

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Faculdade de Engenharia- campus de Ilha Solteira

TALLES NUAM DE SOUZA BENITES

Inclusão de estudantes com deficiência visual no ensino de supercondutividade

Ilha Solteira

2024

Talles Nuam de Souza Benites

Inclusão de estudantes com deficiência visual no ensino de supercondutividade

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Facul-
dade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção
do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Profº Dr. Rafazel Zadorosny

Coorientador: Profº Dr. Éder Pires de Camargo

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B467i Benites, Talles Nuam de Souza.
Inclusão de estudantes com deficiência visual no ensino de
supercondutividade / Talles Nuam de Souza Benites. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
56 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física) - Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Rafael Zadorosny
Coorientador: Éder Pires De Camargo
Inclui bibliografia

1. Inclusão. 2. Desenho universal. 3. Supercondutividade. 4. Deficiência
visual.



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 07 dias do mês de dezembro de 2024, às 14h, em sessão pública no Anfiteatro da biblioteca, da Faculdade de Engenharia, Unesp, câmpus de Ilha Solteira, o aluno Talles Nuam de Souza Benites, RA 201050595, do Curso de Licenciatura em Física, da Faculdade de Engenharia, da Unesp, câmpus de Ilha Solteira, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Orientador Prof. Dr. Rafael Zadorosny (UNESP/FEIS/DFQ), pelo Coorientador Prof. Dr. Éder Pires de Camargo (UNESP/FEIS/DFQ) e composta pelos examinadores: 1. Prof. Dr. Alex Otávio Sanches (UNESP/FEIS/DFQ) e 2. Prof. Dr. José Antônio Malmonge (UNESP/FEIS/DFQ), o aluno apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "INCLUSÃO DE ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIA VISUAL NO ENSINO DE SUPERCONDUTIVIDADE" como requisito curricular indispensável para integralização do Curso de Licenciatura em Física.

Tendo em vista o acima exposto e os critérios de avaliação que se encontram no verso desta Ata, e após reunião, em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela aprovação do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente a aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente Ata, que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.

Observações: _____

Orientador
Presidente da Banca Examinadora
Alex Otávio Sanches
Examinador 01
José Antônio Malmonge
Examinador 02
Talles
Aluno

Ilha Solteira, 07 de dezembro de 2024.

RESUMO

No cenário do acelerado avanço tecnológico em materiais eletrônicos, a supercondutividade ocupa um papel central por permitir a condução de eletricidade sem perdas de energia. Contudo, o ensino desse tema apresenta desafios significativos de inclusão, uma vez que suas representações são, em grande parte, visuais, dificultando o acesso de estudantes com deficiência visual. Este trabalho buscou enfrentar essa lacuna por meio da construção de maquetes tátil-visuais, fundamentadas nos princípios do desenho universal, que visa integrar alunos com e sem deficiência visual em um mesmo ambiente de aprendizagem. A abordagem adotada explorou a multissensorialidade dos participantes durante a concepção e confecção das maquetes. Estudantes videntes e não videntes participaram ativamente desse processo, o que permitiu não apenas a construção do material, mas também a troca de perspectivas e a superação de barreiras de entendimento. Como resultado, todos os participantes conseguiram desenvolver uma compreensão dos conceitos de campo magnético, efeito Meissner, corrente de blindagem e dos diferentes tipos de supercondutores. A participação ativa dos estudantes foi um elemento central no sucesso deste trabalho, com destaque para o estudante com deficiência visual. Essa abordagem colaborativa garantiu que as maquetes fossem acessíveis e alinhadas às necessidades reais dos usuários, promovendo uma experiência de aprendizado mais inclusiva. Além disso, o uso de uma linguagem adaptada, que respeitou as especificidades sensoriais dos participantes, foi essencial para a transmissão eficaz dos conceitos físicos. Portanto, este estudo demonstra que a construção de maquetes tátil-visuais, aliada ao desenho universal e a práticas pedagógicas inclusivas, é uma estratégia promissora para o ensino de supercondutividade a estudantes com deficiência visual. Mais do que oferecer uma solução prática, esta pesquisa aponta caminhos para novas iniciativas que valorizem a inclusão em áreas da física que, tradicionalmente, apresentam barreiras significativas de acesso.

Palavras-Chave: Inclusão; Desenho Universal; Supercondutividade; Deficiência visual.

ABSTRACT

Against the backdrop of rapid technological advances in electronic materials, superconductivity occupies a central role as it allows electricity to be conducted without energy loss. However, teaching this subject presents significant inclusion challenges, since its representations are largely visual, making it difficult for visually impaired students to access. This work seeks to address this gap by building tactile-visual models based on the principles of universal design, which aims to include visually impaired and non-visually impaired students in the same learning environment. The approach adopted explored the multisensory nature of the participants during the design and making of the models. Visually impaired and non-visually impaired students actively participated in this process, which allowed not only the construction of the material, but also the exchange of perspectives and the overcoming of barriers to understanding. As a result, all the participants were able to develop an understanding of the concepts of magnetic field, Meissner effect, shielding current and the different types of superconductors. The active participation of the students was a central element in the success of this work, especially the visually impaired student. This collaborative approach ensured that the models were accessible and aligned with the real needs of the users, promoting a more inclusive learning experience. In addition, the use of adapted language, which respected the sensory specificities of the participants, was essential for the effective transmission of physical concepts. Therefore, this study demonstrates that the construction of tactile-visual models, combined with universal design and inclusive pedagogical practices, is a promising strategy for teaching concepts related to more specific areas of physics, such as superconductivity, to visually impaired students.

Keywords: Inclusion; Universal Design; Superconductivity; Visual impairment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Gráfico seminal de Onnes mostrando resistência elétrica em função da temperatura de uma amostra de mercúrio. É notável a queda abrupta da resistência quando o mercúrio atinge a temperatura de $4,2\text{ K}$	15
Figura 2	Diagrama de fase $H(T)$ de um supercondutor onde são identificados os pontos $T_c(H = 0)$ e $H_c(T = 0)$	15
Figura 3	O comportamento esperado para um suposto condutor perfeito ao ser submetido a um campo magnético externo. De (a) para (b) há o resfriamento do supercondutor sem aplicação de $\vec{H}$. Em (c) aplica-se $\vec{H}$ e pode-se ver a exclusão do campo no interior do supercondutor. Em (d) cessa-se a aplicação de $\vec{H}$, assim $\vec{B} = 0$. Já de (e) para (f) há uma aplicação de $\vec{H}$ e, em seguida, o material é resfriado. Em (g), $\vec{H}$ torna-se nulo e há uma conservação de $\vec{B}$, sendo este constante.	17
Figura 4	Efeito Meissner. De (a) para (b) há um resfriamento sem $\vec{H}$, e em (c) nota-se a exclusão de $\vec{H}$ do interior do material supercondutor. Em (d), $\vec{H}$ é nulo. Já em (e) há uma aplicação de $\vec{H}$, onde, em (f), é possível ver a expulsão de $\vec{H}$ do interior da amostra e, novamente, em (g), $\vec{H}$ é nulo. Veja que não há a necessidade de variação temporal do campo magnético para haver uma resposta do material à sua presença.	17
Figura 5	Representações do efeito Meissner e da levitação magnética: (a) Expulsão das linhas de campo magnético de um supercondutor resfriado abaixo de T_c em presença de um campo magnético aplicado; em (b) Levitação de um supercondutor acima de um conjunto de ímãs devido ao efeito Meissner.	18
Figura 6	Penetração do campo magnético em um material supercondutor a partir de sua interface com o vácuo. Nota-se que há uma queda exponencial do campo magnético conforme este penetra no interior do supercondutor. A distância na qual o valor do campo atinge cerca de 37% de seu valor original é conhecido como profundidade de penetração e denotado pela letra λ	20
Figura 7	Diagrama de fase para diferentes tipos de supercondutores. (a) supercondutor do tipo 1 apresentando somente um campo crítico e sua transição para o estado normal ocorre de forma abrupta. (b) supercondutor do tipo 2 apresentando um campo crítico inferior H_{c1} limitando o estado Meissner e um campo crítico superior H_{c2} limitando o estado misto bem como o estado supercondutor.	21

Figura 8	Ilustração da penetração de vórtices em um supercondutor do tipo 2. Na é ilustrado um campo $\vec{H}$ sendo aplicado a um supercondutor, bem como a penetração desse campo no interior do material, nas extremidades do supercondutor pode-se observar a corrente de blindagem bem como a corrente que circunda o fluxo magnético penetrante.	22
Figura 9	Materiais utilizados para a construção do ímã de barra. (a) arame utilizado para representar as linhas de campo, (b) cone de isopor para representar a direção do campo magnético, (c) papel EVA com textura rugosa para trazer a representação tátil e (d) tintas de diversas cores para trazer a representação visual.	26
Figura 10	Materiais utilizados para a construção das maquetes de supercondutores com e sem penetração de campo magnético. Em (a) o isopor que representa o corpo do supercondutor, em (b) as placas de madeira MDF que foram posicionadas paralelamente para fixação do isopor e dos barbantes, em (c) os tubos de papelão para estabilizar as placas de MDF e, por fim, em (d) e (e) os diferentes barbantes utilizados para proporcionar uma identificação da intensidade de campo, onde (d) é o barbante grosso e (e) o barbante fino.	27
Figura 11	Vista (a) frontal e (b) lateral do corpo do ímã de barra após o primeiro encontro. O polo norte foi pintado de vermelho e possui uma textura rugosa, enquanto o polo sul foi pintado de azul e possui uma textura lisa. As letras indicativas dos polos possuem a mesma textura de seu respectivo polo.	35
Figura 12	Diferentes vistas da montagem final do ímã de barra. (a) vista frontal, (b) e (c) vista pelas diferentes laterais e (d) vista superior.	36
Figura 13	Confecção final da maquete tátil-visual referente ao estado Meissner, i.e., sem penetração das linhas de campo. Em (a) e (b) apresenta uma visão frontal e superior da maquete, percebe-se que os barbantes que representam as linhas de campo estão contornando o isopor que representa o supercondutor, já em (c) apresenta uma visão lateral da maquete, nota-se também setas feitas de papel EVA para mostrar a direção da corrente de blindagem.	44
Figura 14	Confecção final da maquete tátil-visual referente ao estado misto, i.e., a maquete apresenta algumas linhas dentro do supercondutor. Em (a) e (b) apresenta uma visão frontal e superior da maquete, percebe-se que os barbantes que representam as linhas de campo estão contornando o isopor que representa o supercondutor, mas há, em pequena quantidade, linhas de campo que passam pelo interior do supercondutor, já em (c) apresenta uma visão lateral da maquete, nota-se também setas feitas de papel EVA para mostrar a direção da corrente de blindagem.	48

SUMÁRIO

1	MOTIVAÇÃO PESSOAL	8
2	INTRODUÇÃO	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	A Supercondutividade	14
3.1.1	<i>Efeito Meissner</i>	16
3.1.2	<i>Tipos de Supercondutores</i>	19
4	METODOLOGIA	23
5	RESULTADOS	29
5.1	Momento 1 - Decisões acerca das construções	29
5.2	Momento 2 - ímã de barra	31
5.3	Momento 3 - Supercondutor sem penetração de campo	37
5.4	Momento 4 - Supercondutor com penetração de campo	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	53

1 MOTIVAÇÃO PESSOAL

Desde minha infância, eu nutri uma paixão pelas ciências, o que, mais tarde, eu reconheci como sendo assuntos abordados pela física. Isso culminou no meu ingresso no curso de licenciatura em física desta universidade, me possibilitando aprofundar nos conhecimentos envolvendo temas que, anteriormente, apenas ouvia falar. Um exemplo notável é o eletromagnetismo, uma área que me fascina devido à complexidade e abstração das explicações, porém, com incontáveis fenômenos cotidianos e de alta tecnologia.

Esse profundo interesse me conduziu a participar de projetos de iniciação científica focados em supercondutividade, o que me proporcionou uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos eletromagnéticos abordados em sala de aula. No âmbito do meu projeto, conduzo simulações computacionais para investigar o comportamento de supercondutores e sua interação com campos magnéticos. Durante essa jornada, percebi que o pleno entendimento ao divulgar os resultados das simulações representaria um desafio significativo para pessoas com deficiência visual, até pelo fato de termos contato, no curso, com pessoas possuidoras de tais limitações, devido à dependência de representações visuais, como cores e figuras.

Diante desse cenário, surgiu a ideia de tornar as explicações sobre supercondutividade mais acessíveis, i.e., táteis, abordando conceitos como defeitos, corrente elétrica supercondutora e campos magnéticos de maneira acessível para pessoas com deficiência visual.

2 INTRODUÇÃO

A inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino de ciências é desafiador, especialmente em áreas da física, tal como a supercondutividade - até pela necessidade, muitas vezes, do uso de cálculos mais avançados. Isso ocorre mesmo com os avanços no campo da educação inclusiva, onde conceitos científicos ainda são amplamente apresentados por meio de representações visuais, criando barreiras significativas para estudantes com deficiência visual.

Apesar do crescente número de estudos voltados à inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino de física, áreas e conceitos mais abstratos ou altamente específicos ainda recebem pouca atenção. Um dos possíveis motivos é a alta especificidade de certos conteúdos, o que resulta em trabalhos de inclusão que não contemplariam uma ampla demanda.

A supercondutividade ilustra bem essa lacuna, já que, ao buscar por trabalhos acadêmicos relacionados à inclusão de pessoas com deficiência visual nesse campo, encontramos uma quantidade extremamente reduzida de publicações. A Tabela 1 apresenta os resultados de buscas realizadas em diferentes bases de dados, como Google Acadêmico, SciELO e Capes Periódicos, utilizando palavras-chave específicas.

Tabela 1 – Busca de trabalhos que envolvem a inclusão de pessoas com deficiência visual na supercondutividade, usou-se o Google Acadêmico, SciELO e Capes Periódicos para realizar as buscas.

Palavras-chave	Bases de Dados		
	Capes Periódicos	SciELO	Google Acadêmico
"Supercondu*" AND "Inclusão"	0	0	2160
"Supercondu*" AND "Inclusão"	0	0	533
AND "visual"			
"Supercondu*" AND "deficiência visual"	0	0	39
"supercondu*" AND "inclusão"	0	0	23
AND "com deficiência visual"			
"supercondu*" AND "inclusion"	0	0	4
AND "with visual impairment"			

Fonte: Próprio autor.

A análise das buscas destaca a escassez de trabalhos que conectam diretamente a inclusão de pessoas com deficiência visual à supercondutividade. Embora o Google Acadêmico tenha retornado alguns resultados relevantes, essa base é menos rigorosa que as outras, o que compromete a confiabilidade dos resultados. Na maioria dos trabalhos encontrados, as palavras-chave usadas na busca tratavam da inclusão de materiais para aprimorar as propriedades supercondutoras ou visualizar outras características, mas não abordava a inclusão de pessoas com deficiência visual diretamente. Dessa forma, optou-se por utilizar o terceiro e quarto conjunto de palavras-chave por apresentarem uma filtragem mais criteriosa.

Mesmo assim, dos 39 e 23 trabalhos resultantes das últimas abordagens, a maioria eram apenas estudos sobre inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino de física, enquanto o termo "supercondutividade" aparecia, em geral, nas referências, como títulos de livros e artigos. Apenas um dos trabalhos retornados pelo Google Acadêmico abordava, de fato, a inclusão de pessoas com deficiência visual na supercondutividade, o trabalho em questão é o Santos et al. (2015). No entanto, essa inclusão era tratada como um aspecto secundário, não sendo o foco principal do estudo.

A pesquisa realizada na língua inglesa retornou apenas 4 trabalhos. Mas, novamente, a inclusão ao ensino de supercondutividade não foi abordada por esses trabalhos, utilizou os supercondutores em aparelhos de ressonância magnética para estudar o cérebro de pessoas com deficiência visual, explicando o motivo da busca retornar esse trabalho ao ser utilizado essas palavras-chave. Os demais trabalhos, assim como na busca em português, aparecia a palavra *superconductors* ou *superconductivity* nas referências dos trabalhos.

Essa análise evidencia uma lacuna significativa nas pesquisas que abordam a inclusão de pessoas com deficiência visual no contexto da supercondutividade. De fato, promover a inclusão nesse tema é desafiador, pois os fenômenos relacionados são frequentemente ilustrados por meio de gráficos, diagramas e representações que dependem quase exclusivamente da percepção visual.

