio Nobel de Física por pesquisas realizadas no campo da supercondutividade.....	30
--	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	OBJETIVOS.....	8
3	JUSTIFICATIVA	9
4	ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO.....	11
5	DESCRIÇÃO DO PRODUTO.....	15
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A Pedagogia Histórico-Crítica proposta por Saviani (2011) sugere uma prática pedagógica baseada na interação entre conteúdo e realidade visando a transformação da sociedade por meio da ação-compreensão-ação do educando e enfoca nos conteúdos como produção histórica social de todos os homens. Gasparin (2003) afirma, segundo a Pedagogia Histórico-crítica, que o uso das técnicas, das ferramentas convencionais de mediações em sala de aula auxiliam no processo ensino aprendizagem dos conteúdos escolares. Neste produto educacional apresenta uma proposta embasada no referencial teórico da Pedagogia histórico-crítica, e trazemos uma abordagem conceitual, qualitativa sobre a supercondutividade para o ensino médio.

Nesse sentido, recursos educacionais integrados às TDICs, como os Quizizz, o uso de ferramentas digitais, foram utilizados com o objetivo de facilitar e favorecer a aprendizagem dos conteúdos de Supercondutividade abordados ao longo da pesquisa, tornando a aula mais interativa, motivando os estudantes. O uso das TDICs proporciona a abordagem dos conteúdos de maneira mais dinâmica e interativa, como por exemplo, no uso vídeos que abordam a descoberta da Supercondutividade e seu contexto histórico que, de maneira comentada, podem facilitar a compreensão dos tópicos da Supercondutividade, dos materiais supercondutores, da teoria BCS, do efeito Meissner e da levitação Magnética. Com o objetivo de gerar o aprendizado mais consolidado e sistematizado sobre o tema da Supercondutividade, as atividades desenvolvidas ao longo do produto educacional compreenderam a elaboração de textos, como por exemplo, na escrita de história em quadrinhos pelos alunos sobre os conteúdos desenvolvidos.

Segundo Ostermann (2000), os conteúdos curriculares presentes geralmente se limitam a contemplar a Física Clássica, descrevendo os conceitos e as teorias elaboradas até o final do século XIX. Neste contexto é importante citar que as críticas se referem à predominância quase que exclusiva de temas clássicos e não à presença destes no currículo, pois eles fornecem suporte para a compreensão dos conteúdos mais elaborados e de diversos fenômenos cotidianos.

Dentre os trabalhos que abordam a introdução ao Moderna e Contemporânea (FMC) – do qual a Supercondutividade se enquadra -, Carvalho e Zanetic (2004) defendem que a aprendizagem desses conteúdos colabora para que os estudantes desenvolvam um entusiasmo maior e duradouro pela ciência, com o intento de que toda a Física faça parte da formação Cultural dos estudantes.

Entendemos que a inserção de temas da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no se torna necessária para que os educandos compreendam a sua função do desenvolvimento científico e tecnológico, bem como da relação entre os diferentes campos do conhecimento, como o econômico, o conceitual, o cultural e o social. Analisando a escassez de trabalhos sobre o tema de Supercondutividade na educação básica e, tendo em vista que a discussão para a inserção do tema já vem ocorrendo desde a década de noventa, com os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN visamos com este trabalho contribuir com o ensino deste conteúdo. Nesse contexto, o produto educacional desenvolvido a partir desta pesquisa de mestrado tem como tema; a supercondutividade na educação básica é caracterizada por uma ação necessária para levar o aluno a compreender de uma forma contextualizada uma pequena parte do campo de conhecimento da Física Moderna Contemporânea. Através das aplicações tecnológicas relacionadas a este tema, e de atividades teórico-práticas, buscamos a compressão aprofundada e articulada com a realidade cotidiana do estudante. Elas compreendem um questionário (utilizado nos momentos inicial e final), vídeos sobre o fenômeno, experimento sobre a levitação magnética (de autoria própria), textos sobre o tema, exposição oral dialogada em diferentes momentos e a elaboração de uma história em quadrinho pelos estudantes (gibi) sobre o tema.

Na sequência apresentamos os objetivos que definem o desenvolvimento e o alcance desse estudo. No próximo tópico, a justificativa, trazemos um recorte sobre as discussões e apontamentos obtidos a partir de um levantamento bibliográfico em diferentes bases de conhecimento tendo em vista a escassez de trabalhos sobre o tema aplicados à educação básica, revelando dessa forma a motivação do desenvolvimento deste trabalho. Os encaminhamentos metodológicos são apresentados na sequência, trazendo detalhes sobre o contexto do desenvolvimento do produto educacional em sala de aula. A descrição teórica do produto educacional é apresentada na sequência.

2 OBJETIVOS

Propor aos alunos discussões, para um diagnóstico básico sobre a Supercondutividade, explorando o conhecimento prévio trazidos pelos estudantes, e a partir deste, iniciar a problematização do assunto desenvolvendo práticas que possibilitem ao estudante ampliar a capacidade de organizar e sistematizar os dados e resultados sobre o conteúdo de Supercondutividade.

Fornecer aos professores e profissionais da educação básica um material paradidático para o desenvolvimento dos conteúdos de supercondutividade através de aulas teórico-práticas, utilizando recursos tecnológicos que permitam contribuir com o ensino da supercondutividade, caracterizado por ser um tema da física que contribui para o desenvolvimento e compreensão do aluno nas aplicações dos avanços tecnológicos.

3 JUSTIFICATIVA

Embora o tema de Supercondutividade não esteja explicitamente descrito nos documentos regulatórios oficiais, trabalhos como o de Saviani (2020) reforçam que os conteúdos necessários para a formação do estudante não devem apenas atender às necessidades evocadas pelo mercado de trabalho, mas principalmente, devem preparar os estudantes com os conhecimentos científicos necessários para compreensão do desenvolvimento produzido, acumulado e sistematizado pela humanidade.

Com a finalidade de compreender como o tema dessa pesquisa tem sido desenvolvido em sala de aula, foi realizado um levantamento das produções científicas que tratam do tema no âmbito da educação básica. Neste sentido, foram pesquisadas: Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Revista do Professor de Física, Banco de Dados e Teses e Dissertações da Capes. Nossos resultados apontaram um montante de 36 artigos científicos que tratam sobre o tema, sendo que destes, apenas 8 trabalhos trouxeram contribuições sobre o tema na educação básica, usando em seu desenvolvimento uma abordagem fundamentalmente qualitativa, revelando a partir disso, uma escassez de material para o desenvolvimento da temática.

A partir do desenvolvimento deste produto educacional foi possível que os estudantes ampliem seus conhecimentos acerca da Supercondutividade, permitindo que passaram a compreender a importância deste conteúdo para o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como das suas aplicações, tais como, os SQUIDS (Superconducting Quantum Interference Device), computação quântica, transporte de eletricidade, ressonância magnética e a levitação magnética baseada no Efeito Meissner.

Tendo em vista a relevância do tema proposto e que os PCNs - Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1997) e as DCEs – Diretrizes Curriculares de Física (PARANÁ, 2008) não definem como obrigatório o ensino do conteúdo de supercondutividade, entende-se que este tema deva ser proposto de uma forma transversal, pois compõe a área de estudos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) e abre possibilidades para o aprimoramento da compreensão de outras grandezas físicas, como a resistência elétrica, a corrente elétrica, a diferença de

potencial, o campo magnético, a força magnética, e a temperatura, usualmente trabalhadas no ensino médio.

Finalizando, não menos importante, justificamos o desenvolvimento deste trabalho, pois, ele permitirá a disponibilização de materiais paradidáticos para professores de Física sobre o ensino de supercondutividade no ensino médio, gerando uma alternativa didático-pedagógica que contribui para uma compreensão mais crítica e sistematizada pelos estudantes sobre o tema de supercondutividade e dos avanços tecnológicos envolvidos no desenvolvimento da ciência.

4 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

O desenvolvimento desta pesquisa foi iniciado mediante um levantamento bibliográfico que contempla teses, dissertações e artigos científicos produzidos nos últimos dez anos, que trazem contribuições sobre o desenvolvimento do tema de Supercondutividade na educação básica, com o objetivo de atualizar e embasar as discussões sobre o desenvolvimento do tema em sala de aula.

De acordo com Ludke e André (2014), a etapa da revisão bibliográfica em pesquisas de abordagem qualitativa é uma parte fundamental no desenvolvimento de uma pesquisa, pois possibilita compor o referencial teórico necessário para a compreensão do fenômeno analisado. As bases de dados e as revistas científicas utilizadas para este levantamento foram: Revista Brasileira de Ensino de Física; Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Caderno Catarinense de Ensino de Física; Revista do Professor de Física – UnB; Portal de Periódicos da Capes; Banco de Teses e Dissertações da Capes; e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. Durante as buscas nessas bases de dados foram utilizados os seguintes termos: supercondutividade, ensino de supercondutividade, supercondutores; materiais supercondutores; levitação magnética; resistência nula e efeito Meissner.