Essa dependência visual restringe o acesso de estudantes com tal deficiência a uma compreensão plena dos conceitos, o que, por sua vez, pode limitar o interesse e a participação desses estudantes em áreas de pesquisa como a supercondutividade ou mesmo privá-los do conhecimento de fenômenos físicos que estão diretamente relacionados temas atuais como ciência, tecnologia, sustentabilidade ou ainda, em temas propícios à levar a física moderna para o ensino médio. Esse cenário reforça a necessidade de iniciativas que tornem a supercondutividade mais acessível, promovendo um ambiente acadêmico mais inclusivo e equitativo.

O desafio, no entanto, não é exclusivo para estudantes com deficiência visual. Conceitos abstratos são difíceis de serem compreendidos por qualquer estudante, independentemente de sua condição visual. Nesse sentido, a busca pela inclusão de pessoas com deficiência visual pode beneficiar também estudantes sem deficiência, ao oferecer abordagens alternativas para a compreensão dos fenômenos.

Nesse íterim, o presente trabalho propõe a criação de materiais tátil-visuais baseados nos princípios de desenho universal, visando superar as barreiras mencionadas. O conceito de desenho universal, conforme previsto na Lei Brasileira de Inclusão (Brasil, 2015), busca garantir a acessibilidade e a equidade, proporcionando um ambiente de aprendizagem mais inclusivo. Assim, a proposta aqui é utilizar a exploração de múltiplos sentidos, como o tato, para tornar os conceitos de supercondutividade mais acessíveis aos alunos, criando uma experiência educativa interativa e significativa.

Desse modo, foram elaboradas maquetes tátil-visuais representativas dos conceitos fundamentais da supercondutividade. Assim, durante as discussões ao longo do desenvolvimento dos

trabalhos, foram abordados tópicos como corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica, campo magnético e efeito Joule. Complementarmente, discutiu-se sobre os fenômenos característicos da supercondutividade, como o efeito Meissner, correntes de blindagem e vórtices. Por fim, trabalhou-se a diferença entre um material supercondutor e um possível condutor perfeito, de forma a promover uma compreensão mais abrangente e inclusiva dos conceitos envolvidos.

Dessa forma, este estudo visou não apenas contribuir para a inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino de supercondutividade, mas também fortalecer a educação inclusiva, democratizando o acesso ao conhecimento científico e promovendo um ambiente acadêmico mais equitativo. Nesse aspecto, a pesquisa buscou responder a seguinte pergunta: Como uma pessoa com deficiência visual pode ter acesso aos conhecimentos sobre supercondutividade, uma vez que os fenômenos envolvidos encontram-se representados visualmente? e, com isso, aliou-se a ciência dos materiais ao compromisso com a inclusão, contribuindo tanto para o avanço da educação inclusiva quanto para a democratização do conhecimento científico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Brasil, 2015), toda pessoa com deficiência possui os mesmos direitos e oportunidades que uma pessoa sem deficiência. Para alcançar esse objetivo, é proposto o modelo de desenho universal, que consiste em produtos, ambientes e programas que podem ser utilizados por diversas pessoas sem a necessidade de adaptação ou projeto específico. Esse modelo promove a inclusão de pessoas com deficiência visual em várias esferas da sociedade, pois os projetos são concebidos levando em conta as diversas dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência em geral, ao mesmo tempo que atendem às necessidades de pessoas sem deficiência.

Pensando especificamente em pessoas com deficiência visual, de acordo com o Decreto Nº 3298 (Brasil, 1999), uma pessoa com deficiência visual é aquela que possui (i) acuidade visual menor ou igual a 0,3 no melhor olho com a melhor correção óptica; (ii) tem uma amplitude de campo visual menor ou igual a 60°, (iii) ou apresenta ambas as características. Já a partir de 2021 com o Decreto Nº 10654 (Brasil, 2021), pessoas com visão monocular também passaram a ser consideradas deficientes visuais. Assim, é fundamental que pessoas com deficiência visual tenham acesso à educação em todas as suas etapas, bem como a conteúdos específicos de diversas áreas do conhecimento. Isso inclui a adaptação de materiais didáticos, o uso de tecnologias assistivas e a capacitação de professores para atender às necessidades dessas pessoas, garantindo-lhes uma educação inclusiva e equitativa. Além disso, a inclusão em ambientes físicos e digitais deve ser priorizada para facilitar a participação plena em atividades acadêmicas e sociais.

Para Camargo (2012), a inclusão difere da integração. Incluir não significa normalizar ou homogeneizar um meio social, mas sim aceitar suas diferenças e sua heterogeneidade. Para que a inclusão ocorra, o meio social precisa se adequar às condições dos indivíduos, tornando a maior responsabilidade de adaptação do meio, e não do indivíduo. Por outro lado, integração implica em inserir uma pessoa com deficiência sem adequação do meio, desse modo, a pessoa fica com toda a responsabilidade de se adequar às exigências do meio. Portanto, para inserir alunos com deficiência visual em aulas de física e colocá-los em contato com assuntos mais abstratos e específicos, é necessário incluí-los e não simplesmente integrá-los.

Uma forma de inclusão de pessoas com deficiência visual usando o desenho universal é explorar os múltiplos sentidos dos indivíduos, segundo Soler (1999, p. 21 *apud* (Ferreira; Camargo; Santos, 2012, p. 53), "A didática multissensorial das ciências pode produzir um aprendizado significativo mais completo da matéria, pois a informação visual associada às imagens é também percebida pelos alunos sem problemas de visão e reforça os conceitos aprendidos".

No entanto, para Camargo (2016), o termo correto é "multissensorialidade", mas é comumente chamada de "didática multissensorial". Essa diferença se refere ao fato de que observar não compreende todo o processo didático, mas sim apenas uma das etapas. Portanto, será utilizado o

termo "multissensorialidade" para se referir a esta prática. Segundo a multissensorialidade, os sentidos como tato, visão, olfato, audição e paladar devem atuar em conjunto para descrever o observado. Nesse sentido, observar deixa de ser algo estritamente visual e passa a ser a captação de todas as informações possíveis do ambiente em que se encontra, com todos os sentidos sendo estimulados.

De acordo com Soler (1999, p. 32 *apud* (Camargo, 2016)), esses sentidos podem ser divididos em sintéticos e analíticos. A audição, olfato, visão e paladar são considerados sentidos sintéticos, pois percebem o fenômeno do geral para o particular, seguindo uma lógica dedutiva. Já o tato é um sentido analítico, que percebe o fenômeno do particular para o geral, seguindo um processo indutivo. Dessa forma, a combinação desses sentidos é essencial para construir uma aprendizagem significativa no indivíduo (Camargo, 2016).

Ao perceber sensorialmente um fenômeno, surgem alguns efeitos no indivíduo, e esses efeitos podem ser compreendidos por meio de uma estrutura semântico-sensorial, que associa a percepção do fenômeno com os sentidos. Tal associação pode ser a indissociabilidade, a veiculação e a não relacionabilidade. Portanto, de acordo com Camargo (2012), Camargo (2016) as estruturas semântico-sensoriais são.

1. **Significados indissociáveis:** As representações externas e mentais dependem de uma determinada percepção sensorial. Por exemplo, o conceito de cor é um significado indissociável do sentido da visão; uma pessoa cega de nascença não consegue compreender o conceito de cor, uma vez que ela não experienciou esse fenômeno.
2. **Significados vinculados:** Apesar de terem uma representação sensorial inicial, estes podem ser veiculados por meio de outras representações sensoriais. Por exemplo, a luz se propagando no espaço como uma onda eletromagnética ou o entendimento básico de temperatura. Os modelos descritivos desses fenômenos podem ser representados por esquematizações táteis e/ou visuais, como a construção de um produto que representa uma onda eletromagnética geometricamente e a construção de um produto que represente a colisão entre as moléculas do sistema para compreender a temperatura, possibilitando o pleno entendimento do indivíduo acerca do fenômeno.
3. **Significados sem relação sensorial:** Não possuem relação com qualquer referencial sensorial. São conceitos abstratos que não podem ser modelados ou são construtos hipotéticos para a descrição de outros fenômenos. Por exemplo, o conceito de energia não tem uma representação, pois é algo abstrato. Outro exemplo é o conceito de campo. Note que está sendo trazido o conceito de campo, e não o modelo de um campo, que é um construto hipotético para descrever interações à distância. A tentativa de representação sensorial poderá ser incompleta e gerar uma concepção alternativa no indivíduo.

No entanto, a veiculação dos significados pode, por muitas vezes, ser problemática devido à estrutura empírica da linguagem. Essa estrutura pode ser classificada em fundamentais e

mista, dessa forma, as fundamentais são constituídas pelos códigos auditivos, visuais ou táteis independentes entre si, já as mistas são constituídas por estes mesmos códigos, no entanto, eles passam a ser interdependentes (Camargo, 2012). Nesse sentido, Camargo (2016) propõe a utilização das estruturas empíricas da linguagem que sejam visualmente independentes, estas são,

1. **Tátil-auditiva interdependente e tátil e auditiva independente:** Esse tipo de comunicação possui um alto potencial em transmitir os significados para pessoas com deficiência visual, uma vez que são completamente independentes do sentido da visão para serem compreendidas. Isso pode ser alcançado com a utilização de maquetes ou outros materiais que possam ser tocados ou observados auditivamente.
2. **Fundamental auditiva e auditiva e visual independentes:** Apesar de possuírem uma dependência visual, essas estruturas empíricas da linguagem possibilitam a uma pessoa com deficiência visual compreender o significado por meio do detalhamento durante a descrição auditiva. Dessa forma, é crucial que o interlocutor fale detalhadamente aquilo que ele está querendo representar visualmente. Por exemplo, explicar detalhadamente o comportamento de uma curva em um gráfico. Representações visuais ainda podem ser utilizadas, mas estas não serão fundamentais para a compreensão dos significados veiculados.

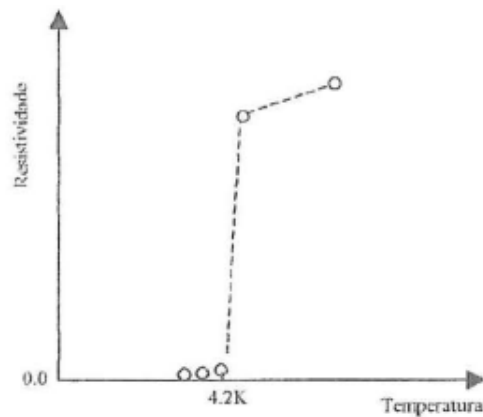
A utilização dessas estruturas empíricas da linguagem promovem um melhor entendimento de pessoas com deficiência visual acerca das explicações propostas, pois estas não dependem do sentido da visão para serem veiculadas.

3.1 A SUPERCONDUTIVIDADE

Em 1911, em Leiden, nos Países Baixos, o físico Heike Kamerlingh Onnes e seu grupo de pesquisa fizeram uma descoberta intrigante. Eles observaram que, abaixo de $4,2\text{ K}$ (equivalente a -269 °C), a resistência elétrica de uma amostra de mercúrio caía abruptamente a zero (ver Figura 1), como a resistência é diretamente proporcional à resistividade, então um estado de resistência nula também é um estado de resistividade nula. Mais tarde, verificou-se que não era apenas o mercúrio que exibia esse comportamento; outros materiais, como estanho e chumbo, também o faziam (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998).

Dessa forma, para os materiais saírem do estado normal e passarem para o estado de resistência nula é necessário que estejam abaixo de uma determinada temperatura. Essa temperatura, por ser um ponto crítico de mudança de fase, é conhecida como temperatura crítica (T_c). Ademais, quando esses materiais estavam sujeitos a um campo magnético aplicado não nulo, a temperatura necessária para alcançar o estado de resistência elétrica nula era menor quando comprado com campo magnético nulo. Isso implica que, além de uma temperatura crítica para a transição de fase, o material também está sujeito a um campo magnético crítico para essa transição (H_c). Há,

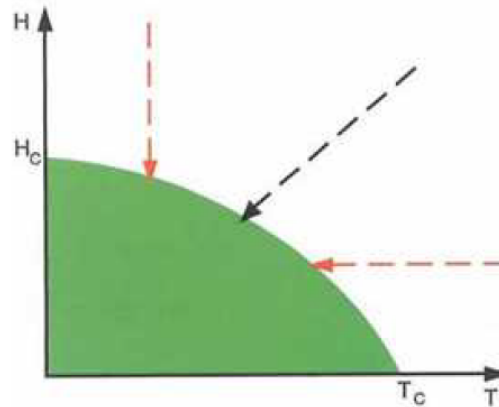
Figura 1 – Gráfico seminal de Onnes mostrando resistência elétrica em função da temperatura de uma amostra de mercúrio. É notável a queda abrupta da resistência quando o mercúrio atinge a temperatura de $4,2\text{ K}$



Fonte: Ostermann, Ferreira & Cavalcanti (1998)

portanto, um diagrama de fase $H(T)$ que delimita o estado de resistência nula do estado normal, tal como ilustrado na Figura 2 onde a região em verde representa o estado de resistência nula.

Figura 2 – Diagrama de fase $H(T)$ de um supercondutor onde são identificados os pontos $T_c(H = 0)$ e $H_c(T = 0)$.



Fonte: Ginzburg & Andryushin (2004)

A região dentro do diagrama é representativa de um material no estado de resistência nula, enquanto a exterior indica os valores de H e T para os quais o material está no seu estado normal de condução elétrica. Esse estado de resistência nula ficou conhecido como estado supercondutor. Contudo, um supercondutor se diferencia de um hipotético condutor perfeito, apesar de ambos apresentarem resistividade nula. A diferença recai no fato de que o primeiro também é um diamagneto perfeito, i.e., para campos não muito intensos (da ordem de dezenas de Gauss) o material não permite a entrada de campo magnético em seu interior, mas havendo campo magnético em seu interior quando no estado normal, ao ocorrer a transição para o estado supercondutor, as linhas de campo são expulsas das regiões supercondutoras. Essa interação com

o campo magnético foi estudada com mais profundidade pelos físicos Walther Meissner e Robert Ochsenfeld no ano de 1933, e tal propriedade ficou conhecida como efeito Meissner-Ochsenfeld ou simplesmente efeito Meissner.

A ausência de uma resistência elétrica em materiais supercondutores os fazem ideais para a transmissão de energia elétrica, pois, por não possuírem resistência, não há dissipação de energia.

3.1.1 Efeito Meissner

O comportamento de um condutor perfeito, ou seja, com condutividade infinita, ao ser submetido a um campo magnético externo, é descrito pela lei de Faraday.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (1)$$

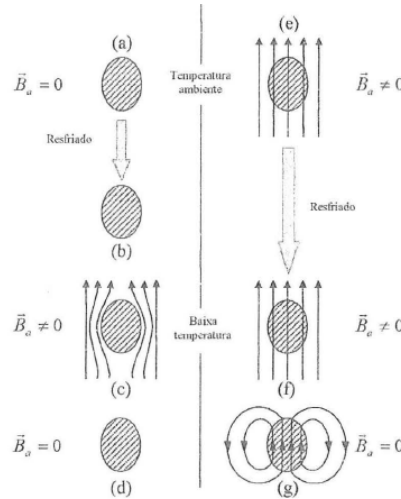
onde $\vec{B}$ é o campo de indução magnética e $\vec{E}$ o vetor campo elétrico. Utilizando a lei de Ohm, $\vec{E} = \vec{J}/\sigma$, onde $\vec{J}$ é a densidade de corrente e σ é a condutividade elétrica, que se pressupõe ser infinita. Sendo assim, $\sigma \rightarrow \infty$ e, portanto, $\vec{E} \rightarrow 0$. Dessa forma, da eq. 1 tem-se (Poole et al., 2007),

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \rightarrow \begin{cases} \vec{B} = 0, \\ \vec{B} = \text{constante.} \end{cases} \quad (2)$$

Assim, um condutor perfeito, ao ser submetido a um campo magnético externo ($\vec{H}$), irá ou manter seu campo interno nulo, ou conservar o campo aplicado. Dessa forma, pode-se pensar em duas maneiras de testar a hipótese: a primeira é resfriar o material abaixo de T_c e, em seguida, aplicar $\vec{H}$ (processo conhecido como *Zero Field Cooling*, ZFC). A segunda é aplicar $\vec{H}$ e depois resfriar o material abaixo de T_c (procedimento *Field Cooling*, FC). Para o primeiro caso, espera-se que o campo interno ($\vec{B}$) do supercondutor permaneça nulo; já no segundo caso, espera-se que $\vec{B}$ permaneça constante conforme $\vec{H}$ diminui. Uma ilustração do que foi descrito pode ser encontrada na Figura 3 (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998; Poole et al., 2007; Tinkham, 2004).

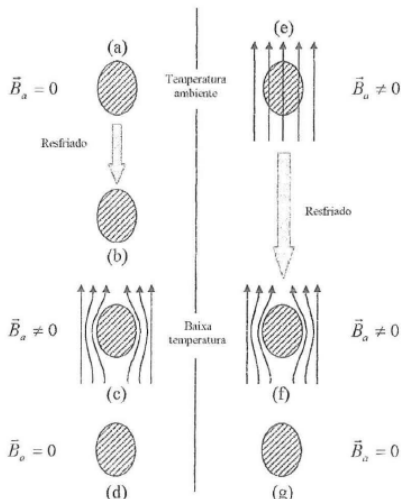
Como já citado, somente em 1933 a crença de que o supercondutor seria um condutor perfeito se mostrou equivocada, quando os físicos Meissner e Ochsenfeld submeteram algumas amostras esféricas a um campo magnético ($\vec{H}$) enquanto as resfriavam. Eles notaram que, ao contrário do que se acreditava na época, o campo magnético era expulso do interior das amostras. Dessa forma, notou-se que $\vec{B}$ no interior do supercondutor era sempre nulo, como pode ser visto na Figura 4 (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998).

Figura 3 – O comportamento esperado para um suposto condutor perfeito ao ser submetido a um campo magnético externo. De (a) para (b) há o resfriamento do supercondutor sem aplicação de $\vec{H}$. Em (c) aplica-se $\vec{H}$ e pode-se ver a exclusão do campo no interior do supercondutor. Em (d) cessa-se a aplicação de $\vec{H}$, assim $\vec{B} = 0$. Já de (e) para (f) há uma aplicação de $\vec{H}$ e, em seguida, o material é resfriado. Em (g), $\vec{H}$ torna-se nulo e há uma conservação de $\vec{B}$, sendo este constante.



Fonte: Ostermann, Ferreira & Cavalcanti (1998)

Figura 4 – Efeito Meissner. De (a) para (b) há um resfriamento sem $\vec{H}$, e em (c) nota-se a exclusão de $\vec{H}$ do interior do material supercondutor. Em (d), $\vec{H}$ é nulo. Já em (e) há uma aplicação de $\vec{H}$, onde, em (f), é possível ver a expulsão de $\vec{H}$ do interior da amostra e, novamente, em (g), $\vec{H}$ é nulo. Veja que não há a necessidade de variação temporal do campo magnético para haver uma resposta do material à sua presença.



Fonte: Ostermann, Ferreira & Cavalcanti (1998).

Sendo assim, o supercondutor apresenta um diamagnetismo perfeito, ou seja, sua magnetização $\vec{M}$ é igual, em módulo, ao campo magnético aplicado $\vec{H}$, contudo com sentido oposto. Em outras palavras, a susceptibilidade magnética $\chi = -1$. Esse valor pode ser obtido da equação

constitutiva entre os campos $\vec{B}$ e $\vec{H}$,

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} (1 + \chi). \quad (3)$$

Como $B = 0$ no interior do supercondutor, tem-se que $\chi = -1$ na eq. 3. Uma outra forma de escrever a Eq. 3 é explicitando a resposta do sistema, ou seja, sua magnetização $\vec{M}$,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}), \quad (4)$$

assim, se $\vec{B} = 0$,

$$\vec{M} = -\vec{H}, \quad (5)$$

onde $\chi = M/H$.

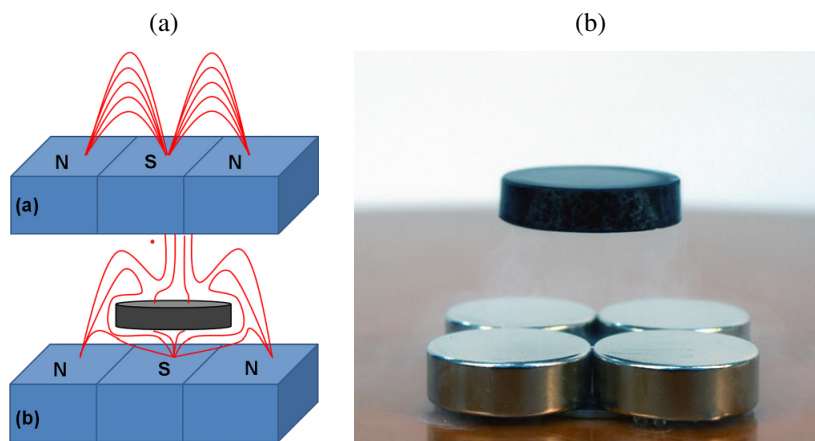
O efeito Meissner, ou expulsão do campo magnético, ocorre pelo surgimento de correntes que contornam o material produzindo um campo antiparalelo ao aplicado. Isso pode ser visto ao aplicar o rotacional à Eq. 4,

$$\nabla \times \vec{H} = -\nabla \times \vec{M} = \vec{J}_{sh}. \quad (6)$$

Aqui, foi aplicada a lei de Ampère ao $\nabla \times \vec{H}$ e o índice *sh* na densidade de corrente significa *shielding*, i.e., é a densidade de corrente de blindagem.

Uma consequência direta desse fenômeno é a levitação magnética, onde um supercondutor pode flutuar acima de um ímã ou vice-versa, devido à força repulsiva entre o campo magnético do ímã e a corrente induzida na superfície do supercondutor (Han; Kim, 2016). A Figura 5 ilustra algumas representações do efeito Meissner e da levitação magnética.

Figura 5 – Representações do efeito Meissner e da levitação magnética: (a) Expulsão das linhas de campo magnético de um supercondutor resfriado abaixo de T_c em presença de um campo magnético aplicado; em (b) Levitação de um supercondutor acima de um conjunto de ímãs devido ao efeito Meissner.



Fonte: (a) Santos et al. (2015) enquanto (b) Han & Kim (2016).

O efeito Meissner ocorre em todos os supercondutores, contudo, ao ser submetido a campos magnéticos mais intensos o supercondutor pode exigir dois tipos distintos de comportamento, dessa forma, pode-se classificar os supercondutores em tipo 1 e tipo 2.

3.1.2 Tipos de Supercondutores

Para compreender os diferentes tipos de condutores é preciso entender que a blindagem do supercondutores à campos magnéticos não é abrupta, nesse sentido, há uma pequena penetração do campo a partir da interface do material, esvanecendo à medida que se afasta da mesma (Poole et al., 2007). Para compreender essa interação, os irmãos Heinz e Fritz London, em 1934, consideraram a segunda lei de Newton onde a força resultante neste caso é a força elétrica.

Considerando que $m^* = 2m$, onde m é a massa do elétron, e a densidade de corrente dada por $\vec{J} = n_s e^* \vec{v}$, com n_s representando a densidade de elétrons supercondutores, $e^* = 2e$ (sendo e a carga do elétron) e $\vec{v}$ sua velocidade, tal como inicialmente proposto pelos irmãos Heinz e Fritz London em 1934, obtemos a primeira equação de London (ver Eq. 7) (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998).

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \frac{n_s e^2}{m^*} \vec{E} \quad (7)$$

Aplicando o rotacional em ambos os lados da Eq. 7 e utilizando as equações de Maxwell — $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ e $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_s$, chega-se a uma expressão conhecida como segunda equação de London, mostrada abaixo como a equação 8:

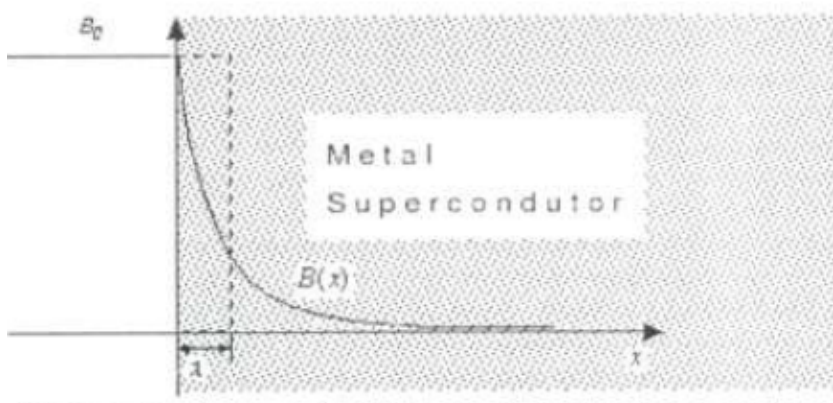
$$\nabla^2 \vec{H} - \frac{1}{\lambda^2} \vec{H} = 0, \quad (8)$$

onde $\lambda = \left(\frac{m^*}{n_s \mu_0 e^{*2}} \right)^{\frac{1}{2}}$ é a profundidade de penetração, um comprimento característico que descreve a distância, a partir da interface para dentro do supercondutor onde o campo magnético é reduzido a $1/e$ de seu valor inicial. Este comportamento está em acordo com o efeito Meissner, já que no interior do supercondutor o campo magnético é efetivamente nulo. A Figura 6 ilustra a profundidade de penetração λ e a variação do campo magnético, com $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998).

Campos magnéticos mais intensos exigem que o supercondutor consuma mais energia para mantê-los fora de seu interior. Nesse contexto, torna-se energeticamente favorável para o sistema realizar uma transição para o estado normal, permitindo a entrada do campo magnético. Essa transição pode ocorrer de duas formas distintas.

Ao atingir o campo crítico (H_c), que representa o limite onde é mais favorável energeticamente estar no estado normal, o supercondutor do tipo 1 retorna para a fase normal de maneira rápida e abrupta. Esses supercondutores, portanto, apresentam um comportamento marcante, com a perda completa da supercondutividade assim que o campo crítico é alcançado.

Figura 6 – Penetração do campo magnético em um material supercondutor a partir de sua interface com o vácuo. Nota-se que há uma queda exponencial do campo magnético conforme este penetra no interior do supercondutor. A distância na qual o valor do campo atinge cerca de 37% de seu valor original é conhecido como profundidade de penetração e denotado pela letra λ .



Fonte: Ostermann, Ferreira & Cavalcanti (1998).

Nos supercondutores do tipo 2, a transição ocorre de forma gradual e os vórtices apresentam uma dinâmica mais complexa. Inicialmente, no estado Meissner, há a completa expulsão do campo magnético do interior do supercondutor, desde que o campo aplicado seja de baixa intensidade. Contudo, à medida que a intensidade do campo aumenta e atinge o campo crítico inferior (H_{c1}), torna-se energeticamente favorável que o supercondutor permita a penetração parcial do campo magnético.

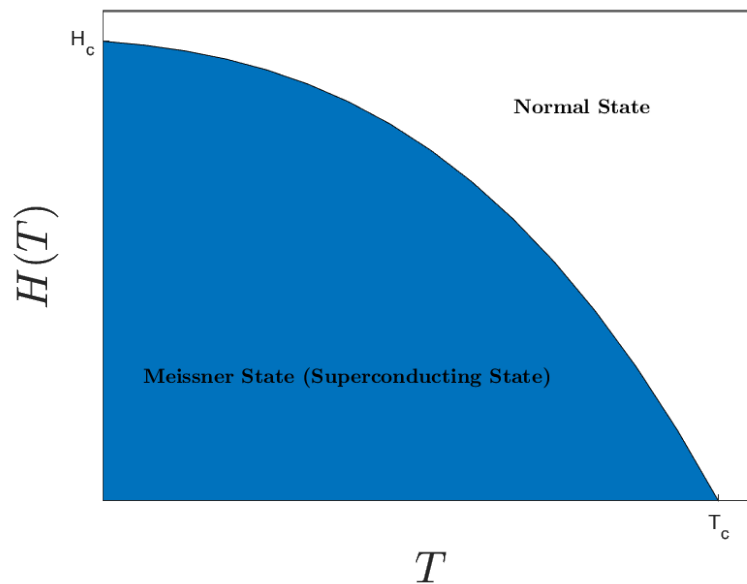
Essa penetração ocorre na forma de fluxos magnéticos quantizados de campo magnético, que podem ser visualizados como pequenos cilindros no estado normal. Nessas regiões, o campo magnético degrada a supercondutividade local, promovendo a coexistência de áreas supercondutoras e áreas no estado normal, caracterizando o estado misto.

Conforme o campo magnético aumenta sua intensidade, ele pode eventualmente atingir um segundo limite, o campo crítico superior (H_{c2}), onde o supercondutor perde completamente sua supercondutividade e retorna ao estado normal (Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998; Poole et al., 2007).

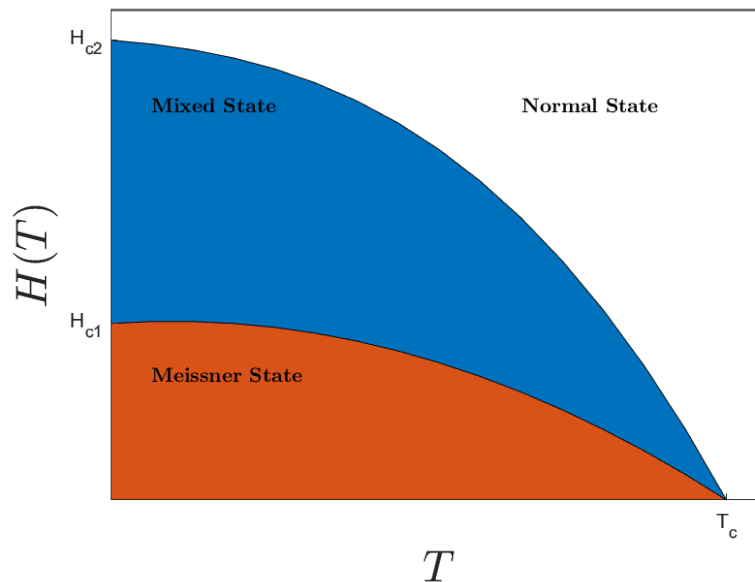
Para exemplificar a diferença entre os supercondutores do tipo 1 e do tipo 2, considere a Figura 7(a) que representa um supercondutor do tipo 1, quando o campo atinge valores maiores que H_c o supercondutor passa do estado Meissner para o estado normal já os supercondutores do tipo 2 (Figura 7(b)) apresentam um terceiro estado durante sua transição para o estado normal onde há regiões supercondutoras e normais coexistindo.

Figura 7 – Diagrama de fase para diferentes tipos de supercondutores. (a) supercondutor do tipo 1 apresentando somente um campo crítico e sua transição para o estado normal ocorre de forma abrupta. (b) supercondutor do tipo 2 apresentando um campo crítico inferior H_{c1} limitando o estado Meissner e um campo crítico superior H_{c2} limitando o estado misto bem como o estado supercondutor.

(a) Supercondutor do tipo 1



(b) Supercondutor do tipo 2



Fonte: Próprio autor.

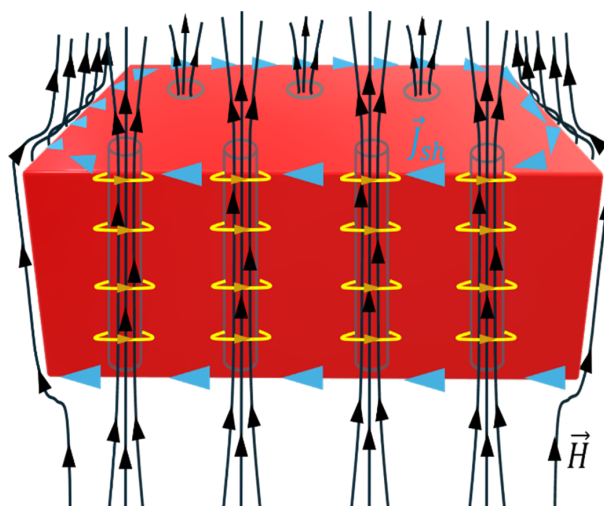
O estado misto dos supercondutores do tipo 2 possui grande importância teórica e experimental, pois, ao permitir a penetração de campo magnético em seu interior, esses materiais conseguem suportar campos significativamente mais intensos. Em outras palavras, o campo

crítico de um supercondutor do tipo 1, de maneira geral, é menor que o campo crítico superior (H_{c2}) de um supercondutor do tipo 2.