Ao todo, foram encontrados 36 trabalhos que discutem os fenômenos relacionados à Supercondutividade, porém, na maioria dos casos, sem um vínculo com o ensino desenvolvido em sala de aula. Do total dos trabalhos encontrados, apenas 8 deles discutem propostas para desenvolvimento do conteúdo de Supercondutividade em sala de aula, o que evidencia a escassez de trabalhos que discutem essa temática e suas aplicações para a educação básica. Concordamos com Saviani (2020) quando afirma que os conteúdos necessários para a formação do estudante no ensino médio não devem envolver apenas as habilidades evocadas pelo mercado de trabalho, mas também e, principalmente, os conhecimentos científicos necessários para a compreensão do desenvolvimento tecnológico produzido pela sociedade.

Considerando este aspecto, passamos a identificar como o conteúdo de Supercondutividade tem sido trabalhado no ensino médio, ainda que nos dias de hoje, devido uma concepção instrumental de currículo, este e outros conteúdos igualmente importantes e necessários para a formação dos estudantes não estejam sendo - na maioria dos casos - abordados em sala de aula.

De posse das análises dos trabalhos, passamos a elaborar o produto educacional que consiste em uma proposta de ensino para o tema de supercondutividade na educação básica, embasada nos pressupostos da Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) de Saviani (2011, 2020) que defende a ideia de que o ensino deve produzir o saber, fazendo com que aqueles que participam do processo consigam absorver os conteúdos e transformar o meio onde vivem em um local com igualdade de oportunidades. Colaborando com a teoria PHC (Pedagogia Histórico-Crítica) proposta por Saviani, Gasparin (2003) propõe em sua obra, uma didática favorável para aplicá-la na realidade da escola, e baseia-se em cinco passos que permitem a evolução do conhecimento, tendo como ponto de partida a prática social do estudante e como ponto final, o conhecimento mais aprofundado e sistematizado, relacionado com a teoria e a prática à realidade do estudante.

No primeiro passo, prática social inicial, implica em identificar o conhecimento que o aluno já sabe sobre o conteúdo (Gasparin, 2003, p.17). Neste cenário, os pré-requisitos que o professor deve identificar nos estudantes devem compor o ponto de partida da prática docente, e, são frequentemente baseados em uma percepção inicial do senso comum.

O segundo passo, a problematização, acontece quando fenômenos e situações-problemas são discutidos e relacionados com a prática social inicial. Neste momento acontecem os questionamentos por parte dos alunos, que serão direcionados pelo professor, que por sua vez iniciara uma reflexão muito maior, possibilitando entender os problemas e as dificuldades que os conteúdos científicos apresentaram.

De acordo com Gasparin (2003, p.17), no terceiro passo, a instrumentalização, acontece o contato mais aprofundado com o conhecimento teórico em suas diferentes dimensões, relacionando as afirmações baseadas nas experiências cotidianas com o conteúdo concreto e mais sistematizado.

O quarto passo, a catarse, determina qual nível de aprendizagem o estudante atingiu. Para tanto são utilizados com uma frequência de textos, exposições orais

onde o aluno irá fazer uma síntese demonstrando o seu grau de assimilação dos novos conteúdos.

A retomada da prática social final constitui o quinto passo, e este momento serve para consolidar a compreensão mais ampla e crítica da realidade. Ele está relacionado diretamente com a prática social inicial, modificado pela compreensão dos conteúdos teóricos, gerando um conhecimento mais amplo, aprofundado e sistematizado da nova realidade assimilada pelo estudante.

Tendo em vista os cinco passos para o desenvolvimento da PHC (Pedagogia Histórico-Crítica), apresentamos na sequência a estrutura dos encontros com os estudantes que serviu como norte para o desenvolvimento desta proposta.

No primeiro momento, foi utilizado um questionário inicial, o qual serviu como base para o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema Supercondutividade. Na sequência, foi conduzida uma breve discussão sobre as respostas obtidas, com o intuito de nivelar e familiarizar os estudantes com o tema.

No segundo momento foram retomados os conceitos sobre o tema supercondutividade utilizando recursos como textos de apoio e vídeos, visando abordar conteúdo de forma contextualizada com as aplicações tecnológicas do fenômeno.

No terceiro momento foi realizada uma experiência de demonstração do fenômeno de levitação magnética a partir da qual foi gerado um vídeo, e em seguida, foi encaminhada uma discussão sobre o assunto e suas aplicações, visando, sobretudo, a participação ativa dos estudantes.

O quarto momento foi reservado para uma atividade teórico-prática na qual os estudantes criaram uma história em quadrinhos que foi apresentada pelos estudantes no quinto momento.

No quinto momento foi encaminhada a apresentação das histórias em quadrinhos sobre Supercondutividade, bem como, com o questionário final, que servirá como parâmetro para discussões das questões ou lacunas que possam ter se mantido até o momento.

Finalizando, cabe destacar que este trabalho foi desenvolvido em uma turma de terceiro ano do curso de formação de docente de um Colégio Estadual pertencente ao Núcleo Regional de Toledo Pr, do período vespertino, um total de 35 alunos. Para tanto, um termo de consentimento foi encaminhado aos participantes – que segue em anexo - em concordância com a direção e equipe pedagógica deste

colégio, para que, durante 10 aulas de Física de 50 minutos cada, as atividades contidas no produto educacional fossem desenvolvidas com os estudantes, bem como a realização da coleta de dados para a pesquisa.

5 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Este produto educacional foi desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica de revistas científicas de teses e dissertações sobre o tema Supercondutividade do ensino básico, levantadas em diferentes bases de dados. O produto incorpora na etapa inicial um questionário sobre o tema Supercondutividade proposto a partir da plataforma *Quizizz*, para identificar o conhecimento prévio que os estudantes trazem sobre o assunto.

De posse dos dados obtidos a partir do questionário, foi desenvolvido o conteúdo sobre Supercondutividade, supercondutores, teoria do BCS, efeito Meissner, Levitação Magnética, diamagnetismo perfeito, Teoria BCS, pares de Cooper e as aplicações tecnológicas da Supercondutividade, por meio do desenvolvimento das atividades teóricas práticas, texto, experimento, vídeos, que relacionam os conceitos sobre o tema Supercondutividade. Para tanto, foi utilizado um texto de apoio que aborda os assuntos de Supercondutividade de maneira contextualizada com as aplicações deste fenômeno.

É importante notar que além do texto, foram utilizados vídeos para dinamizar e facilitar a compreensão dos fenômenos da Supercondutividade. Destacamos ainda que todas as atividades foram desenvolvidas em conformidade com as orientações previstas nos PCNs - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 1997), nas DCNs de Física - Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Paraná (PARANÁ, 2008), no PPP (Projeto Político Pedagógico), e na PPC (Proposta Pedagógica Curricular) do estabelecimento de ensino.

Para facilitar a organização das atividades descritas no do produto educacional, abaixo apresentamos o plano de unidade que detalha as atividades desenvolvidas em cada aula.

PLANO DE UNIDADE
INSTITUIÇÃO: COLÉGIO DA REDE PUBLICA DO NÚCLEO DE TOLEDO
PROFESSORA: MARIA ROSELI SALU DOS SANTOS HEPPNER
DISCIPLINA: FÍSICA
PLANO DE UNIDADE: O ENSINO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA.
ANO LETIVO: 2021 TRIMESTRE: 3°

SÉRIE: 3º FORMAÇÃO DOCENTE	DURAÇÃO: 10h/a
-----------------------------------	-----------------------

CONTEÚDO: SUPERCONDUTIVIDADE

OBJETIVO GERAL

- Propor aos alunos discussões, para um diagnóstico básico sobre a Supercondutividade, explorando o conhecimento prévio trazidos pelos estudantes, e a partir desta análise, iniciar a problematização do assunto desenvolvendo práticas que possibilitem ao estudante ampliar a capacidade de organizar e sistematizar os dados e resultados sobre o conteúdo de Supercondutividade.
- Elaborar uma proposta didático-pedagógica para o ensino da supercondutividade na disciplina de com objetivo de melhorar o processo de ensino-aprendizagem, explorando diferentes dimensões do conteúdo, tais como, histórica, conceitual, científica, econômica e social.
- Fornecer aos professores e profissionais da educação básica um material paradidático para o desenvolvimento dos conteúdos de supercondutividade através de aulas teórico-práticas, utilizando recursos tecnológicos que permitam contribuir com o ensino da supercondutividade, caracterizado por ser um tema da que contribui para o desenvolvimento e compreensão do aluno nas aplicações dos avanços tecnológicos.

PRÁTICA SOCIAL

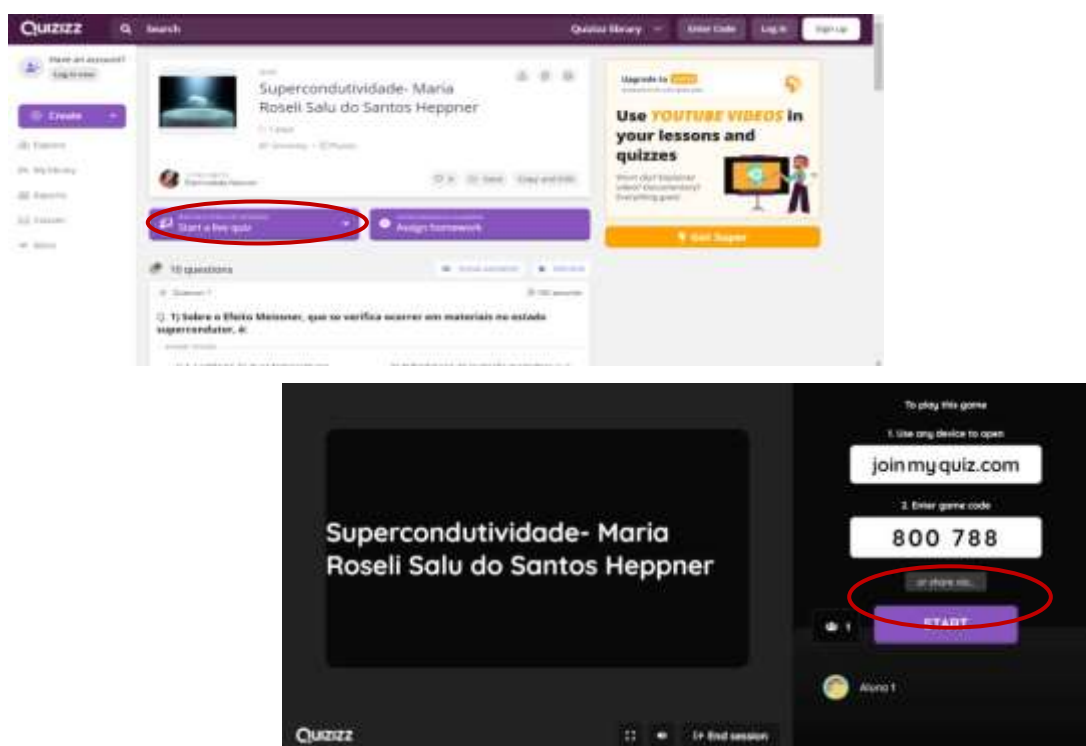
PASSO 1: Questionário inicial

DURAÇÃO: 2h/a

No primeiro passo, prática social inicial, implica em identificar o conhecimento que o aluno já sabe sobre o conteúdo (Gasparin, 2003, p.17). Neste cenário, os pré-requisitos que o professor deve identificar nos estudantes devem compor o ponto de partida da prática docente, e, são frequentemente baseados em uma percepção inicial do senso comum. Para tanto, foi utilizado um questionário, composto por perguntas que possibilitam identificar quais os conhecimentos trazidos pelos estudantes sobre supercondutividade. Este questionário foi disponibilizado em uma plataforma, *Quizziz*, conforme mostra a Figura 1.

Com base na Figura 1 podemos notar que a interface do aplicativo é bem intuitiva, que a montagem do cenário, da definição da unidade e das questões fornecidas aos estudantes podem ser compartilhadas pelo link, no exemplo joinmyquiz.com, ou por um código digitado diretamente no site Quizziz. Abaixo apresentamos as perguntas que compõe o questionário inicial, que também pode ser acessado pelo link: <https://quizziz.com/admin/quiz/60eb83e0547e91001b6ac9a1>

Figura 1: Interface do questionário inicial.



Fonte: HEPPNER (2022)

1). Quanto aos materiais supercondutores, é correto afirmar que:

- a) apresentam resistência elétrica nula quando material estiver abaixo da temperatura crítica.
- b) permitem a entrada do campo magnético em seu interior a uma temperatura acima da temperatura crítica.
- c) apresentam o diamagnetismo perfeito caracterizado pela penetração do campo magnético abaixo da temperatura crítica.
- d) apresentam o diamagnetismo perfeito caracterizado pela expulsão do campo magnético abaixo da temperatura crítica.

2). Os principais desafios técnicos científicos para a aplicação prática da supercondutividade consistem em:

a) construir sistemas eficientes de grandes dimensões para manter as baixas temperaturas necessárias pelos supercondutores.

b) obter supercondutores que apresentem temperatura crítica mais próxima da temperatura ambiente.

c) compreender as medidas das propriedades físicas dessa classe de materiais.

d) vencer o desinteresse dos cientistas e pesquisadores, uma vez que a supercondutividade é um fenômeno difícil e raro de acontecer.

3). Descreva qual o maior objetivo entre os cientistas que pesquisam a supercondutividade?

4). Qual a diferença entre os supercondutores do tipo I e do tipo II?

5). Onde é aplicada a supercondutividade na sociedade moderna?

a) nas transmissões de energia.

b) na eletrônica, no uso de lâmpadas mais econômicas.

c) em aparelhos que requerem intensos campos magnéticos.

d) Transporte coletivo os trens de alta velocidade.

6). Quem descobriu a supercondutividade e quando isso ocorreu?

a) Heike Kamerlingh Onnes em 1911.

b) Heike Kamerlingh Onnes em 1908.

c) John Bardeen em 1911.

d) John Robert Schrieffer em 1913

7). Cite quais os principais pesquisadores que contribuíram para a compreensão da supercondutividade?

8) Supercondutor é: um material que pode conduzir eletricidade ou transportar elétrons de um átomo para outro sem resistência elétrica. Isso

significa que nenhum calor, som ou qualquer outra forma de energia seria liberada do material abaixo da temperatura crítica.

Verdadeiro

Falso

9). Sobre o efeito Meissner e o campo magnético aplicado em materiais no estado supercondutor, é correto afirmar que:

- a) relaciona a existência de duas temperaturas críticas.
- b) o fenômeno da levitação magnética pode ocorrer concomitantemente ao efeito Meissner.
- c) a ação de campos magnéticos externos gera a degradação do estado supercondutor.
- d) consiste na expulsão completa de campos magnéticos do interior do material supercondutor.

10). Sobre o estado misto, podemos afirmar que?

- a) ocorre apenas em supercondutores do tipo II.
- b) define uma região no diagrama de fases na qual é permitida a instalação de campo magnético no interior do supercondutor.
- c) consiste em uma região onde ocorre dissipação de energia.
- d) ocorre apenas nos supercondutores do tipo I.

11) sobre a transição para o estado normal, é correto afirmar que?

- a) de acordo com a teoria BCS, ocorre quando o supercondutor for submetido a qualquer fonte de energia aplicada ao supercondutor for capaz de destruir os pares de Cooper.
- b) costumeiramente ocorre em temperaturas maiores para as supercondutores do tipo I.
- c) ocorre quando o supercondutor for completamente penetrado por campo magnético.
- d) ocorre quando a resistência elétrica deixa de ser nula.

PROBLEMATIZAÇÃO**PASSO 2: Textos de apoio e vídeos****DURAÇÃO: 2h/a**

O segundo passo, a problematização, acontece quando fenômenos e situações-problemas são discutidos e relacionados com a prática social inicial. É neste momento que acontecem os questionamentos por parte dos alunos, retomando os conceitos sobre o tema supercondutividade por meio de vídeos e textos de apoio, com abordagem contextualizada em aplicações tecnológicas da supercondutividade.

Os vídeos usados para a introdução do tema de supercondutividade (vídeo 1 – *“Na era dos Supercondutores”*¹; vídeo 2 – *“Supercondutor - Trens do Futuro”*²) serviram para iniciar as discussões sobre o fenômeno e algumas das aplicações tecnológicas possíveis.

Já o texto, que segue abaixo, é de autoria própria e foi disponibilizado aos alunos com o propósito de complementar alguns aspectos teóricos sobre o comportamento dos supercondutores, descrevendo com mais detalhes o efeito Meissner, os conceitos iniciais sobre a teoria BCS, articulando o comportamento das grandezas físicas em diferentes materiais, tais como, isolantes, condutores e semicondutores.

Neste contexto, optamos por explorar o fenômeno da levitação magnética vinculado com a supercondutividade, de modo a compreender como um campo magnético externo pode interagir com o supercondutor gerando uma repulsão estável. Entenderemos também como o fenômeno da levitação magnética pode ser aplicado como ferramenta com potencial de aprimorar o transporte em larga escala.

Outra opção explorada no texto visa avaliar o transporte de corrente elétrica entre um condutor convencional e um supercondutor. Com o desenvolvimento da medicina, tornou-se cada vez mais comum o uso de exames baseados em técnicas de imagens sofisticadas, como a ressonância magnética. Nesta técnica, altos campos magnéticos são empregados, obtidos através de grandes eletroímãs que necessitam transportar altas correntes elétricas.