No estado misto, como discutido, ocorre a penetração de fluxo magnético quando o campo aplicado está entre o campo crítico inferior (H_{c1}) e o campo crítico superior (H_{c2}). Nessa condição, surgem regiões localizadas onde o estado normal se manifesta. Essas regiões podem ser descritas como cilindros no estado normal que contêm um único quantum de fluxo magnético em seu centro com diâmetro dado por $\phi = h/2e$, onde h é a constante de Plank e e a carga elementar.

Ao redor desses cilindros, formam-se correntes circulantes que impedem o fluxo magnético de se espalhar pelo supercondutor, analogamente a correntes de blindagem. Como resultado, no centro do cilindro, não há supercondutividade, enquanto nas extremidades ocorre uma circulação de corrente que lembra os vórtices observados em fluidos, como água ou massas de ar, portanto, a penetração de campo magnético em supercondutores são chamadas de vórtices (Poole et al., 2007; Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998). A Figura 8 ilustra como o campo penetra um supercondutor, há a representação dos vórtices e da corrente de blindagem ao redor do material, bem como da corrente que circunda o fluxo penetrante.

Figura 8 – Ilustração da penetração de vórtices em um supercondutor do tipo 2. Na é ilustrado um campo $\vec{H}$ sendo aplicado a um supercondutor, bem como a penetração desse campo no interior do material, nas extremidades do supercondutor pode-se observar a corrente de blindagem bem como a corrente que circunda o fluxo magnético penetrante.



Fonte: Próprio autor.

4 METODOLOGIA

O trabalho examina a experiência dos ingressantes em 2024 no curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Ilha Solteira. A seleção dos participantes foi motivada pela presença, nessa turma, de um estudante com deficiência visual. Esse fato oferece uma oportunidade única para investigar práticas inclusivas no ensino de física, especialmente em um contexto que envolve conceitos abstratos e de difícil visualização, como os relacionados à supercondutividade.

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa. Essa escolha metodológica permite uma análise aprofundada das experiências dos estudantes, considerando tanto os aspectos individuais quanto os sociais envolvidos. Seguindo características fundamentais da pesquisa qualitativa, conforme apontado por Ludke & André (1986), o estudo explora como as maquetes tátil-visuais, seguindo os princípios do desenho universal, podem ser efetivamente utilizadas para ensinar conceitos de supercondutividade de forma inclusiva.

Adicionalmente, Ludke & André (1986) caracterizam uma pesquisa qualitativa em cinco aspectos fundamentais.

Primeiramente, a pesquisa qualitativa considera o ambiente natural como principal fonte de dados, com o pesquisador atuando como o principal instrumento de coleta. Isso implica em um contato direto e prolongado do pesquisador com os participantes em seus contextos naturais. Neste trabalho, o pesquisador interagiu de maneira significativa com quatro estudantes que se voluntariaram para participar da pesquisa. As interações ocorreram ao longo de seis encontros, realizados às terças-feiras a partir das 16:00, em horários previamente acordados. Todos os encontros foram conduzidos na Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Ilha Solteira, especificamente na sala do Laboratório Interdisciplinar de Formação de Educadores (LIFE). Esse espaço foi escolhido por ser de fácil acesso para os licenciandos em Física da unidade. O espaço também conta com mesas, cadeiras e aparelhos como pistolas de cola quente, facilitando a confecção das maquetes.

Em segundo lugar, os dados coletados têm predominantemente um caráter descritivo, capturando o ambiente, as pessoas e os acontecimentos. A coleta foi realizada por meio de gravações em áudio e vídeo durante as reuniões para a confecção das maquetes tátil-visuais, as quais foram desenvolvidas com base no conceito de desenho universal. Isso garantiu que os materiais fossem inclusivos tanto para estudantes com deficiência visual quanto para aqueles sem deficiência visual. Ao longo do processo, o pesquisador registrou detalhadamente os desafios e dificuldades enfrentados pelos participantes, promovendo uma compreensão mais profunda, por parte do pesquisador, desses aspectos. Outro ponto detalhado são as adaptações necessárias para que o trabalho alcançasse uma aprendizagem inclusiva.

O terceiro aspecto é o foco no processo mais do que no produto final. A pesquisa priorizou a identificação e compreensão dos desafios apresentados pelos estudantes durante a construção

dos materiais, indo além da simples aplicação de maquetes prontas. Esse enfoque no processo possibilitou que os estudantes participassem ativamente da confecção das maquetes, enquanto ocorriam discussões, promovidas pelo pesquisador, sobre os significados físicos dos fenômenos que estavam sendo representados. As discussões realizadas ao longo da construção das maquetes geraram reflexões sobre conceitos fundamentais necessários para a aprendizagem da supercondutividade, como campo magnético, efeito Meissner, corrente de blindagem e os diferentes tipos de supercondutores. Por meio dessa abordagem, o pesquisador promoveu um ambiente colaborativo no qual as interações eram tanto pedagógicas quanto investigativas.

Outro ponto fundamental é a importância de compreender as perspectivas dos participantes e como eles atribuem significado ao mundo ao seu redor. Reconhecendo essa necessidade, o pesquisador adaptou sua linguagem e abordagens pedagógicas de forma a tornar os conceitos acessíveis e compreensíveis para todos os estudantes, independentemente de suas condições visuais. Essa adaptação está em consonância com os princípios do desenho universal, promovendo uma aprendizagem inclusiva e equitativa.

Por último, a análise de dados seguiu uma abordagem indutiva, privilegiando a descrição e a compreensão do processo em vez da formulação de hipóteses de causa e efeito. As gravações realizadas foram analisadas minuciosamente para identificar, com maior precisão, as necessidades de estudantes com e sem deficiência visual no contexto do ensino da supercondutividade. Essa análise descritiva permitiu ao pesquisador compreender, de forma mais aprofundada, as dificuldades enfrentadas pelos participantes, independentemente de sua condição visual, durante as explicações e interações.

Nesse sentido, parte das discussões ocorridas durante os encontros foi transcrita, em ordem cronológica, permitindo observar a progressão do conhecimento dos estudantes sobre os conceitos abordados. Essa abordagem possibilitou uma visão mais clara da evolução dos aprendizados, bem como da eficácia das estratégias adotadas. Ademais, ao abordar tópicos novos para os encontros, o pesquisador buscou compreender os conhecimentos prévio dos estudantes, adaptando suas explicações com base nesses conceitos.

Além disso, o pesquisador revisitou tópicos discutidos em encontros anteriores para identificar se os estudantes ainda enfrentavam dificuldades ou se haviam assimilado as explicações. Esse processo contínuo de explicação, revisão e adaptação foi fundamental para garantir que todos os participantes alcançassem uma compreensão mais sólida e significativa dos conceitos tratados, reafirmando o compromisso com a inclusão e o ensino equitativo.

Esses aspectos demonstram que a pesquisa qualitativa é essencial para alcançar os objetivos deste estudo, promovendo uma abordagem inclusiva, colaborativa e profundamente orientada ao processo de aprendizagem.

Em relação aos materiais produzidos, foram confeccionadas três maquetes tátil-visuais distintas com o objetivo de ilustrar fenômenos fundamentais relacionados à supercondutividade. A primeira representa um ímã de barra, sendo utilizada para exemplificar o comportamento típico de um campo magnético e permitir uma introdução tátil ao conceito de linhas de campo. As

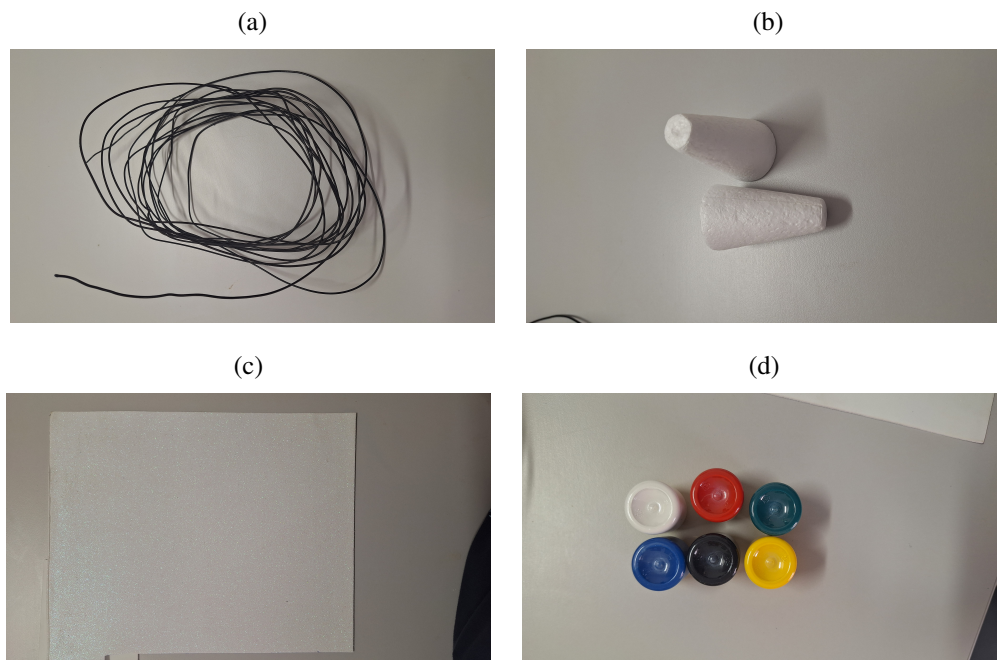
outras duas maquetes foram desenvolvidas especificamente para demonstrar o efeito Meissner e os diferentes tipos de supercondutores, uma delas ilustra um supercondutor sem penetração de campo magnético, característico do estado Meissner, encontrado em supercondutores do tipo 1 e do tipo 2, enquanto a outra aborda a penetração campo, característica de supercondutores do tipo 2 no estado misto.

Essas maquetes foram projetadas com base nos princípios do desenho universal, garantindo que tanto estudantes com deficiência visual quanto videntes pudessem acessar, compreender e interagir com os conceitos físicos representados. A escolha de materiais e o formato das maquetes foram cuidadosamente pensados para promover uma experiência tátil rica e inclusiva, atendendo às necessidades específicas dos participantes.

Para a construção das maquetes tátil-visuais, foi realizada uma reunião inicial com os participantes, com o objetivo de promover um ambiente colaborativo e inclusivo. Durante essa reunião, os estudantes foram incentivados a sugerir as melhores abordagens para a confecção das maquetes, considerando suas próprias perspectivas e necessidades. Assim, foi possível discutir os materiais mais adequados para a construção, levando em conta as preferências e sugestões de cada um.

Portanto, na construção do ímã de barra foi utilizado uma barra de isopor de 15 cm de largura, 5 cm de largura e 5 cm de profundidade, ela foi utilizada para compor o corpo do ímã, as linhas de campos foram representadas por arames, a direção do campo foi representado por cones de base cilíndrica de isopor com 5 cm de altura e diâmetro da base de 2,5 cm. Para dar textura ao material, foi utilizado folhas de EVA com e sem textura rugosa, onde a parte rugosa foi pintada de vermelho e representou o polo norte, já a parte lisa foi pintada de azul e representou o polo sul. A Figura 9 ilustra alguns dos materiais utilizados para a confecção do ímã.

Figura 9 – Materiais utilizados para a construção do ímã de barra. (a) arame utilizado para representar as linhas de campo, (b) cone de isopor para representar a direção do campo magnético, (c) papel EVA com textura rugosa para trazer a representação tátil e (d) tintas de diversas cores para trazer a representação visual.



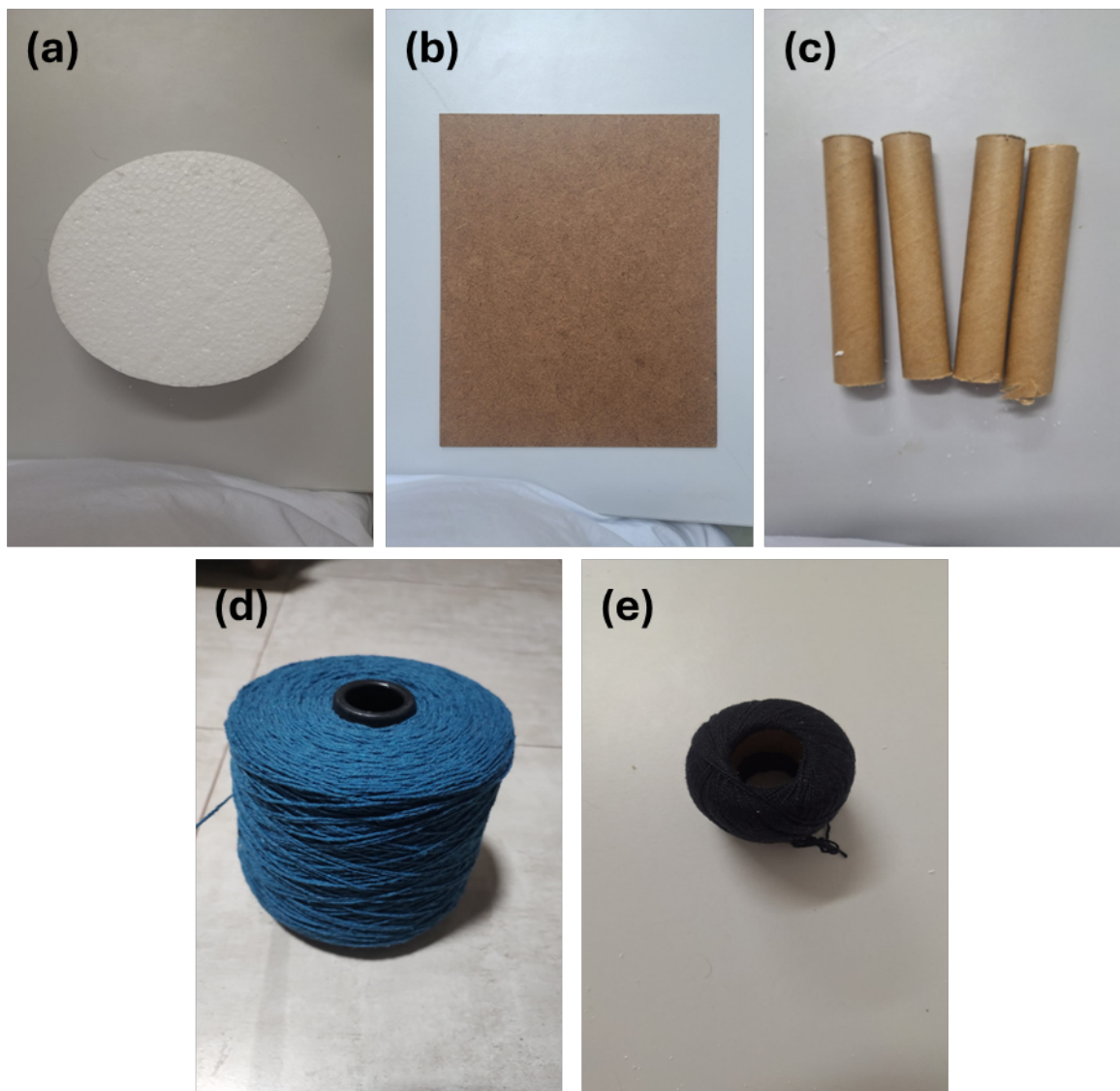
Para a construção da maquete representando o supercondutor sem e com penetração de campo, foi utilizado um cilindro de isopor com 20 *cm* de diâmetro e 7,5 *cm* de altura, pintado de amarelo para representar o corpo do supercondutor. O isopor foi posicionado entre duas placas paralelas de madeira MDF, que serviram como suporte estrutural tanto para o cilindro quanto para as linhas de campo. Para fixar o cilindro no centro das placas, foi utilizado um palito de madeira atravessando o isopor e colado com cola quente.

A Figura 10 representa os materiais utilizados para a construção dos supercondutores com e sem penetração de campo. Assim, para proporcionar estabilidade às placas de MDF, foram instalados quatro tubos de papelão nos vértices, criando uma estrutura robusta e equilibrada. Linhas de bordado (barbante fino) foram escolhidas para representar as linhas de campo magnético de baixa intensidade, devido à sua pequena espessura e linhas de barbante Nº 6 (barbante grosso) para representar campos de maior intensidade. Essa característica foi cuidadosamente considerada para que os estudantes pudessem identificar, por meio do tato, a diferença na intensidade do campo magnético aplicado.

Vale destacar que a intensidade do campo magnético representada pelos barbantes nas maquetes é relativa, uma vez que um campo considerado de baixa intensidade para um supercondutor do tipo 1 pode induzir o estado misto em um supercondutor do tipo 2. No entanto, essa abordagem foi intencional, pois permite que as duas maquetes sejam usadas em conjunto para facilitar explicações didáticas sobre a diferença entre o estado Meissner e o estado misto, além de distinguir os tipos de supercondutores. No entanto, se usada para explorar a diferença entre os tipos de

supercondutores, a explicação precisa deixar explícito como as intensidades são relativas.

Figura 10 – Materiais utilizados para a construção das maquetes de supercondutores com e sem penetração de campo magnético. Em (a) o isopor que representa o corpo do supercondutor, em (b) as placas de madeira MDF que foram posicionadas paralelamente para fixação do isopor e dos barbantes, em (c) os tubos de papelão para estabilizar as placas de MDF e, por fim, em (d) e (e) os diferentes barbantes utilizados para proporcionar uma identificação da intensidade de campo, onde (d) é o barbante grosso e (e) o barbante fino.



Fonte: Próprio autor.

O desenvolvimento deste trabalho foi organizado em seis encontros semanais, realizados às terças-feiras, das 16:00 às 18:00, totalizando 12 horas de atividades. Além disso, a preparação desses encontros demandou aproximadamente 8 horas. Cada encontro foi cuidadosamente planejado para abordar aspectos específicos da construção de materiais tátil-visuais, em colaboração direta com os quatro participantes. A coleta de dados gerou cerca de 11 horas de registros entre

vídeos e áudios, enquanto a análise desses materiais consumiu cerca de 25 horas, distribuídas de forma irregular ao longo de três semanas.

Na seção de Resultados, os participantes são identificados por abreviações: E1 refere-se ao estudante com deficiência visual, enquanto E2, E3 e E4 correspondem aos demais estudantes. O pesquisador é representado pela sigla P.

De acordo com o relatório médico oftalmológico fornecido por E1, ele apresenta uma perda visual superior a 90% no olho direito, com acuidade visual em torno de 0,05, enquanto no olho esquerdo a perda é próxima de 90%, com acuidade visual em torno de 0,1 — ambos os valores considerando a melhor correção óptica. Além disso, E1 possui nistagmo, uma condição caracterizada por movimentos involuntários dos olhos.

Segundo o próprio E1, sua visão é desfocada e a distinção de alguns objetos só é possível quando estão a menos de um metro de distância. No entanto, ele percebe a presença de luz apenas pelo olho esquerdo. Assim, para visualizar detalhes, E1 precisa aproximar os objetos desse olho, aproveitando ao máximo sua capacidade visual residual.

5 RESULTADOS

Para simplificar a análise, os dados coletados foram organizados em quatro momentos distintos, cada um representando os principais marcos do desenvolvimento do trabalho. Esses momentos foram divididos em: 1) decisões relacionadas à construção das maquetes; 2) elaboração do ímã de barra; 3) construção do supercondutor sem penetração de campo; e 4) construção do supercondutor com penetração de campo.

5.1 MOMENTO 1 - DECISÕES ACERCA DAS CONSTRUÇÕES

No primeiro encontro, foi realizada uma reunião para definir as diretrizes iniciais da construção das maquetes tátil-visuais. Participaram dois dos quatro integrantes no início do encontro, e um terceiro chegou posteriormente. Entre os participantes presentes desde o início, estava o estudante com deficiência visual.

O pesquisador iniciou expondo as ideias relacionadas à construção das maquetes, detalhando os objetivos e a importância dessas ferramentas para a inclusão de pessoas com deficiência visual no ensino de supercondutividade. Na sequência, foi feita uma breve explicação sobre os conceitos fundamentais da supercondutividade, abordando características como a resistividade elétrica nula, os diferentes tipos de supercondutores e sua interação com o campo magnético.

Durante a discussão, foi enfatizado que a compreensão ampla de um supercondutor requer um entendimento prévio de conceitos básicos sobre o campo magnético. Por essa razão, decidiu-se que a primeira maquete a ser desenvolvida seria a de um ímã de barra, de modo a permitir a visualização tátil e compreensão do formato e da direção das linhas do campo magnético pelos estudantes.

Após o exposto o estudante com deficiência visual (E1) diz:

E1 - "[...] o mais interessante é que você pensou em como uma coisa leva a outra, [...] porque você pensou desde o começo o que a pessoa precisa entender para entender o final".

Essa frase é muito interessante, pois destaca a importância de uma construção lógica e dinâmica do conhecimento para os estudantes. A aquisição de novos conhecimentos ocorre de maneira mais eficaz quando os conteúdos apresentados se conectam de forma lógica e são estruturados com os conhecimentos prévios dos estudantes. Nesse contexto, apresentar conceitos isolados, sem uma base adequada, pode gerar lacunas ou concepções alternativas.

No caso do ensino de supercondutividade, não faz sentido introduzir temas como o efeito Meissner e os vórtices sem que o estudante tenha uma compreensão sólida do formato, direção e sentido do campo magnético. A construção do conhecimento deve partir de ideias mais simples e concretas, que sirvam como ancoragem para conceitos mais complexos. Assim, compreender o

campo magnético de um ímã de barra se torna um ponto de partida essencial para que o estudante consiga estabelecer relações com os fenômenos mais avançados. A ausência desse conhecimento prévio pode dificultar a aprendizagem e favorecer interpretações incorretas sobre os fenômenos discutidos¹.

Apesar do currículo escolar prever o ensino de campo magnético no ensino médio, muitas vezes esse tópico é abordado de forma superficial, deixando o estudante com diversas lacunas na aprendizagem. Portanto, faz-se sempre necessário compreender os conhecimentos prévios dos estudantes, mesmo que estes supostamente já tenham tido algum contato com o conhecimento abordado.

Após essa conversa inicial, foi decidido que o primeiro passo da construção seria um ímã de barra. Então o grupo discutiu os melhores materiais para a confecção das maquetes.

Desse modo, optou-se por utilizar uma barra de isopor e materiais que trariam textura com cores contrastantes. Durante essa discussão o estudante E1 diz:

E1 - "Uma coisa que é muito importante para pessoa que tem baixa visão é o contraste, [...] porque o contraste é fácil de distinguir, então a textura e o contraste".

Percebe-se dois aspectos fundamentais, textura e contraste. Esses elementos têm alta relevância para o presente trabalho, especialmente considerando a construção das maquetes tátil-visuais.

A ênfase de E1 em "textura e contraste" reflete diretamente os princípios do desenho universal abordado anteriormente, que busca atender às necessidades de diferentes públicos, incluindo pessoas com e sem deficiência visual. Para que as maquetes desenvolvidas estejam alinhadas com esse conceito, é essencial que elas não sejam exclusivamente táteis ou apenas visuais. Isso significa que a textura precisa ser tão acessível quanto o contraste de cores, garantindo que ambos os sentidos, tátil e visual, sejam contemplados de maneira equitativa.

Essa abordagem integrada assegura que os materiais sejam mais inclusivos, ampliando as possibilidades de interação e compreensão pelos diferentes perfis de usuários. Assim, a contribuição de E1 reforça a necessidade de considerar múltiplas dimensões sensoriais na construção dos materiais propostos.

Para promover texturas distintas nos diferentes polos do ímã, foi proposta a utilização de papel EVA com diferentes acabamentos. Assim, um dos polos seria representado por uma textura rugosa, enquanto o outro teria uma textura lisa. Além disso, foi incluída uma diferenciação nas cores dos polos para enfatizar o contraste visual, sendo as cores sugeridas pelos estudantes foram a azul e a vermelha.

Para facilitar a identificação dos polos, foram introduzidas letras indicativas, e.g., "N" para o polo norte e "S" para o polo sul. Essas letras também foram confeccionadas em papel EVA,

¹ Claro que, no caso em questão, abordar sobre campo magnético foi necessários pois os alunos não haviam passado por "Física 3" ainda, contudo, numa perspectiva de cronograma do conteúdo, a supercondutividade poderia ser abordada no final da disciplina citada, resguardando seus conceitos quânticos, os quais podem ser abordados após uma disciplina de "Física Moderna" ou "Estado Sólido".

garantindo coerência da textura no processo de identificação tátil.

A representação das linhas de campo magnético é essencial para compreender o formato geométrico do campo, portanto, os participantes sugeriram que fosse utilizado arames conectados nas extremidades da barra de isopor e para promover um sentido para o campo a sugestão foi utilizar cones de isopor.

Neste momento, também foi decidido que o trabalho contemplaria a construção de três maquetes. A primeira seria dedicada à representação do campo magnético por meio de um ímã de barra, enquanto as outras duas seriam destinadas à explicação dos diferentes estados em um supercondutor, i.e., estado Meissner e estado misto. O primeiro caracterizado por não ter penetração do campo e o segundo, com penetração do campo. Ainda, nessa última situação, há a necessidade da explicação do conceito de vórtices. Essa escolha buscou atender à necessidade de progressão lógica no ensino, iniciando por conceitos mais básicos e avançando para outros fenômenos.

Ao final da reunião, foram registrados os materiais sugeridos pelos participantes, que seriam adquiridos para dar continuidade às etapas seguintes do trabalho. Com isso, encerrou-se o primeiro encontro.

5.2 MOMENTO 2 - ÍMÃ DE BARRA

A construção do ímã perdurou por três encontros. No primeiro encontro para a construção do ímã todos os quatro participantes estavam presentes, desse modo, deu-se início à construção.

Inicialmente foi recortado o isopor no tamanho correto, o estudante E1 sugeriu que 15 *cm* seria o ideal pois se fosse algo muito grande, seria muito difícil de entender e manusear.

Durante a construção das maquetes, o pesquisador iniciou uma conversa sobre os aspectos físicos dos materiais envolvidos. Primeiramente, foi feita uma pergunta aos estudantes sobre o conhecimento deles a respeito da magnetização. Como esperado, eles demonstraram desconhecer o conceito, o que é compreensível, dado que eram estudantes recém-ingressados na universidade.

Portanto, considerando que a blindagem de um supercondutor está intrinsecamente ligada à sua magnetização, já que o supercondutor é um diamagneto perfeito, foi necessário introduzir e explicar desses conceitos que, para o trabalho, são fundamentais. Entre eles, abordou-se o conceito de sítios magnéticos, que correspondem às regiões específicas dentro de um material onde os momentos de dipolo magnético podem se alinhar ou interagir em resposta a um campo magnético aplicado, isso no caso de materiais ferromagnéticos, tais como os ímãs de geladeira.

Além disso, foi explicado como diferentes materiais reagem à aplicação de um campo magnético. Comentou-se sobre materiais paramagnéticos que possuem momentos de dipolo magnético que, na presença de um campo externo, tendem a se alinhar temporariamente na direção do campo, essa magnetização é fraca e desaparece quando o campo externo é removido. Enquanto, materiais diamagnéticos exibem um comportamento oposto, gerando uma magnetização contrária ao campo magnético externo, o que significa que são repelidos por ele. O

supercondutor, como um diamagneto perfeito, leva esse comportamento ao extremo, expulsando completamente o campo magnético de seu interior. Essas explicações foram essenciais para conectar o conceito de magnetização ao comportamento dos supercondutores, estabelecendo uma base para a compreensão dos fenômenos que seriam explorados nas maquetes.

Em seguida, foi feita uma pergunta sobre a quantidade de polos em um ímã. O diálogo se desenvolveu da seguinte forma:

E3 - "Dois polos, norte e sul."

P - "E se dividir o ímã ao meio?"

E3 - "Cada divisão terá dois polos."

P - "E se cortar ao meio novamente?"

E3 - "Vai acontecer o mesmo, cada pedaço com dois polos."

P - "E ele para?"

E3 - "Em algum momento ele para."

P - "Ele nunca para. Não existe monopolo magnético, sempre há dois polos."

Esse diálogo revela algumas lacunas no conhecimento dos estudantes sobre ímãs. O estudante E3 demonstrou inicialmente compreender que os ímãs divididos mantêm dois polos, mas acreditava que, em algum momento, essa característica deixaria de existir. Essa concepção está equivocada, uma vez que não existem monopolos magnéticos, um princípio fundamental do magnetismo que deveria ser abordado no ensino básico.

Esse conceito é essencial não apenas para a compreensão de ímãs, mas também para a construção de uma base sólida no estudo de fenômenos mais avançados. Portanto, o pesquisador esclareceu a inexistência de um monopolo magnético.

Percebendo essa lacuna o pesquisador buscou fazer um ensino por associação, nesse sentido, houve uma comparação entre grandezas elétricas e grandezas magnéticas, portanto, a conversa seguiu:

P - "Vamos pensar, o que seria um monopolo elétrico?"

- silêncio -

P - "Uma carga elétrica [...]"

E2 - "Então não existe uma 'carga' magnética?"

P - "Isso, não existe uma carga magnética."

E2 - "Entendi!"

Essa abordagem se apresentou eficaz, pois utilizou conceitos familiares, como as cargas elétricas, para introduzir a ideia da inexistência de monopolos magnéticos. A referência a um conceito já conhecido serviu como base para que os estudantes assimilassem o novo conceito.

O silêncio inicial dos estudantes durante a conversa pode ser interpretado como resultado de nervosismo ou desconhecimento do tema. Ainda assim, o processo de ensino por associação

demonstrou ser eficaz, como evidenciado pela resposta de E2 – "Então não existe uma 'carga' magnética?" – que mostrou a busca por relacionar ideias conhecidas a novos conceitos. A associação entre cargas elétricas e monopolos magnéticos ajudou o estudante a entender o princípio fundamental de que os monopolos magnéticos não existem.

Essa análise evidencia como o uso de exemplos concretos e bem contextualizados pode superar barreiras no aprendizado, especialmente quando os estudantes apresentam insegurança ou lacunas de conhecimento em áreas fundamentais.

Em seguida o pesquisador começou a falar de forma fenomenológica sobre as equações de Maxwell. Essa explicação foi útil para explicar, posteriormente, a diferença entre a lei de Faraday-Lenz e a corrente de blindagem que aparece em um supercondutor. A lei de Faraday-Lenz mostra que, um fluxo magnético que varia no tempo induz uma força eletromotriz, em outras palavras, há a indução de uma corrente. Contudo, a corrente de blindagem em um supercondutor aparece mesmo sob a aplicação de um campo magnético estático.

Nesse sentido, a conversa seguiu:

P - "Imaginem uma carga elétrica que esteja dentro de uma esfera de ar, todo o campo gerado pela carga ou sairá da esfera, carga positiva, ou entrará na esfera, carga negativa. Agora, se você tirar a carga elétrica de dentro da esfera de ar, todo campo elétrico que entra sai. Ou seja, o campo elétrico ele diverge da carga elétrica ou ele converge para a carga elétrica."

E3 - "Entendi."

P - "Já o campo magnético não é um campo que rotaciona?"

E3 e E4 - [Balançar de cabeça como sinal de confirmação]

P - "Então, se eu pegar uma esfera de ar, mesmo que o ímã esteja contido nela, todo campo magnético que entra na esfera, vai sair da esfera, justamente porque o campo é rotacional, portanto, ele não diverge nem converge."

- Silêncio -

P - "Agora vamos supor que não haja campo magnético. Então o campo elétrico não rotaciona, mas se houver campo magnético, então a variação do campo magnético no tempo gera uma rotação no campo elétrico. Aí, vocês já ouviram falar que uma corrente gera campo magnético?"

E4 - [balança a cabeça confirmando]

P - "Então, a corrente gera um campo que rotaciona, então nós dizemos que o rotacional de um campo magnético..."

E2 [interrompe dizendo] - "Gera um campo elétrico?"

P - "Também, calma aí, vamos chegar lá. Mas o rotacional do campo magnético é gerado por uma corrente que passa, imaginem um anel colocado envolta do fio, a gente vê se o campo magnético vai rotacionar ao longo desse anel."

E3 - "Se rotacionar é porque tem corrente?"

P - "Exatamente. Só que além disso, vocês sabem o que é um capacitor?"

E4 - "Sim!"