¹ Disponível em: <https://youtu.be/609Xyza5zi4> (acesso em 15/10/2021)

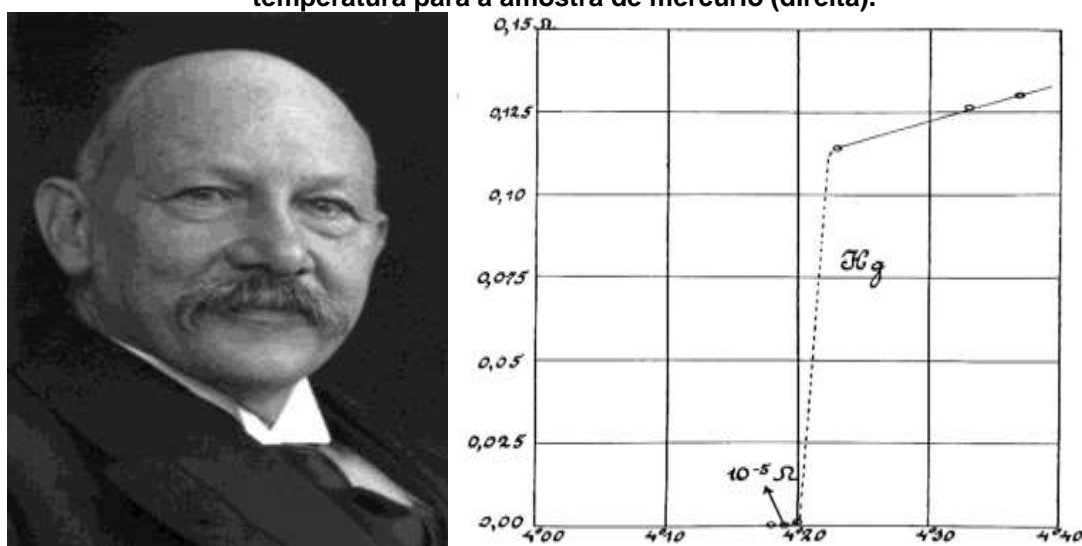
² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BHW1YdGY-00> (acesso em 15/10/2021)

Ao longo do texto abaixo, e dos vídeos que seguem, entenderemos melhor como o campo magnético é gerado e mantido nessas máquinas, sem a necessidade da conexão com uma fonte de alimentação ligada 24 horas por dia.

A SUPERCONDUTIVIDADE

A supercondutividade define um fenômeno descoberto pelo físico alemão Heike Kamerling Onnes em 08 de abril de 1911, em Leiden, que realizou medidas de resistência elétrica em uma amostra de mercúrio em função da temperatura. Onnes estava pesquisando as propriedades elétricas de diferentes metais em temperaturas extremamente baixas, e para realizar este feito, usava um banho térmico de hélio líquido. A descoberta da Supercondutividade aconteceu quando foi verificado que a resistência elétrica do mercúrio caía inesperadamente a zero em 4,2 K. Com essa descoberta, uma nova classe de materiais condutores foi desenvolvida, os materiais supercondutores, gerando um campo de estudo de um dos fenômenos físicos mais fascinantes do século XX. Cabe destacar que Heike Kamerlingh Onnes foi um físico nascido me Groningen, na Holanda, ganhador do prêmio Nobel de em 1913 pelos seus trabalhos realizados sobre propriedade da matéria a baixa temperatura, que levaram a liquefazer o hélio em 1908 pela primeira vez e, portanto, famoso por seus trabalhos em criogenia e supercondutividade.

Figura 2: Imagem de Kammerlingh Onnes (esquerda) e da medida da resistência em função da temperatura para a amostra de mercúrio (direita).



Fonte: (Esquerda) MLA style (2022), (Direita) MAROUCHKINE, 2004, p.310

Analisando a Figura 2 (direita), podemos notar a transição entre as fases normal e supercondutora para a amostra de mercúrio, realizada originalmente por Onnes. Nela podemos observar um comportamento linear entre a resistência e a temperatura acima de T_c – comportamento tipicamente esperado para os metais –, seguido de uma transição abrupta para um valor muito pequeno, não mensurável da resistência elétrica abaixo de T_c . Estudos complementares demonstraram que a resistência elétrica no estado supercondutor é nula. Cabe destacar que para aferir a temperatura crítica nesta técnica de medida, a corrente elétrica usada na medida não pode ser grande, pois neste caso, ela pode antecipar a transição de fase tendo em vista a energia transferida para a amostra neste processo.

No entanto, quase 20 anos depois, em 1933, Walther Meissner e Robert Ochsenfeld verificaram que além dos supercondutores apresentarem resistência elétrica nula, também eram capazes de promover a expulsão total do campo magnético do seu interior, ou seja, o diamagnetismo perfeito, caracterizando dessa forma o efeito Meissner. Sendo assim, para que um material seja caracterizado como supercondutor, é necessário a apresentação de duas propriedades físicas simultâneas: a resistência elétrica nula e o efeito Meissner abaixo de T_c .

Neste cenário, o fenômeno da supercondutividade causou grande empolgação no meio científico, devido às muitas possibilidades de suas aplicações, seja no campo do transporte de corrente elétrica, geração de altos campos magnéticos, sensores magnéticos, ou ainda no campo da levitação magnética.

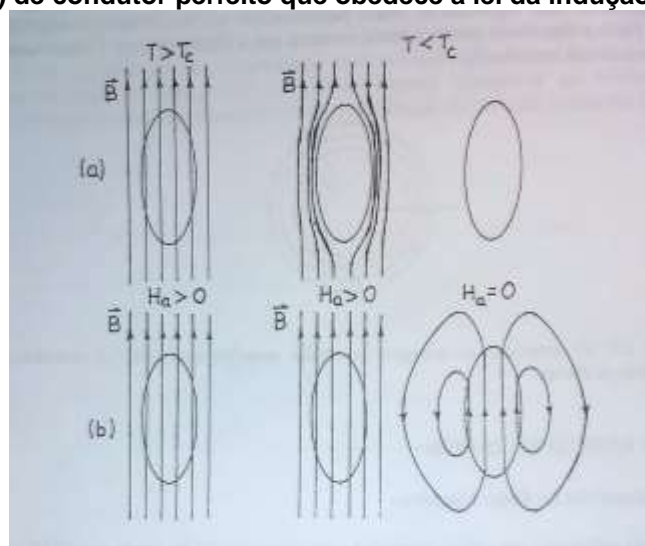
Visando diferenciar o comportamento entre um condutor perfeito, que exhibe apenas resistência elétrica nula, e um supercondutor, que além deste efeito exhibe também o diamagnetismo perfeito, apresentamos na Figura 3, que demonstra o comportamento do campo magnético durante o resfriamento da amostra, chamado de resfriamento na presença de um campo magnético (*Field Cooling – FC*).

Neste procedimento uma amostra supercondutora, inicialmente no estado normal, é resfriada na presença de um campo magnético até atingir uma temperatura inferior à temperatura crítica, T_c . Verifica-se que em T_c , o campo magnético é expulso abruptamente do interior do supercondutor, caracterizando o fenômeno efeito Meissner (Figura 3a). No entanto, o mesmo não ocorre com o condutor perfeito, que permanece com o campo magnético penetrado no seu interior em temperaturas baixas (Figura 3b), uma vez que para gerar correntes de blindagem nesses materiais, é necessária uma variação temporal do fluxo

magnético, descrito pela Lei de Faraday. Nos supercondutores o campo magnético é expulso do seu interior em função do aparecimento de supercorrentes superficiais que geram um campo oposto ao aplicado, cancelando a indução magnética B no seu interior. Por fim, quando o campo externo é removido em temperaturas menores que T_c , no condutor perfeito a indução magnética aprisiona o campo magnético no seu interior ($B \neq 0$), enquanto no supercondutor o efeito Meissner continua a expulsar o campo magnético do seu interior ($B = 0$).

Visando diferenciar o comportamento entre um condutor perfeito (com resistência nula) e um supercondutor, apresentamos na Figura 3, um procedimento chamado de resfriamento na presença de um campo magnético (*Field Cooling – FC*). Se aplicarmos um campo magnético fraco a um sistema supercondutor quando esse se encontra no estado normal ($T > T_c$) e realizarmos o procedimento *FC*, observaremos uma expulsão abrupta do campo magnético quando o estado supercondutor for obtido, em temperaturas menores ou iguais a T_c , caracterizando o fenômeno efeito Meissner, conforme Figura 3a.

Figura 3: (a) O comportamento de um supercondutor, revelando o efeito Meissner abaixo de T_c , e em (b) de condutor perfeito que obedece à lei da indução de Faraday.



Fonte: Pureur, 2004, p. 10.

O procedimento *FC* (onde resfria-se a amostra na presença de um campo magnético) com o qual verifica-se que o fluxo é excluído do interior do material. É por este procedimento que se demonstra que um SC não é um condutor perfeito e, sim, um diamagneto perfeito (OSTERMANN; PUREUR, 2005).

Porém o mesmo não ocorre com o condutor perfeito ($R = 0$), que permanece com o campo magnético penetrado no seu interior em temperaturas baixas, conforme mostra a Figura 3 (b). Esta propriedade mostra que, se a transição de fase ocorrer na presença de um campo magnético, serão induzidas supercorrentes superficiais nas amostras supercondutoras que cancelam a indução magnética B no seu interior, caracterizando o efeito Meissner. Por fim, ainda na Figura 3b, quando o campo externo é anulado, em função da indução magnética e em conformidade com a Lei de Faraday, surge no condutor perfeito um campo oposto à variação de fluxo magnético, revelando ao final, uma amostra com campo aprisionado no seu interior.

A lei da indução eletromagnética, frequentemente referida como lei de Faraday é de suma importância para o desenvolvimento do eletromagnetismo, uma vez que revela a existência de uma relação direta entre fenômenos elétricos e magnéticos, que foram tratados como fenômenos distintos por muitos anos.

De acordo com Hessel *et. al.* (2015) a lei de Faraday enuncia que quando houver variação do fluxo magnético através de um circuito, surgirá nele uma força eletromotriz induzida. Nota-se que o surgimento de correntes elétricas depende da mudança temporal de fluxo magnético. Segundo a Lei de Faraday, a variação temporal de fluxo magnético é equivalente ao negativo do potencial elétrico medido em volts (V), chamado de força eletromotriz induzida (\mathcal{E}), conforme se observa na equação 1:

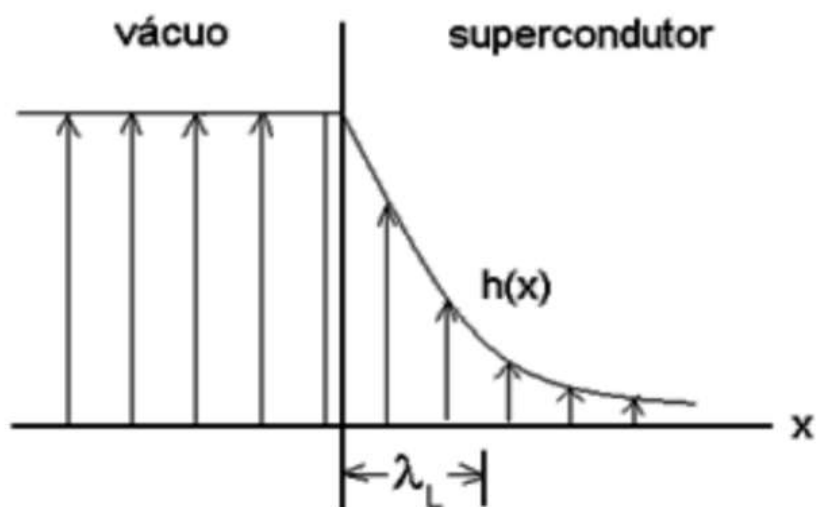
$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde se tem: \mathcal{E} - força eletromotriz induzida (V - volts), $\Delta\Phi = \Phi_F - \Phi_i$ - variação do fluxo magnético (Wb) e Δt - intervalo de tempo (s).

Cabe destacar que o campo magnético não decai abruptamente na interface do supercondutor. Esta região é percorrida por supercorrentes superficiais que blindam a amostra, e circulam o material em uma espessura que possui uma escala característica denominada profundidade de penetração de London, λ . Esta quantidade é uma das grandezas características do estado supercondutor, que depende de cada material, mas em geral sua ordem de grandeza é de 100 nm. A Figura 4 ilustra a dependência do campo magnético em função com a posição na interface do supercondutor.

O efeito Meissner é observado em todos os supercondutores desde que o campo aplicado não seja demasiadamente alto. Porém, com a evolução dos estudos e a descobertas de novos materiais supercondutores, diferentes comportamentos em relação ao campo magnético foram verificados, levando à classificação dos supercondutores em duas classes: os supercondutores do tipo I e do tipo II.

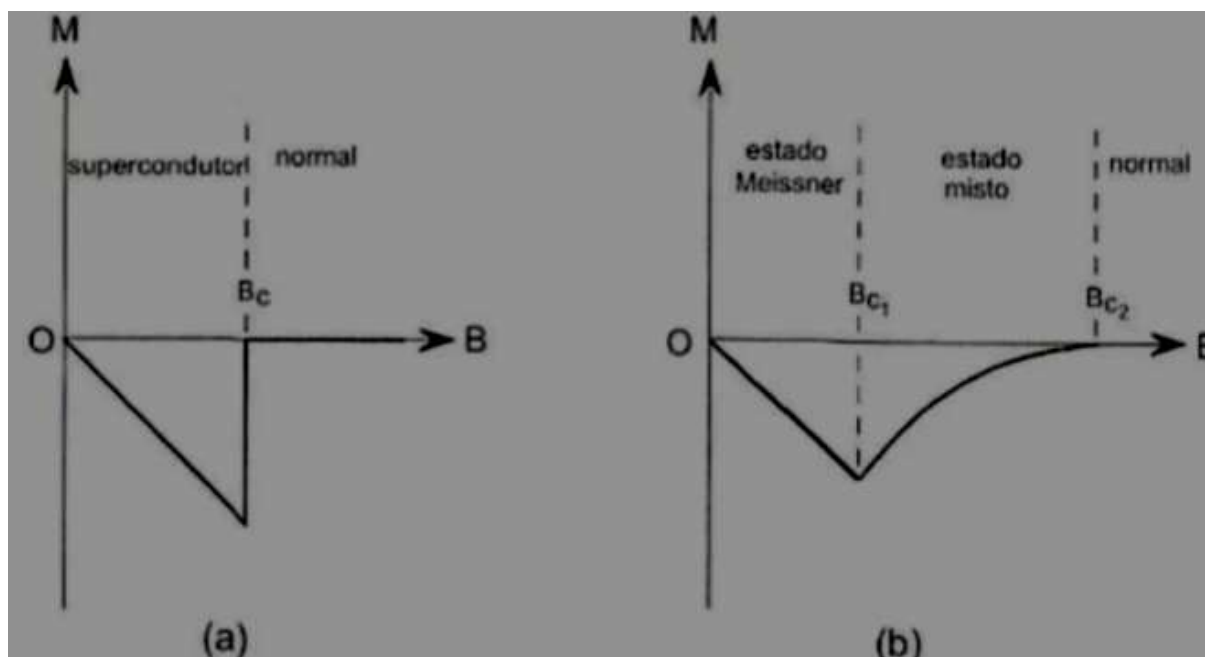
Figura 4: Dependência do campo magnético em função da posição.



Fonte: Pureur, 2012, p. 5

Os supercondutores do tipo I apresentam apenas os estados Meissner e normal. Se o campo aplicado for inferior ao valor crítico não ocorre nenhuma penetração de campo magnético no seu interior, como mostrado na Figura 5a. Já os supercondutores do Tipo II apresentam dois campos críticos (Figura 5b). Para campos magnéticos menores que H_{c1} – o campo crítico inferior – ocorre a exclusão total do fluxo magnético por meio do estado Meissner. Aumentando o campo magnético, o fluxo magnético penetra parcialmente na amostra, preservando a resistência nula até o campo crítico superior H_{c2} seja atingido, cujo valor pode ser às vezes muito maior que H_{c1} (Figura 5b). A região do diagrama de fases entre o valor de H_{c1} e H_{c2} é denominada de estado misto ou estado de vórtices, em função da penetração quantizada de fluxo magnético no interior da amostra.

Figura 5: Comportamento da magnetização M em função do campo magnético aplicado em supercondutores (a) do tipo I e (b) do tipo II.



Fonte: MENEGOTTO (2012, s.p)

Para entender melhor as interações entre o campo magnético nas amostras supercondutoras, segue abaixo a representação fundamental entre a magnetização e os campos magnéticos, segundo a equação 2:

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2)$$

Onde, H é o campo magnético aplicado, medido em A/m no sistema internacional de unidades, SI, M é a magnetização, definida pela resposta magnética da amostra, medida em A/m, e B é a indução magnética, proporcional ao campo aplicado somada à magnetização, medida em tesla, T.

Em um supercondutor no estado Meissner, $B = 0$, a relação entre o campo aplicado e a magnetização é linear e pode ser descrita como mostra a equação 3:

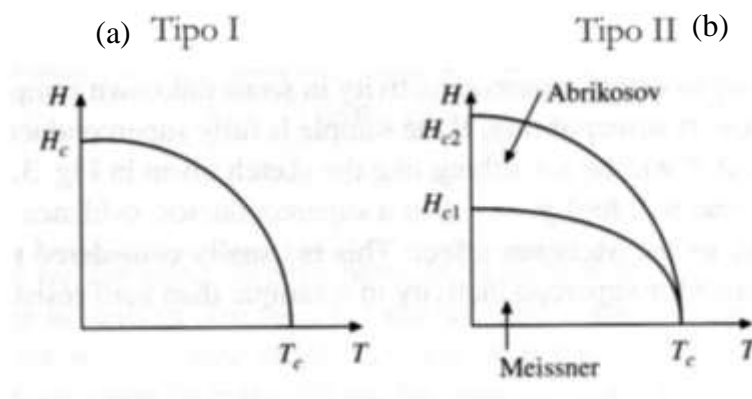
$$H = -M \quad (3)$$

Cabe destacar que os supercondutores do tipo II apresentam maior utilidade tecnológica em relação aos supercondutores do tipo I, pois

apresentam maiores valores de H_{c2} , possibilitando o transporte de densidade de corrente elétrica mais elevada.

É interessante ressaltar que H_c , H_{c1} e H_{c2} são dependentes da temperatura e da corrente transportada ao longo do supercondutor. Considerando o regime supercondutor, quanto maior a temperatura, ou seja, mais próxima de T_c , menores serão os valores dos campos e das correntes críticas, como mostrado na Figura 6.

Figura 6: Dependência dos campos críticos em função da temperatura para supercondutores do tipo I (a) e do tipo II (b).



Fonte: Pureur, 2004, p.4.