P - "O capacitor tem duas placas paralelas, e no meio das placas um vácuo, tem vácuo, eu não tenho corrente passando ali. Mas como o capacitor vai sendo carregado, vai chegando carga na placa da direita, ou seja, vai alterando o campo elétrico entre as placas, e essa variação do campo elétrico no tempo também gera um campo magnético que rotaciona. E isso é basicamente as equações de Maxwell, a base do eletromagnetismo."

E3 - "Então basicamente, a primeira lei, o campo elétrico converge ou diverge e o campo magnético não converge nem diverge?"

P - "Não, calma, o que você disse já são duas, uma sobre cada campo. E o campo magnético não convergir nem divergir, mostra que não há monopolo magnético, não há 'carga' magnética."

E3 - "Entendi, as outras duas diz que campo magnético que varia no tempo gera campo elétrico e o campo magnético pode ser gerado por corrente e campo elétrico que varia no tempo?"

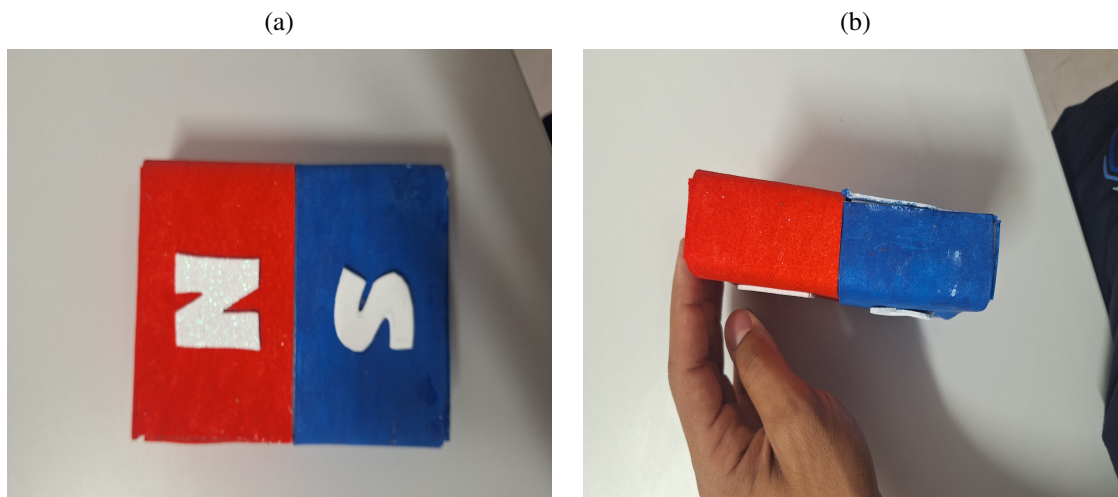
P - "Isso!"

A abordagem adotada pelo pesquisador reflete estratégias pedagógicas baseadas em explicações fenomenológicas e construção progressiva do conhecimento bem como a utilização de linguagem fundamental auditiva para explicar fenômenos com significados vinculados, e.g., a rotação de um campo, esfera de ar e anel com um fio passando no meio, esses dois últimos buscando trazer uma associação à superfície gaussiana e ao caminho amperiano. Nesse sentido, a explicação promoveu a compreensão das equações de Maxwell a nível conceitual, i.e., sem uma abordagem matemática.

O silêncio inicial e as perguntas subsequentes revelam um momento de reflexão dos estudantes, o que é comum quando se confrontam com conceitos desafiadores. No entanto, ao final, a formulação correta das quatro equações por E3 demonstra que a estratégia dialogada se mostrou eficaz para levar o conhecimento conceitual das equações de Maxwell para estudantes ingressantes.

Enquanto as discussões teóricas ocorriam, a montagem da maquete também estava em andamento. Para isso, o papel EVA foi recortado em duas partes iguais, cobrindo, cada uma, uma metade da barra de isopor. Essas partes foram pintadas em vermelho e azul, diferenciando visualmente os polos norte e sul do ímã. Além disso, letras indicativas dos polos (N e S) foram recortadas em papel EVA e coladas nos respectivos polos, mantendo a coerência com a textura. Assim o polo norte, vermelho, recebeu uma textura rugosa, enquanto o polo sul, azul, apresentou uma textura lisa. Ao final do primeiro encontro, o corpo do ímã estava completamente montado e pintado, restando a construção e pintura das linhas de campo para os encontros subsequentes. A Figura 11 apresenta o estado final do corpo do ímã ao término do primeiro encontro.

Figura 11 – Vista (a) frontal e (b) lateral do corpo do ímã de barra após o primeiro encontro. O polo norte foi pintado de vermelho e possui uma textura rugosa, enquanto o polo sul foi pintado de azul e possui uma textura lisa. As letras indicativas dos polos possuem a mesma textura de seu respectivo polo.

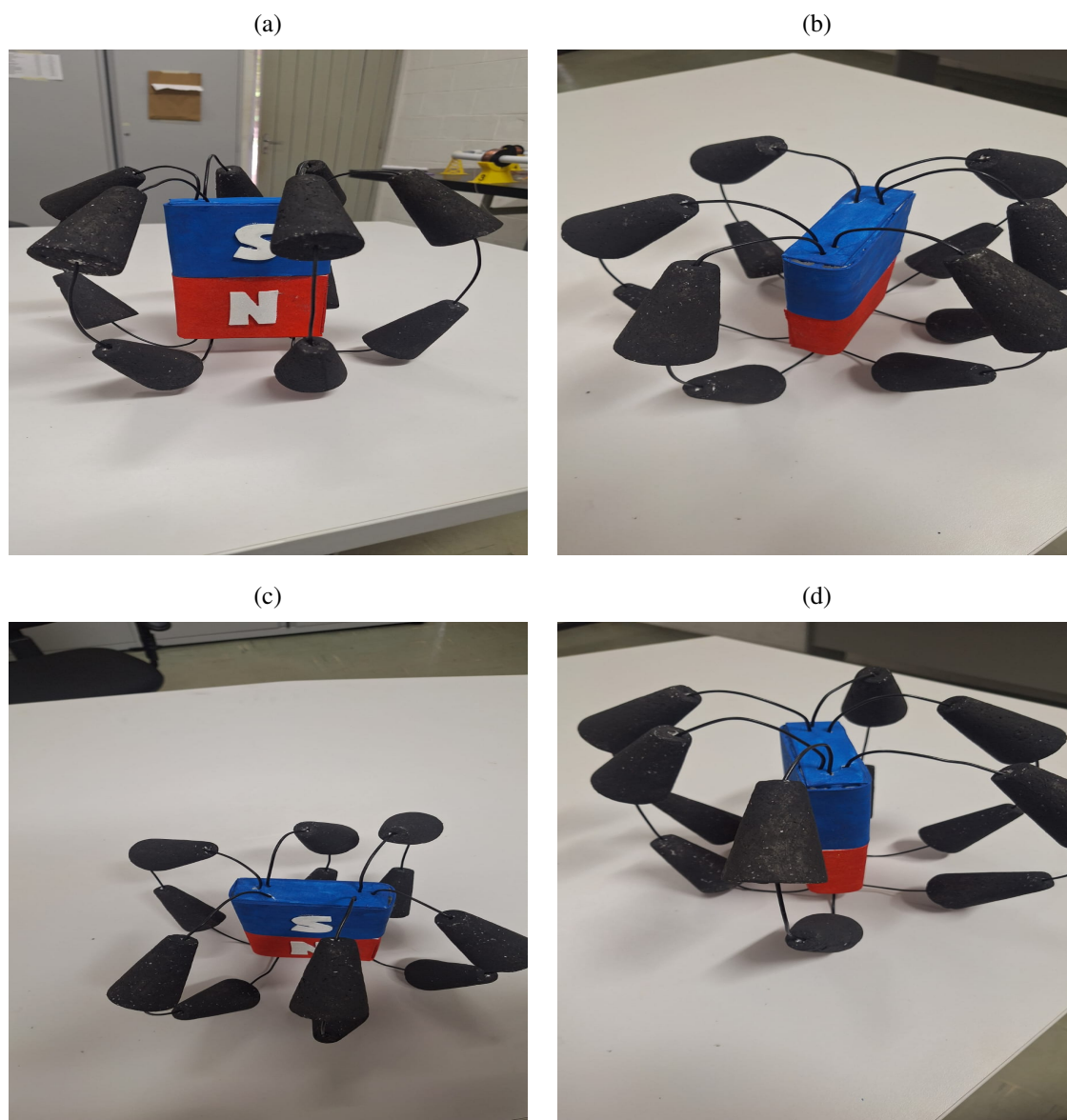


Fonte: Próprio autor.

Nos encontros seguintes, o estudante E1 não pôde participar, com isso, no segundo dia, apenas os estudantes E3 e E4 estiveram presentes, enquanto o terceiro dia contou apenas com a participação do estudante E2.

A ausência de E1 nesses dias não surtiu efeito negativo na construção da maquete, devido ao planejamento antecipado da construção desta, mostrado na subseção 5.1. Dessa forma, deu-se continuidade à construção do material, com a pintura e modelagem das linhas de campo. Para representar o sentido do campo magnético, foram utilizados cones de isopor pintados de preto, atravessados por um arame revestido também de preto, onde o arame representou as linhas de campo. Esse arame foi fixado nos polos do ímã, indicando o fluxo do campo magnético, saindo do polo norte e chegando ao polo sul. Com isso, a montagem do ímã de barra foi concluída. O resultado final pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Diferentes vistas da montagem final do ímã de barra. (a) vista frontal, (b) e (c) vista pelas diferentes laterais e (d) vista superior.



Fonte: Próprio autor.

No quarto dia de encontro houve a participação dos estudantes E1, E3 e E4. Como houve a finalização do ímã de barra no encontro anterior, então este foi aplicado ao estudante E1 para identificar o sentido do campo e os polos. Dessa forma, o diálogo seguiu:

P [Enquanto entrega a maquete para E1]- "Uma coisa que eu queria que você visse é que a gente terminou o ímã"

E1 [Pegando a maquete] - "Legal!"

P - "O que você acha? Você consegue entender?"

E1 [Manuseando a maquete] - "Sim, na minha opinião, as setas ² são um pouco grandes, mas eu

² referência aos cones de isopor que dão sentido ao campo.

consigo entender sim.”

P - ”Entendi, você saberia dizer da onde ele ta saindo e onde está entrando ³”

E1 [Enquanto passa a mão pelo arame e pelos cones de isopor seguindo o sentido do campo] - ”A sim, ele sai daqui e vai para cá”

P - ”Certo, você consegue identificar os polos?”

E1 [Passando a mão pelas letras identificadoras dos polos] - ”[...] eu consigo identificar sim. Aqui tem o N de norte e aqui tem o S de sul. Então ele vai sair do norte e vai ir até o sul.”

P - ”Isso, perfeito!”

Essa interação evidencia a eficácia do material na compreensão de um ímã de barra. O estudante E1 conseguiu identificar, por meio do tato, tanto o sentido do campo magnético quanto os polos do ímã. Assim, o conceito de campo magnético em um ímã de barra, tradicionalmente associado a representações visuais no ensino em sala de aula, foi complementado com uma segunda forma de representação, a tátil. Isso corrobora as estruturas semântico-sensoriais propostas por Camargo (2012), Camargo (2016), que mostram como o formato geométrico do campo possui um significado vinculado, a vinculação desse significado é pela visão, contudo, pode-se trazer outros sentidos para se vincular a este significado.

Um ponto interessante é a utilização, por E1, de uma estrutura fundamentalmente visual da linguagem, conforme discutido por Camargo (2012). Isso é evidente em expressões como "sai daqui e vai para cá" ou "[...] aqui tem o N de norte e aqui tem o S de sul [...]". Esse tipo de linguagem está intrinsecamente ligado à visão, pois, sem o suporte visual, termos como **daqui**, **para cá**, **ali** ou **aqui** perdem o significado direto.

O uso recorrente dessa linguagem por E1 pode ser explicado pelo contexto onde os outros participantes e o pesquisador são pessoas videntes. Ademais, a convivência de E1 durante as aulas é majoritariamente com pessoas videntes, isso pode ter levado E1 a internalizar e atribuir significado a essas expressões, incorporando-as em sua própria comunicação. O fato de E1 empregar tais termos demonstra como o ensino regular frequentemente utiliza uma linguagem fortemente atrelada à visão para atribuir significado aos conceitos, reforçando, portanto, a necessidade de estratégias que ampliem os canais de aprendizado para incluir diferentes formas de percepção sensorial.

5.3 MOMENTO 3 - SUPERCONDUTOR SEM PENETRAÇÃO DE CAMPO

Após a confecção e aplicação do ímã de barra, bem como a explicação sobre campos magnéticos e as equações de Maxwell, iniciou-se o trabalho na construção de maquetes tátil-visuais para representar os diferentes estados dos supercondutores, i.e., o estado Meissner e o estado misto.

³ referencia ao campo.

No encontro destinado à construção da maquete de um supercondutor sem penetração de campo magnético, apenas três participantes estiveram presentes E1, E3 e E4.

Conforme previamente combinado, o pesquisador levou os materiais necessários para a confecção das maquetes. Esses materiais foram, um cilindro de isopor para representar o supercondutor; duas placas de MDF para servir como suporte e fixação das linhas de campo; barbante fino para representar as linhas de campo magnético; e tubos de papelão para atuar como apoios entre as placas de MDF.

Durante a construção das maquetes tátil-visuais, o pesquisador buscou compreender o nível de entendimento dos estudantes sobre os conceitos trabalhados. Para isso, questionou o entendimento dos estudantes sobre campos. Os diálogos seguintes ilustram a diversidade de compreensões entre os participantes.

E1 [utilizando gestos para complementar sua explicação] - "O que me vem na cabeça são duas cargas, [...] elas têm uma certa força entre elas, que pega aquela equação que se assemelha à equação da gravidade⁴. É que eu não lembro da definição certa [fica um tempo em silêncio, buscando lembrar do que haviam estudado]. [...] Eu lembro que eu estava estudando para a minha iniciação científica tinha um desenho assim na lousa, um campo elétrico assim [gesticulando com movimentos circulares com o braço] uma carga elétrica no centro e outra fora e aí tem uma força de interação entre elas."

Percebe-se que E1 associou campos à interação entre cargas, remetendo à sua experiência anterior em iniciação científica, onde visualizou representações geométricas de campos elétricos. Apesar de demonstrar uma compreensão inicial do conceito de campo, E1 apresentou dificuldade em resgatar definições formais.

E4 - "Uma região com um corpo, onde a direção de força segue de um polo para o outro."

Essa definição revela um equívoco conceitual, já que não é válida para campos elétricos devido à existência de monopólos (cargas pontuais). A ideia de que as forças de campos magnéticos ou elétricos sempre "seguem de um polo para outro" demonstra uma compreensão parcial e necessita de correção.

Essas respostas mostram que os estudantes possuem significados prévios sobre campo relacionados à interação à distância e forças. No entanto, essas concepções apresentam lacunas, como confusões entre tipos de campo e direções de força. Essa etapa inicial serviu para o pesquisador identificar o ponto de partida para aprofundar conceitos e corrigir interpretações.

Em seguida, o pesquisador deu uma atenção maior para a lei de Faraday explicando que campos magnéticos que variam no tempo induzem uma corrente. Após explicada a lei de Faraday novamente, o pesquisador passou a falar sobre os supercondutores e como eles reagem ao campo magnético.

⁴ Referência à Lei de Coulomb

P - "[...] Um supercondutor tem resistividade..."

E3 - "zero"

P - "Ou seja, não apresenta resistência. Vocês sabem o que é resistência?"

E3 - "Não tem dificuldade da corrente passar, então não esquenta, não tem dissipação térmica."

P - "Isso. [...] Um supercondutor não gosta do campo magnético. E agora eu pergunto, o que eu falei sobre campo magnético quando varia no tempo?"

E3 - "Gera corrente."

P - "Em um supercondutor, como vocês acham que acontece? Se eu aplicar um campo magnético estático?"

E3 - "Ele vai rodear o supercondutor"

P - "Mas, por quê?"

Nesse momento, os estudantes ficaram pensativos sobre o questionamento. Durante um período eles ficaram gesticulando com as mãos para tentar compreender e formalizar maneiras de explicar, no entanto não houve verbalização de seus pensamentos. Levou algum tempo até que um deles pensasse em uma possível explicação, dessa forma, o estudante E3 falou,

E3 - "Dentro do supercondutor tem corrente elétrica?"