Analisando o diagrama de fases representado na Figura 6(b) podemos observar de outra maneira a transição para o estado normal. Nos supercondutores do tipo II, o estado supercondutor é formado por duas regiões diferentes; abaixo de H_{c1} , o estado Meissner, entre H_{c1} e H_{c2} , o estado Misto. Acima da linha H_{c2} as propriedades supercondutoras deixam de existir, e o material passa para o estado normal.

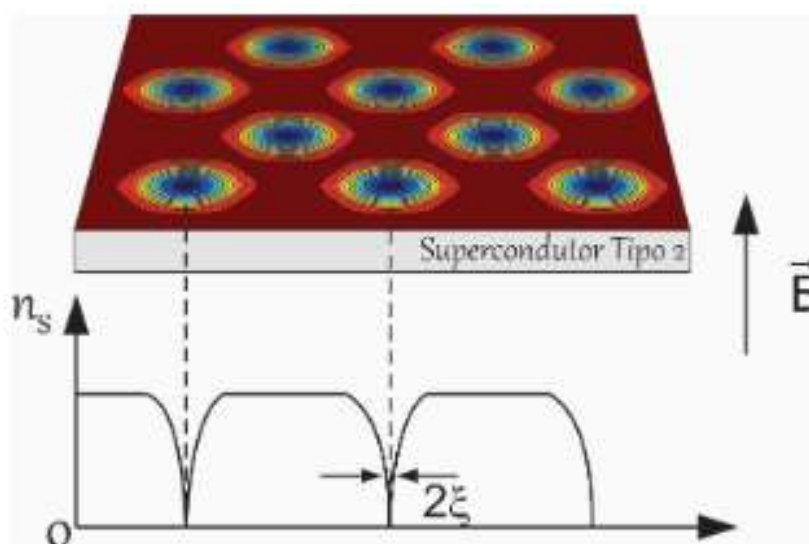
No estado misto o campo magnético penetra de forma quantizada no supercondutor, por meio de vórtices, que tendem a se organizar na forma hexagonal centrada, conhecida como a rede de Abrikosov. Os vórtices são formados por um núcleo, com campo magnético e que atinge o estado normal no seu centro, circulado por supercorrentes, que tendem a confinar esse fluxo magnético.

Cabe destacar que os vórtices atravessam a amostra de um lado ao outro, de maneira análoga a um cilindro fino, blindado por supercorrentes que

possui dimensões espaciais típicas descritas por uma escala característica, ξ , denominada comprimento de coerência, conforme mostrado na Figura 7. É interessante ressaltar que a dimensão espacial dessa rede de vórtices muda conforme o campo magnético no qual a amostra está submetida.

Dessa forma, considerando que a amostra esteja no estado misto, quanto mais próxima a condição de campo magnético e de temperatura da linha H_{c2} , mais próximo um vórtice estará do outro no interior do supercondutor, de modo que ao cruzar a linha H_{c2} do diagrama de fases, a amostra estará completamente preenchida por vórtices de tal forma que não restará qualquer porção supercondutora no seu interior, ou seja, a amostra terá passado para o estado normal.

Figura 7: Ilustração da rede de Abrikosov, e da dependência espacial do comprimento de coerência.



Fonte: RODRIGUES, 2013, p. 20.

É interessante destacar que mediante a razão da profundidade de penetração de London, λ , e o comprimento de coerência, ξ , é possível definir a constante de Ginzburg-Landau, κ , que pode ser usado para classificar os supercondutores do tipo I e II conforme a equação 4.

$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad (4)$$

Quando for menor que $1/\sqrt{2}$, o supercondutor será do tipo I e caso κ for maior que $1/\sqrt{2}$, o supercondutor será do Tipo II.

MATERIAIS SUPERCONDUTORES E SUAS APLICAÇÕES

Dentre as contribuições associadas ao fenômeno da supercondutividade, a geração de altos campos magnéticos se destaca em função desses materiais conduzirem alta densidade de corrente elétrica, quando submetidos a uma temperatura abaixo da temperatura crítica, T_c .

Para comparar a capacidade de transporte de corrente de um supercondutor à um condutor convencional de cobre ou alumínio, buscamos alguns dados baseados na Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5410 que determina, dentre outras aplicações, a capacidade máxima de transporte de corrente de fios e cabos elétricos em função da sua aplicação e bitola. Essa norma descreve que condutores de cobre e de alumínio podem transportar respectivamente de 618 a 1125 A/cm² e de 495 a 878 A/cm², considerando diferentes aplicações de fios e cabos elétricos, tais como: submersos, aéreos e com diferentes tipos de isolamento. Já para o caso de supercondutores, diferentes métodos empregados na fabricação e no processo de medida desses materiais, o podem render diferentes valores na densidade de corrente elétrica. Em um experimento usando amostras de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ com granulometria variada de 3 a 53 μm , foi verificada uma densidade de corrente crítica de 2×10^6 A/cm² (Poole, 2007, p.17). Comparando esses valores aos do cobre, podemos concluir que, um fio supercondutor de YBCO seria capaz de transportar uma corrente elétrica mais de 1000 vezes maior que um fio de cobre com a mesma bitola.

Neste sentido, os altos campos que podem ser gerados pelos supercondutores possibilitaram o desenvolvimento de máquinas compactas, como as de ressonância magnética, aprimorando ainda mais os diagnósticos por imagens na medicina e nos estudos das propriedades magnéticas dos materiais.

Desde a descoberta do primeiro elemento supercondutor em 1911, muitos outros materiais foram descobertos, bem como, muitas teorias foram criadas com o intuito de explicar o fenômeno da supercondutividade. Abaixo apresentamos a Tabela 1 que apresenta os principais marcos no desenvolvimento teórico da supercondutividade.

Quadro 1 - Laureados com o prêmio Nobel de Física por pesquisas realizadas no campo da supercondutividade

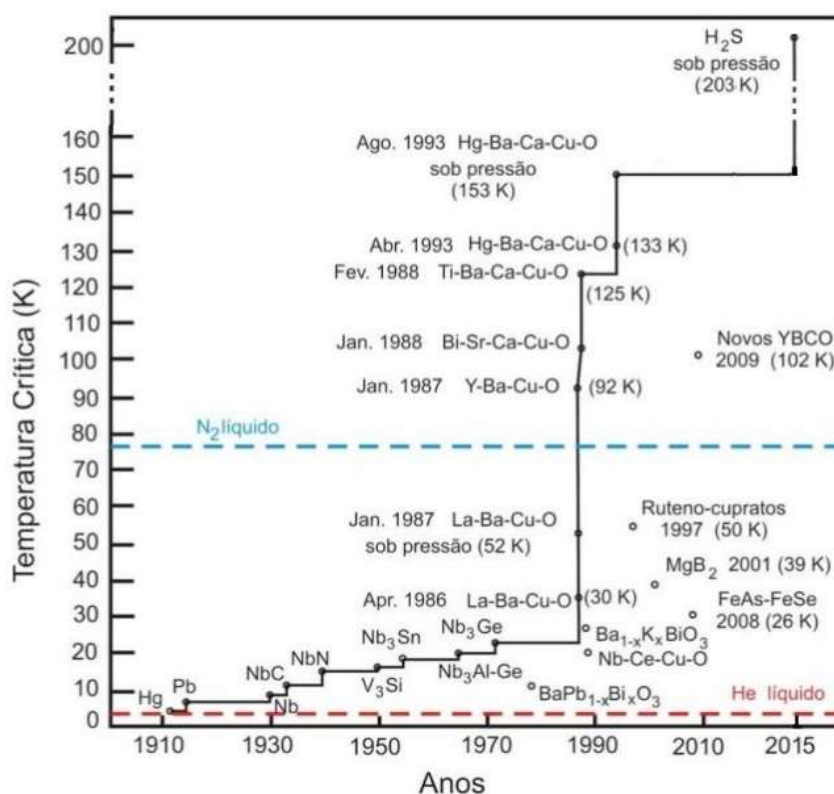
Ano	Premiados	Colaboração
1911	Heike K. Onnes	Abordagem sobre a propriedade da matéria em baixas temperaturas e a descoberta da supercondutividade.
1933	Walther Meissner Robert Ochsenfeld	Verificação do diamagnetismo perfeito abaixo de T_c (efeito Meissner).
1935	Fritz e Heinz London	Primeira descrição teórica para a condutividade e o diamagnetismo perfeito.
1950	Vitaly Ginzburg Lev Landau	Teoria fenomenológica da supercondutividade, baseada em uma transição de fase de segunda ordem.
1957	John Bardeen Leon N. Cooper Robert Schrieffer	Teoria microscópica da supercondutividade denominada BCS, baseada na formação dos Pares de Cooper.
1962	Brian D. Josephson	Teoria do tunelamento dos Pares de Cooper (efeito Josephson).
1986	Karl Alex Muller J. Georg Bednorz	Descoberta da supercondutividade de alta temperatura crítica num cuprato de lantânio de bário.
2003	Vitaly Ginzburg Anthony J. Leggett Alexei A. Abrikosov	Prêmios Nobel da Física pelo desenvolvimento da teoria fenomenológica dos supercondutores do tipo II e da superfluidez.

Fonte: Modificado de Costa e Pavão (2012, p. 2602-10).

Em paralelo com o desenvolvimento das teorias aplicadas ao fenômeno da supercondutividade, as pesquisas experimentais demonstravam que este fenômeno era verificado em diferentes materiais, e em temperaturas que se superavam com o decorrer do tempo, como mostrado na Figura 8. Neste sentido, a evolução cronológica da temperatura crítica dos materiais supercondutores apresentou um marco importante para a descoberta de muitos compostos Nb entre as décadas de 30 e 70, como o difundido Nb₃Sn, que

viabilizou o desenvolvimento de aplicações tecnológicas úteis. Outro marco importante foi obtido em 1986, com a descoberta do $\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-\gamma)}$ (LBCO) por Johannes Georg Bednorz e Karl Alexander Müller, o primeiro da classe dos cupratos cerâmicos que superaram a temperatura de liquefação do nitrogênio, 77 K, difundindo ainda mais esse campo de estudo em função da sua abundância e viabilidade econômica.

Figura 8: Evolução do descobrimento dos materiais supercondutores.



Fonte: LEPICH, 2017, p.32

Cabe destacar que na maioria dos casos, os materiais supercondutores não apresentam boas propriedades condutoras no estado normal, como é o caso dos óxidos cerâmicos, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($T_c = 92$ K) e $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ ($T_c = 108$ K), ou apenas apresentam a supercondutividade próximas da temperatura ambiente quando submetidos à altíssimas pressões, da ordem de centenas de GPa, como é o caso dos hidretos YH_6 , LaH_{10} e H_2S .

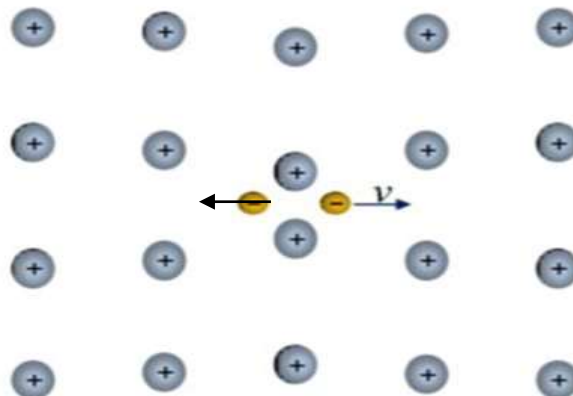
A TEORIA BCS

A teoria do BCS, que leva o nome de seus desenvolvedores, John Bardeen, Leon Cooper, e John Robert Schrieffer, é a única teoria que traz uma explicação microscópica do fenômeno da supercondutividade. Nessa teoria o processo de condução de cargas elétricas ocorre por meio do acoplamento de elétrons formando pares, com spins opostos, que são chamados de pares de Cooper. Esse acoplamento é mediado por meio de fônons, ou seja, vibrações da rede de átomos que forma o supercondutor. O Estado supercondutor, portanto, é descrito por um condensado de pares de Cooper distribuídos homoganeamente ao longo de sua extensão.

Não é comum que dois elétrons se acoplem formando um par de elétron, pois a repulsão Coulombiana gera uma força repulsiva entre cargas de mesmo sinal. No entanto, quando a energia associada à repulsão Coulombiana entre dois elétrons se torna menor que a energia associada aos fônons - vibração da rede cristalina de átomos ($\hbar\omega$) – este acoplamento se torna viável, pois, reduz a energia do sistema, possibilitando que todos os pares de Cooper se condensem para o mesmo nível de energia.

Para entendermos melhor o mecanismo de acoplamento de elétrons por meio de fônons, podemos analisar a Figura 9. Nela um elétron se movendo no supercondutor causa uma deformação na rede de átomos. Essa deformação causa um aumento na densidade de cargas positivas locais em função da aproximação dos núcleos dos átomos da rede cristalina que favorece o acoplamento do segundo elétron que compõe o par de Cooper.

Figura 9 - Íons positivos atraídos pelo elétron que passa pela rede cristalina do material supercondutor, fazendo interação elétron-fóton e finalmente formando par de Cooper.



Fonte: Adaptado de Miranda (2013, p. 32)

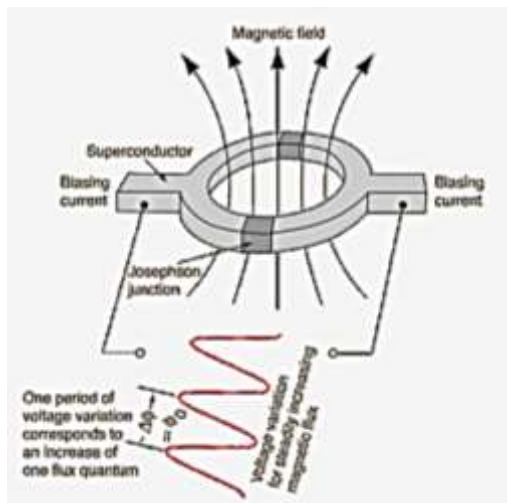
Conforme a teoria BCS, as propriedades do estado supercondutor são definidas por uma função de onda, cujo módulo elevado é proporcional à densidade de Pares de Cooper no interior do supercondutor. Essa teoria foi desenvolvida em 1957 e explica o estado supercondutor da amostra, que está separado do estado normal por um Gap de energia. Neste cenário, qualquer forma de energia pode ser utilizada para destruir o estado supercondutor, desde que seja maior que o Gap supercondutor. Seus autores receberam um Prêmio Nobel pelo trabalho realizado em 1972.

O EFEITO JOSEPHSON

Uma junção Josephson pode ser construída em um supercondutor a partir de uma constrição, uma região na qual o supercondutor apresenta um ponto de fragilidade, ou de uma junção entre as superfícies supercondutora/normal/supercondutora. A partir de uma junção Josephson podemos construir um dispositivo chamado sensor SQUID, *Superconducting Quantum Interference Device*, que permite a determinação de fluxo magnético com extrema sensibilidade, capaz de detectar campos magnéticos da ordem de 10^{-15} T. A título de comparação, o campo magnético da terra é da ordem de 10^{-6} T enquanto o campo do cérebro é da ordem de 10^{-13} T.

Um sensor SQUID pode ser criado a partir de um anel supercondutor que contenha no mínimo uma junção Josephson em seu perímetro, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: representação de um sensor SQUID.



Fonte: LE ROUX; MACNAE (2007, p. 419)

As principais aplicações dos sensores SQUIDS envolvem a construção de magnetômetros usados em laboratórios de pesquisa, equipamentos de prospecção geológica e em metrologia em equipamentos para diagnóstico médico. Cabe destacar que para o funcionamento de sensores SQUID, é necessário que o uso de técnicas de criogenia capazes de resfriar o sensor em temperaturas abaixo da temperatura crítica do material.

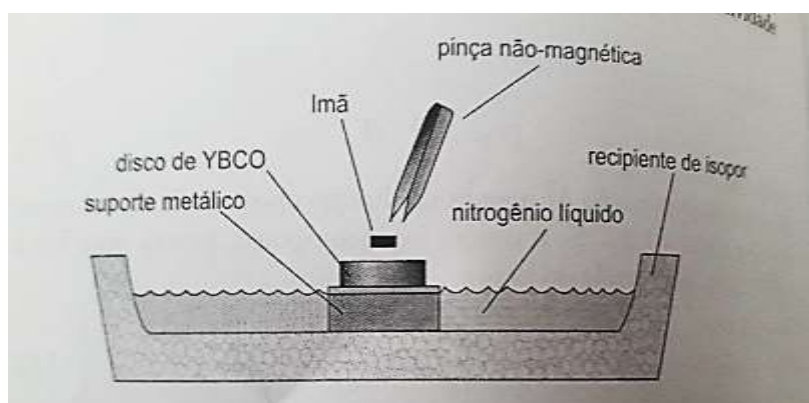
A LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

Uma das aplicações da supercondutividade de alta temperatura está baseada na levitação magnética, que originou os veículos levitados magneticamente, como por exemplo, o trem de MAGLEV (Magnetic levitation) que opera experimentalmente no Japão. O seu funcionamento está baseado na repulsão promovida entre solenoides supercondutores localizados dentro do trem e campos magnéticos gerados por correntes de Foucault. Os Eletroímãs supercondutores são usados no sistema de guia, estabilidade e propulsão do trem. Este mecanismo acaba por eliminar o atrito entre as rodas do trem e os trilhos, fazendo que ele possa alcançar velocidade superior 500km/h.

Para exemplificar melhor este fenômeno, abaixo detalhamos como foi realizado o procedimento realizado neste trabalho. Com um pequeno ímã de neodímio – terra rara e um disco cerâmico de YBCO, com massa de aproximadamente 5g, 2 cm de diâmetro e 3 mm de espessura, realizamos a demonstração de levitação magnética. Para isto, acomodamos o disco sobre uma peça metálica colocada no interior de um recipiente raso de isopor. Após, colocar nitrogênio líquido (cuja temperatura de ebulição é de 77K, ou seja, -196°C) no recipiente, até que o nível alcance a face inferior da pastilha de YBCO.