P - "Tem⁵"

E3 - "[...] Essa corrente elétrica que vai expelir o campo magnético? Ou, essa corrente elétrica vai gerar um campo magnético rotacional que é o fora?"

P - "Que é o de fora? Como assim?"

E3 - "Que expelle o de fora."

Percebe-se nesse momento que esse raciocínio denota que o estudante compreendeu a necessidade de uma corrente para gerar um campo oposto, ainda que não conhecesse o conceito formal de corrente de blindagem. Isso mostra a importância de introduzi-los às equações de Maxwell, pois, por meio delas, o estudante teve um raciocínio de que deveria aparecer uma corrente para haver um campo antiparalelo ao campo aplicado, dessa forma, o campo de indução magnética no interior do supercondutor seria nulo. Isso também indica certa compreensão do estudante sobre relação de causa e efeito.

Na mesma discussão o estudante E4 diz,

E4 - "Isso é indução elétrica?"

P - "Em que sentido?"

E4 - "Como você vai aproximando um ímã, um movimento de aproximação, aparecem correntes."

P - "Mas no caso do supercondutor mesmo um campo estático é repellido. No supercondutor, aparecem correntes que são chamadas de corrente de blindagem."

⁵ O pesquisador percebe que, por corrente elétrica o estudante está pensando em uma corrente que gera um campo magnético que blinda o supercondutor, na literatura essa corrente é a corrente de blindagem.

Nesse momento o pesquisador inicia uma explicação sobre corrente de blindagem e, para isso, houve a pergunta aos estudantes sobre seu conhecimento da regra da mão direita. O estudante E1 mostrou desconhecer tal regra. Portanto, o pesquisador, ao perceber que esse conhecimento é importante, começa a explicar a regra da mão direita, falando que o polegar segue o sentido da corrente e, ao rotacionar a mão em torno do pulso, os dedos restantes indicam o sentido do campo gerado. Ao final da explicação o pesquisador pergunta,

P - "Então, imaginando que o isopor seja o supercondutor e eu estou aplicando um campo de baixo para cima, qual seria o sentido da corrente para contrariar o campo aplicado?"

E3 - "O campo está indo para cima?"

P - "Isso, o campo aplicado não o campo gerado pela corrente."

E4 - "Nessa perspectiva estaria para a direita"

A perspectiva citada é olhando de cima do isopor e ao dizer para a direita o estudante põe a mão na parte inferior da circunferência do isopor, dessa forma, o pesquisador entendeu que ele quis se referir ao sentido anti-horário. Como o sentido do campo aplicado é de baixo para cima a corrente de blindagem, para gerar um campo antiparalelo ao aplicado, deveria ser no sentido horário, dessa forma, o pesquisador continua,

P - "Vamos lembrar que dentro supercondutor não tem campo, então tem que ser contrário [Se referindo ao campo devido a corrente de blindagem]"

E3 - "Como assim contrário?"

P - "O campo gerado pela corrente tem que ser contrário ao aplicado, o aplicado não está para cima?"

E3 e E4 - [concordam com a cabeça]

P - "Então como seria um campo contrário? Para blindar"

E3 - "Para baixo."

P - "Então, eu aponto meus dedos para baixo e meu polegar indica o sentido da corrente, ou seja, no sentido horário [enquanto passa a mão no sentido horário do isopor]"

E1 - "Então o campo ta aplicado para cima, e para contrariar você precisa de um campo para baixo, ai você aponta os dedos para baixo e a corrente é o polegar?"

P - "Exato"

E1 - "Entendi!"

As interações mostram como a construção de maquetes tátil-visuais, aliada a intervenções teóricas, promoveu um aprendizado progressivo dos estudantes, tanto para E1 (estudante com deficiência visual) quanto para E3 e E4. Dessa forma, é perceptível a importância da abordagem do desenho universal para o ensino de física.

Mesmo com lacunas iniciais, os estudantes mostraram capacidade de compreender os conceitos quanto utilizado os materiais em busca de uma perspectiva mental do processo de ex-

pulsão/exclusão das linhas de campo magnético do interior de um supercondutor. Nota-se, portanto, que a exploração prática e as analogias, como o uso do isopor e da regra da mão direita, contribuíram significativamente para o entendimento. Esses momentos evidenciam a eficácia de abordagens multissensoriais e dialogadas, especialmente no ensino de temas como supercondutividade.

Para verificar o entendimento dos estudantes acerca do sentido da corrente de blindagem o pesquisador questiona,

P - "E se aplicar um campo de cima para baixo agora?"

E1 [Gesticulando com a mão direita a direção do campo gerado pela corrente] - "Pela regra da mão direita a corrente tem que ser para o sentido horário."

Essa interação evidenciou que E1 compreendeu o conceito de corrente de blindagem e a aplicação da regra da mão direita naquele momento. A resposta rápida e precisa de E1, associada à direção do campo gerado pela corrente, indica que o estudante compreendeu o raciocínio lógico envolvido. Mesmo sendo uma questão dedutiva, já que, com o campo aplicado anteriormente para cima, a corrente estava no sentido anti-horário, o campo para baixo implica uma corrente no sentido horário. Contudo, a utilização consciente da regra da mão direita para verificar a resposta demonstra uma aprendizagem.

Durante essas interações, destaca-se a importância da comunicação detalhada e precisa por parte do pesquisador, que utilizou simultaneamente recursos auditivos e visuais para facilitar o aprendizado seguindo Camargo (2016) que propõe a utilização de linguagem auditiva e visual independentes para veicular os significados dos conceitos. Mesmo ao gesticular, o pesquisador priorizou uma linguagem clara e descritiva, como ao dizer: "gire sua mão ao redor do pulso" em vez de "gire sua mão assim". Essa escolha de palavras permite que E1 siga as instruções de forma mais independente e assertiva, reduzindo ambiguidades e promovendo uma compreensão dos conceitos.

Essa abordagem é especialmente eficaz em contextos que envolvem abstrações, como no caso das correntes de blindagem e das orientações de campo. A combinação de explicações detalhadas e o uso de materiais tátil-visuais como o isopor para representar o supercondutor, está alinhado com os princípios do desenho universal, pois oferece uma base tátil e visual para os estudantes relacionarem os conceitos teóricos às representações físicas. Esses recursos multissensoriais facilitam o aprendizado tanto para estudantes com deficiência visual quanto para videntes, promovendo uma experiência inclusiva.

Ao término da explicação sobre a corrente de blindagem, foi perguntado aos estudantes se eles recordavam o nome desse efeito, e prontamente eles responderam "efeito Meissner", mostrando, portanto, o entendimento que esse fenômeno de inexistência de campo de indução magnético no interior do supercondutor é chamado de efeito Meissner.

Em seguida, o pesquisador indagou os estudantes sobre a diferença entre um supercondutor e

um condutor perfeito,

P - "Qual a diferença entre um supercondutor e um condutor perfeito? [...] O que seria um condutor perfeito?"

E3 - "Que tem resistividade zero e eu lembro que alguma coisa tinha que ser infinita."

P - "A condutividade. A condutividade é infinita."

E3 - "Supercondutor não tem a condutividade infinita, é isso?"

P - "Tem, a resistividade é o inverso da condutividade, se a resistividade vai para zero, então a condutividade vai para o infinito."

- silêncio -

E3 [Após um tempo pensando] - "Um condutor perfeito não repele o campo magnético?"

P - "Depende, em uma ocasião repele. [...] há duas possibilidades, uma é entrar no estado sem resistividade, seja supercondutor ou condutor perfeito, e depois aplicar um campo e a outra é aplicar um campo e depois entrar em um estado sem resistividade. A diferença está aí."

- silêncio -

Após o silêncio, o pesquisador revela a explicação da diferença entre um supercondutor e um hipotético condutor perfeito, falando sobre os tipos de processos de medições magnéticas, i.e., *Zero Field Cooling* (ZFC) e *Field Cooling* (FC) apresentados na seção 3.1.1.

Portanto, o pesquisador esclareceu que um supercondutor expulsa o campo magnético de seu interior no processo FC enquanto um condutor perfeito com campo magnético em seu interior, ao desligar este campo, ele passaria a se comportar como um ímã.

Adiante, o pesquisador indaga os estudantes se pode haver campo magnético no interior de um supercondutor em alguma ocasião, isso busca introduzi-los ao conceito de vórtices e diferenciar os tipos de supercondutores considerando o conhecimento prévio deles sobre o assunto. Nesse sentido, E3 responde,

E3 - "Pode, caso o campo seja muito forte, ele consegue entrar e cria vórtices nele."

P - "E o que é um vórtice?"

E3 - "Quando entra o campo magnético, o vórtice ele gira em um sentido para gerar uma carga, não sei dizer."

P - "Ok, sabiam que tem tipos de supercondutores?"

E3 - "Tipo 1 e tipo 2, [...] o tipo 2 tem haver com entrada né⁶. O tipo 2 ele permite a entrada e o tipo 1 ele só perde a supercondutividade."

P - "E o tipo 2 não perde?"

E3 - "O tipo 2 ele permite a entrada, mas não perde, continua supercondutor, e quando ele permite essa entrada em formato de vórtices, ele consegue aguentar um campo magnético maior."

⁶ referindo-se à penetração de vórtices

Após essa interação, o pesquisador explicou a diferença entre supercondutores do tipo 1 e do tipo 2 e inseriu o conceito de campo magnético crítico, assim como mostrado na seção 3.1.2.

Essa conversa evidenciou a importância de verificar os conhecimentos prévios dos estudantes, permitindo que o pesquisador ajustasse a abordagem pedagógica às necessidades identificadas. E3 demonstrou certo nível de familiaridade com o conceito de vórtices e os tipos de supercondutores, mas suas respostas indicaram um entendimento superficial e lacunas conceituais. Por exemplo, ele relacionou corretamente que os vórtices estão associados à penetração de campo magnético e isso ocorre em supercondutores do tipo 2, mas não conseguiu explicar claramente o que são vórtices nem a diferença entre os tipos de supercondutores.

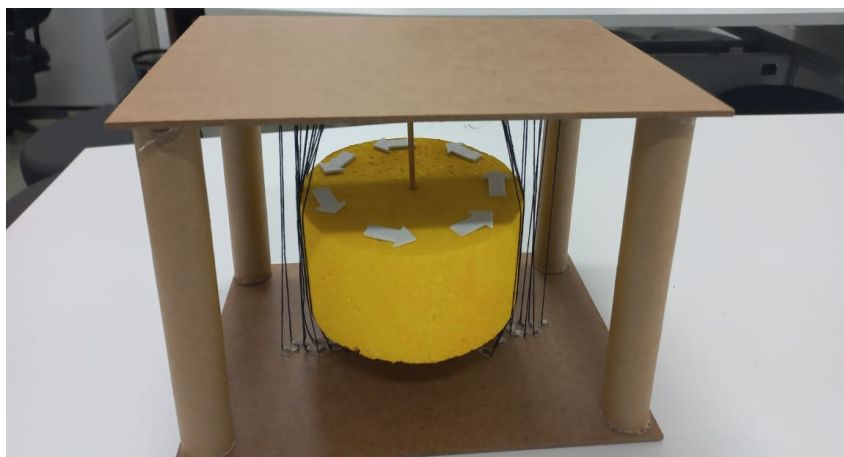
A partir dessa observação, o pesquisador ajustou a explicação, introduzindo o conceito de campo magnético crítico e aprofundando a distinção entre os tipos de supercondutores. Essa abordagem do pesquisador também se alinha ao conceito de desenho universal e de inclusão, que prevê estratégias pedagógicas que contemplem uma diversidade de aprendizes e suas heterogeneidades, proporcionando equidade no acesso e compreensão do conteúdo.

Os diálogos expostos ocorriam enquanto o material estava sendo confeccionado, dessa forma, o estudante E1 comentou que a maquete poderia tomar uma forma bidimensional para facilitar a localização das linhas de campo. Portanto, levando isso em consideração, as linhas de barbantes que representam as linhas de campo magnético foram fixadas de forma quase coplanar. Assim, embora a maquete mantivesse sua tridimensionalidade estrutural, a representação das linhas de campo foi organizada em uma única seção transversal.

Essa exposição de E1 acerca da construção do material é altamente relevante para que um desenho universal seja alcançado, pois E1 identificou que, ao colocar linhas de barbantes na tridimensionalidade da maquete, o acesso ao interior do supercondutor seria reduzido, podendo provocar concepções alternativas e confusões nos usuários do modelo, especialmente em pessoas com deficiência visual, que dependem da exploração tátil para compreender os conceitos representados. O pesquisador, por sua vez, ao compreender os anseios de E1, modificou e adaptou as maquetes para se adequarem às dificuldades apresentadas, promovendo, portanto, uma aprendizagem inclusiva de E1. A confecção final da maquete que representa um campo aplicado em um supercondutor no estado Meissner é mostrada na Figura 13.

Figura 13 – Confeção final da maquete tátil-visual referente ao estado Meissner, i.e., sem penetração das linhas de campo. Em (a) e (b) apresenta uma visão frontal e superior da maquete, percebe-se que os barbantes que representam as linhas de campo estão contornando o isopor que representa o supercondutor, já em (c) apresenta uma visão lateral da maquete, nota-se também setas feitas de papel EVA para mostrar a direção da corrente de blindagem.

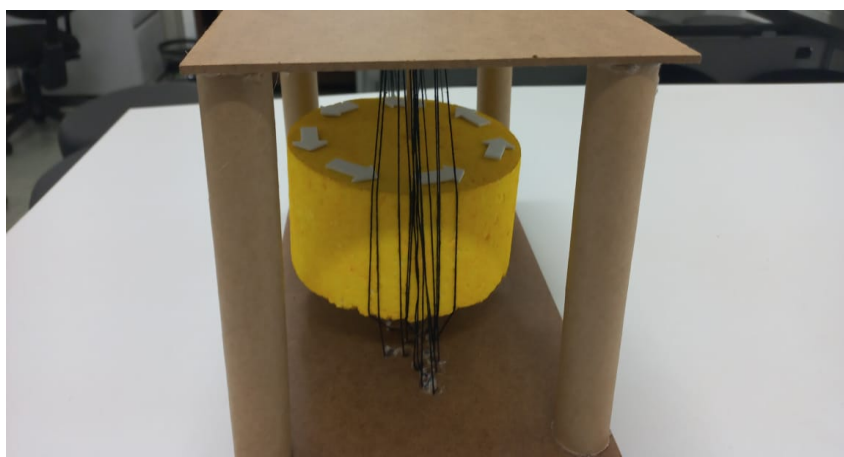
(a)



(b)



(c)



Fonte: Próprio autor.

Pela Figura 13, observa-se que os barbantes representam as linhas de campo magnético, o cilindro de isopor simboliza o supercondutor e as setas de papel EVA indicam a direção da corrente de blindagem. O sentido do campo aplicado pode ser determinado utilizando a regra da mão direita, pois a corrente de blindagem gera um campo magnético que se opõe ao campo aplicado. Assim, ao aplicar a regra da mão direita, é possível identificar o sentido do campo gerado pela corrente. Consequentemente, o campo aplicado será antiparalelo ao campo gerado pela corrente de blindagem.

Nesse contexto, em um dia posterior, o material foi aplicado aos estudantes E1 e E3, os únicos que compareceram neste encontro. Embora eles tenham participado da montagem das maquetes, é fundamental analisar a interação dos estudantes com o material finalizado, a fim de identificar possíveis lacunas no entendimento do modelo e promover uma compreensão mais aprofundada dos conceitos apresentados.

Dessa forma, o pesquisador interagiu com os estudantes da seguinte forma,

P - "Você consegue identificar o sentido da seta, E1?"

E1 - "Sim. [...] ela tá no sentido anti-horário"

P - "Isso! [...] Sabendo o sentido dessas setas, qual o sentido do campo aplicado?"

E3 - "Está para baixo."

E1 - "Pera aí, o polegar aponta no sentido da corrente e os dedos no sentido do campo, então o campo tá para cima."

P - "O campo gerado está para cima, que tem que contrariar o campo aplicado..."

E1 [Interrompe dizendo] - "Que está para baixo."

P - "Isso, perfeito!"

Essa interação destaca a importância das discussões realizadas acerca da regra da mão direita, onde tanto E1 quanto E3 conseguiram identificar de forma rápida a direção do campo magnético aplicado. Evidenciando, também, a eficácia de maquetes tátil-visuais para alcançar modelos que estão de acordo com a proposta do desenho universal.