Depois que cessar a ebulição turbulenta do nitrogênio, o conjunto suporte metálico e pastilha estarão na temperatura de 77K e o YBCO se encontrará no estado supercondutor. Aproxima-se, então, o ímã da face superior do disco, usando uma pinça não magnética. Basta soltar o ímã e este permanecerá levitando a uma distância de alguns milímetros sobre um supercondutor, conforme mostrado na Figura 11. Se for dada uma leve impulsão ao ímã, ele realizará um movimento de rotação livre de atrito, o que fornece um efeito visual muito interessante à experiência.

Figura 11: Montagem para levitação de um pequeno ímã sobre um disco supercondutor de YBCO.



Fonte: Pureur, 2004, p.18

INSTRUMENTALIZAÇÃO

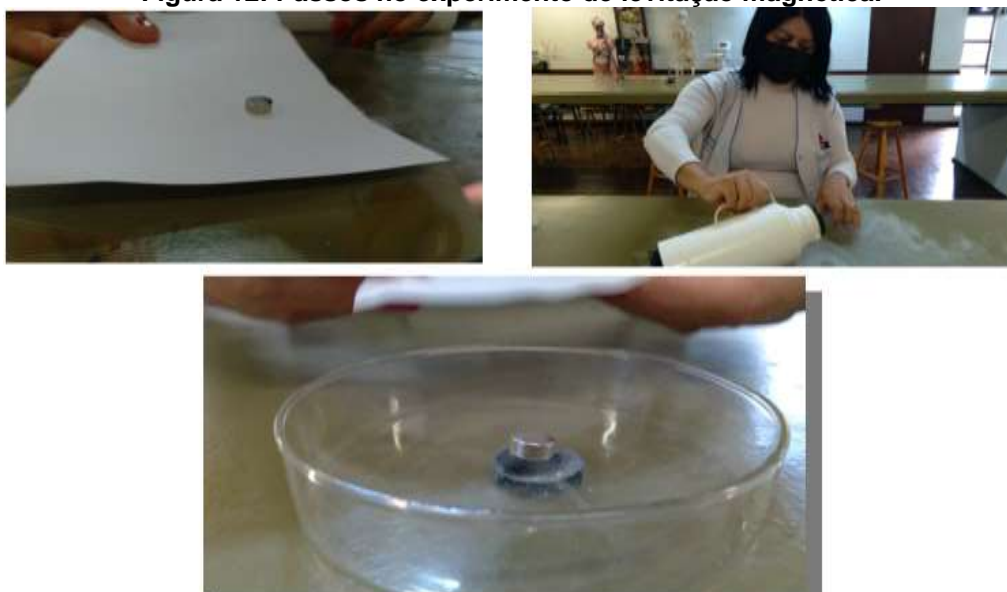
PASSO 3: O experimento de levitação magnética

DURAÇÃO: 2h/a

De acordo com Gasparin (2003, p.17), no terceiro passo, a instrumentalização, acontece o contato mais aprofundado com o conhecimento teórico em suas diferentes dimensões, relacionando as afirmações baseada nas experiências cotidianas com o conteúdo concreto e mais sistematizado. Neste sentido, considerando a realidade enfrentada pela pandemia causada pelo vírus causador da COVID-19, ações como o ensino remoto se tornaram necessárias. Sendo assim, no terceiro encontro foi disponibilizado um vídeo no site: <http://www.toocastelobranco.seed.pr.gov.br/modules/noticias/>, de autoria própria, sobre o fenômeno de Levitação magnética, para em seguida conduzir uma discussão sobre o assunto com base no texto fornecido na etapa anterior. A seguir, na Figura 5, apresentamos algumas fotos sobre os passos envolvidos no processo de levitação magnética, na qual foi usada uma pastilha de YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$), nitrogênio líquido e um ímã de neodímio.

Além da demonstração do fenômeno da levitação magnética, propomos uma forma relativamente aproximada de acompanhar o comportamento da resistência elétrica do supercondutor, durante o resfriamento até atingir temperatura menor que T_c . Para tanto usamos um multímetro, nitrogênio líquido e um recipiente isolante térmico para resfriar o supercondutor conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12: Passos no experimento de levitação magnética.



Fonte: Autoria própria (2022).

CATARSE**PASSO 4: A história em quadrinhos****DURAÇÃO: 3h/a**

O quarto passo, a catarse, determina qual nível de aprendizagem o estudante atingiu. Para tanto foram conduzidas exposições orais possibilitando que os alunos apresentem uma síntese demonstrando o seu grau de assimilação dos novos conteúdos. Neste sentido, foi conduzida uma atividade voltada para a elaboração de uma história em quadrinhos, permitindo que os estudantes sistematizem o conteúdo, que será apresentada e discutida com os estudantes no quinto momento.

A PRÁTICA SOCIAL FINAL**PASSO 5: O questionário final****DURAÇÃO: 1h/a**

Neste passo, foi reservado um intervalo de tempo para a socialização das atividades de elaboração da história em quadrinhos entre os estudantes. Também foi retomado o questionário final (idêntico aquele aplicado no passo 1) para observação da aprendizagem dos alunos durante o desenvolvimento do trabalho.

Esse questionário está disponível no link:

<https://quizizz.com/admin/quiz/60eb83e0547e91001b6ac9a1>

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do desenvolvimento desse trabalho objetivou-se apresentar uma proposta para o ensino da supercondutividade na educação básica de forma relevante para a construção do conhecimento, considerando como justificativa as bases de dados levantados. Através deste trabalho busca-se elaborar e avaliar uma unidade de conteúdo sobre o ensino da supercondutividade com referenciais na teoria histórico crítico e espera-se que essa proposta possa ser disponibilizada a professores e estudantes como alternativa para desenvolvimento do conteúdo. A supercondutividade

apresenta-se como um dos temas e serve como suporte para o desenvolvimento de muitos conteúdos, ressaltando assim, a importância da relação desse conteúdo para o conhecimento científico, bem como, do reconhecimento da sua aplicação para os avanços tecnológicos.

Neste sentido, esperamos que este material possa ser usado por outros professores, de modo a fornecer uma alternativa viável e diferenciada para implementar o ensino de supercondutividade na educação básica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.

CARVALHO, S. H. M. ; ZANETIC, J. Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna. 2004, **Anais...** São Paulo: SBF, 2004. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0094-1.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.

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.

GASPARIN, J. L. **Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica**. 2ªed. Campinas, SP: Autores Associados, 2003.

HEPPNER, M. R. S. **Supercondutividade**. 2022. Disponível em: <https://quizizz.com/admin/quiz/60eb83e0547e91001b6ac9a1>. Acesso em: 12 de mar. 2022.

HESSEL, R.; FRESCHI, A. A.; SANTOS, F. J. Lei de indução de Faraday: Uma verificação experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, 1506 (2015)

LEPICH, R. S. **Caracterização da deposição de pó cerâmico supercondutor de $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ em aço inoxidável lean duplex**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

LE ROUX, C.; MACNAE, J. SQUID sensors for EM systems. In: "Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration". Edited by B. Milkereit, 2007, p. 417-423

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Pedagógica e Universitária LTDA, 2014.

MAROUCHKINE, A. Supercondutividade à temperatura ambiente. Cambridge International Science Publishing, Cambridge, Reino Unido, 2004, p. 82-93.

MENEGOTTO, F.N. **Supercondutividade**. (2012). Disponível em: <https://pt.slideshare.net/meneguinha/supercondutividade>. Acesso em: 01 abr. 2022

MIRANDA, A. G. **Estudo sobre a teoria de Ginzburg-Landau e o conhecimento de mapas conceituais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2013.

MLA style: **Heike Kamerlingh Onnes - Facts. Nobel Prize.org. Nobel Prize Outreach AB 2022.** Disponível em:

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1913/onnes/facts/>. Acesso em 01/04/2022.

OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física. 2000. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. **Supercondutividade**. 1ªed. São Paulo: livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005 (Temas Atuais de Física).

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **DCEs - Diretrizes Curriculares de Física**. Curitiba: SEED, 2008

POOLE, C. P.; FARACH, H. A.; CRESWISK, R. J.; PROSOROV, R. **Superconductivity**. 2 ed. San Diego - CA: Academic Press, 2007.

PUREUR, P. **Supercondutividade e Materiais Supercondutores**. Parte I: Supercondutividade. Porto Alegre: Instituto de Física-UFRGS, 2004.

PUREUR, P. **Supercondutividade**: uma introdução. IXa. ESCOLA do CBPF.

Julho de 2012. Disponível em:

https://mesonpi.cat.cbpf.br/e2012/arquivos/pg13/Supercondutividade_aula_1.pdf. Acesso em: 6 de jun. 2022.

RODRIGUES, E. I. B. **Fórmula de Lichnerowicz-Weitzenböck aplicada a supercondutores de uma e duas componentes**. Dissertação (Mestrado em Física) Programa de Pós-graduação em Física Aplicada, UFRPE, Pernambuco, 2013.

SAVIANI, D. **Educação escolar, currículo e sociedade**: o problema da base nacional comum curricular. (Org.) Julia Malanchen, Neide da Silveira Duarte de Matos, Paulino José Orso. In: A pedagogia histórico-crítica, às políticas educacionais e a Base Nacional Comum Curricular. Campinas, S.P: Autores Associados, 2020.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 11. ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2011. 137 p.