Em seguida E1 comenta sobre a confecção final da maquete:

E1 - "[...] Ficou legal, dá para sentir as linhas, as setas e até colocar a mão por dentro, seria difícil se tivesse linhas em todo lugar"

Esse comentário evidencia a importância de considerar as sugestões de estudantes com deficiência visual durante a confecção das maquetes. Aspectos que poderiam passar despercebidos por pessoas videntes, como a dificuldade em identificar e compreender o material devido ao excesso de elementos tridimensionais, foram percebidos e solucionados com o auxílio de E1. Assim, essa interação demonstra uma verdadeira inclusão de E1 no tema central do trabalho, supercondutividade, bem como a relevância de sua participação ativa na criação do material.

Diferentemente de modelos feitos exclusivamente por videntes tentando considerar as necessidades de pessoas com deficiência visual, estas maquetes foram desenvolvidas em colaboração direta com um estudante com deficiência visual. Esse envolvimento permitiu que as perspectivas e experiências de E1 fossem incluídas no processo, resultando em um material mais inclusivo e adequado às suas necessidades.

5.4 MOMENTO 4 - SUPERCONDUTOR COM PENETRAÇÃO DE CAMPO

Para a montagem do modelo de supercondutor com penetração de campo, os alunos presentes foram E1 e E3.

Conforme previamente acordado, o pesquisador levou os materiais necessários para a confecção da maquete. Foram utilizados um cilindro de isopor para representar o supercondutor; duas placas de MDF como suporte e para fixação das linhas de campo; barbante grosso para representar as linhas de campo magnético; e tubos de papelão para servir de apoio entre as placas de MDF.

Nesta maquete, optou-se pelo uso de barbantes mais grossos para representar um campo magnético aplicado de maior intensidade, justificando, assim, a penetração no interior do supercondutor. Essa escolha reflete o fenômeno da penetração de campo magnético no interior de supercondutores, conhecido como vórtices, que ocorre apenas sob a influência de campos magnéticos suficientemente intensos.

Para verificar se os estudantes recordavam das discussões passadas o pesquisador indagou-os.

P - "Qual a diferença da lei de Faraday e do efeito Meissner?"

- silêncio -

Nesse momento, o pesquisador percebeu que o silêncio não era decorrente do desconhecimento do tema, mas sim de uma insegurança em verbalizar a resposta. Ao relembrar os conceitos da lei de Faraday e explicar por que esta não pode ser associada diretamente à blindagem do campo magnético aplicado em supercondutores, os estudantes acenaram afirmativamente com a cabeça, demonstrando que, apesar da hesitação inicial, o conhecimento já havia sido adquirido.

Para a explicação da lei de Faraday, nesse contexto, o pesquisador utilizou a maquete já finalizada do ímã de barra. O pesquisador, portanto, pediu para que E1 segurasse o ímã com uma das mãos e colocasse a outra mão na frente do ímã, assim o pesquisador movimentou o ímã aproximando e afastando da mão de E1 e questionou.

P - "Vocês percebem que quando eu aproximo o ímã da mão de E1, mais linhas de campo a atravessariam, pensando na maquete, mais arames atravessariam a mão de E1?"

E1 e E3 - "Sim." [E1 aproximou a maquete de seu olho esquerdo]

P - "E quando eu afasto o ímã, menos arames atravessam?"

E1 e E3 - "Sim." [E1 novamente aproxima a maquete de seu olho esquerdo]

Essa interação evidencia a forma como E1 utiliza sua visão residual no olho esquerdo para observar detalhes e complementar sua compreensão tátil das explicações. Sua estratégia de aproximação da maquete reflete a importância de abordagens multissensoriais no ensino de conceitos abstratos, permitindo que diferentes percepções contribuam para a construção do conhecimento.

Dessa forma, utilizando o ímã já construído, o pesquisador pode explicar novamente a lei de Faraday e o motivo pelo qual ela não se aplica aos supercondutores.

Esse episódio reforça a importância de estratégias pedagógicas que não apenas transmitam o conteúdo uma única vez, mas sim que exponha os estudantes ao conteúdo múltiplas vezes, fortalecendo os conhecimentos obtidos e sanando dúvidas decorrente de encontros anteriores.

Nesse sentido, o desenho universal também se enquadra como ferramenta para inclusão, pois o pesquisador busca adaptar diversas vezes a forma de ensino e transmissão do conteúdo, para abordar tanto as dificuldades de E1 quanto as de E3.

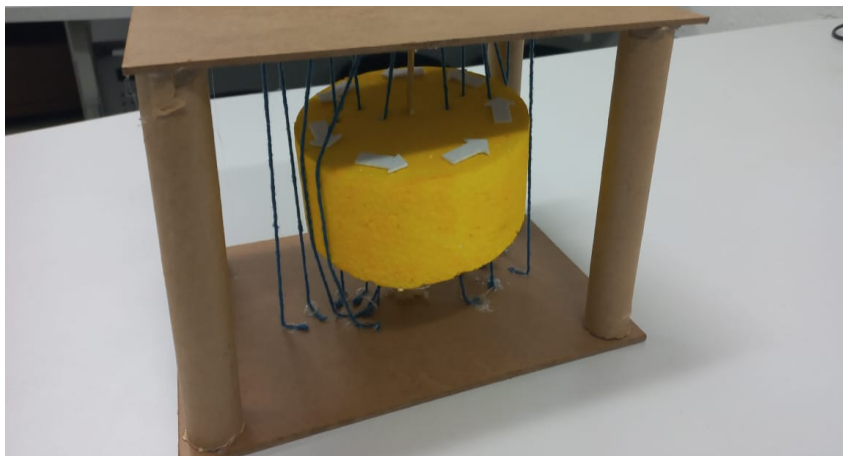
Ademais, neste dia, houve uma maior concentração na finalização da maquete do que nas discussões físicas relacionadas a ela. Essa abordagem focada permitiu que a construção do material fosse concluída rapidamente, possibilitando sua aplicação imediata ao estudante E1.

Essa dinâmica reflete uma etapa importante do processo de desenvolvimento de materiais pedagógicos inclusivos, em que o foco na execução prática é igualmente relevante para garantir a funcionalidade do recurso. A celeridade na conclusão também permitiu avaliar a maquete em tempo hábil, obtendo um retorno direto de E1, essencial para ajustes finais.

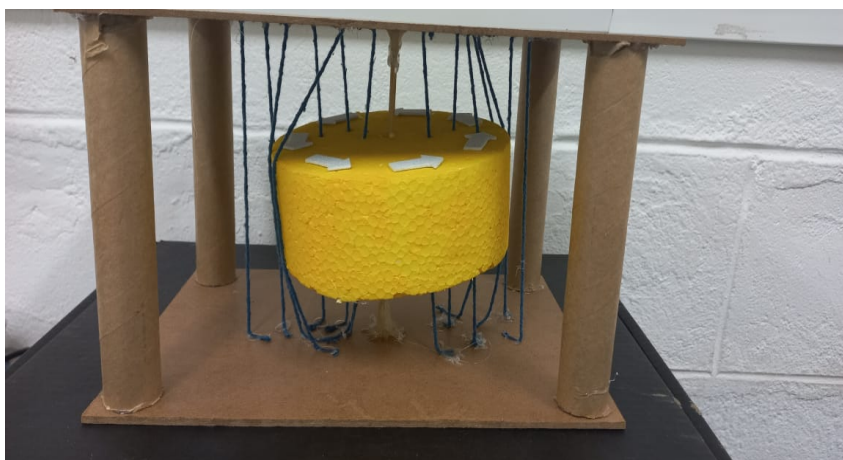
Dessa forma, o resultado final da maquete com penetração de vórtices pode ser visto na Figura 14. Ela apresenta o isopor representando o supercondutor, o barbante mais grosso representando um campo magnético mais intenso, onde seguindo o exposto por E1 na construção da maquete sem penetração de campo, os barbantes foram posicionados de forma quase coplanar, e as setas feitas de papel EVA indicando o sentido da corrente de blindagem, assim, utilizando a regra da mão direita, pode-se identificar o sentido da aplicação do campo magnético.

Figura 14 – Confecção final da maquete tátil-visual referente ao estado misto, i.e., a maquete apresenta algumas linhas dentro do supercondutor. Em (a) e (b) apresenta uma visão frontal e superior da maquete, percebe-se que os barbantes que representam as linhas de campo estão contornando o isopor que representa o supercondutor, mas há, em pequena quantidade, linhas de campo que passam pelo interior do supercondutor, já em (c) apresenta uma visão lateral da maquete, nota-se também setas feitas de papel EVA para mostrar a direção da corrente de blindagem.

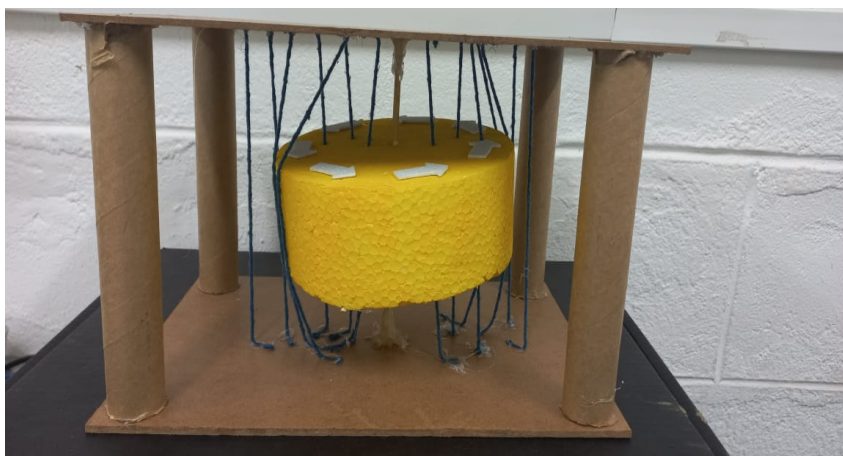
(a)



(b)



(c)



Fonte: Próprio autor.

Portanto, sobre o resultado final, E1 diz:

E1 - "[...] Ficou bom em quantidade e o barbante mais grosso consigo sentir bem."

P - "Você consegue identificar os barbantes que passam por dentro e o que eles representam?"

E1 - "Sim. É que nesse tipo de supercondutor ele deixa passar um campo por dentro. [...] Ele deixa passar esse campo antes de retornar para o estado normal"

P - "E você consegue perceber que as linhas se curvam do lado do supercondutor?"

E1 - "Sim, dá para perceber. É assim que elas contornam o supercondutor mesmo, que legal, agora eu entendi."

P - "E as setas, você consegue identificá-las?"

E1 - "Sim. Está nessa direção [usando a mão direita para apontar o sentido da corrente]. Formando um campo para cima, então o campo aplicado está para baixo."

P - "Ótimo, perfeito. Você lembra a diferença do tipo 1 e do tipo 2?"

E1 - "Esse aqui⁷ vai retornar para o estado normal de uma vez e aguenta campos mais fracos e esse aqui⁸ vai retornando para o estado normal aos poucos, ele deixa penetrar uma parte do campo magnético até voltar para o estado normal."

A interação demonstra como o desenho universal aplicado às maquetes facilita não apenas na identificação das características físicas representadas, mas também o aprofundamento conceitual de E1 sobre os supercondutores gerando uma inclusão de E1 na supercondutividade. A utilização de materiais tátil-visuais bem projetados, como barbantes de espessura diferenciada, possibilita ao estudante a percepção clara das diferenças entre os dois tipos de maquete.

Além disso, as perguntas direcionadas do pesquisador proporcionaram um ambiente de reflexão ativa, no qual E1 não apenas identificou as propriedades físicas, como também conectou essas características a conceitos teóricos já discutidos. O uso de terminologia específica e a ênfase na manipulação prática do modelo reforçaram a aprendizagem inclusiva, evidenciando a efetividade da abordagem colaborativa.

O comentário de E1 sobre as linhas de campo que "contornam o supercondutor" revela o potencial da maquete em construir representações mentais precisas, algo essencial para a compreensão de fenômenos complexos como o estado supercondutores (estado Meissner e estado misto). Isso pode revelar um significado vinculado, pois E1 vinculou os significados da expulsão/exclusão do campo do interior de um supercondutor com o sentido tátil. Ademais, ao apontar o sentido da corrente com a mão direita, E1 demonstra uma internalização do conceito da regra da mão direita, associando corretamente as setas representativas às correntes de blindagem.

Por fim, a distinção feita por E1 entre os supercondutores de tipos 1 e 2 evidencia um avanço conceitual, pois ele reconhece que a capacidade de suportar campos magnéticos mais intensos é uma característica chave do tipo 2, que permite a penetração parcial do campo magnético em

⁷ Referência a maquete sem penetração de campo

⁸ Referência a maquete com penetração de campo

forma de vórtices antes de perder a supercondutividade. Isso reforça o sucesso do material em abordar e esclarecer os conceitos de maneira significativa e acessível.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confecção de maquetes que representam fenômenos característicos da supercondutividade revelou-se uma abordagem eficaz para o ensino de pessoas com deficiência visual. Quando associada aos princípios do desenho universal e à promoção da inclusão, essa ferramenta demonstra grande potencial para incluir a participação de pessoas com deficiência visual em áreas da física que demandam conhecimentos mais específicos.

Nesse contexto, ressalta-se a importância da participação ativa de estudantes com deficiência visual no processo de elaboração das maquetes. Essa participação dos estudantes desde o início do processo reforçou o caráter inclusivo da pesquisa, permitindo que o material pedagógico final fosse sensível às diferentes formas de interação e compreensão dos conceitos abordados. Essa colaboração não apenas permite atender às suas necessidades e anseios, mas também amplia a compreensão de pessoas videntes sobre as demandas específicas desse público.

Outro importante fator para a pesquisa foi a utilização do desenho universal na confecção do material, onde a escolha de materiais e o formato das maquetes foram cuidadosamente pensados para promover uma experiência tátil rica e inclusiva, atendendo às necessidades específicas dos participantes. Essa atenção aos detalhes demonstra o comprometimento em tornar o material acessível e didático, alinhando-se aos princípios do desenho universal e ao objetivo de promover uma aprendizagem para todos os participantes.

A linguagem utilizada pelo pesquisador também desempenhou um papel essencial na transmissão dos conhecimentos. A estrutura empírica da linguagem adotada foi, predominantemente, tátil-auditiva interdependente, auditiva fundamental ou auditiva e visual independentes, conforme descrito por Camargo (2016). Esse cuidado na escolha da linguagem possibilitou que o estudante com deficiência visual compreendesse e participasse ativamente das discussões realizadas. A adoção de estruturas inadequadas poderiam gerar confusão para esse estudante, comprometendo seu entendimento.

Apesar disso, o estudante E1 demonstrou o uso de uma estrutura empírica de linguagem fundamentalmente visual, empregando expressões como "aqui", "ali" e "daqui para cá". Esse comportamento sugere que E1 possuía uma familiaridade significativa com esse tipo de linguagem, possivelmente adquirida por meio de interações em ambientes predominantemente compostos por videntes, como o contexto da pesquisa, onde todos os outros participantes eram videntes.

Embora E1 tenha utilizado essa forma de linguagem, é fundamental que profissionais que atuam com estudantes com deficiência visual tenham cautela ao empregar estruturas visuais, pois isso pode levar ao surgimento de concepções alternativas e dificultar o entendimento pleno dos conceitos ensinados. Tal prática pode resultar em lacunas de conhecimento entre estudantes videntes e não videntes, potencialmente desmotivando estes últimos a se aprofundarem no estudo de ciências. Assim, a escolha cuidadosa da linguagem é crucial para promover uma educação

inclusiva e equitativa.

Portanto, evidenciou-se que uma pessoa com deficiência visual pode acessar conhecimentos sobre supercondutividade por meio do uso dessas maquetes multissensoriais, que transformam representações exclusivamente visuais, como as presentes em vídeos e imagens, em representações tátil-visuais. Baseadas no conceito de desenho universal, essas maquetes permitem que tanto pessoas videntes quanto não videntes tenham acesso equitativo a esse conhecimento, promovendo uma inclusão.

Dessa forma, abre-se caminho para o desenvolvimento de outros trabalhos que promovam a inclusão de estudantes com deficiência visual em outras áreas da física da matéria condensada. Utilizando o conceito de desenho universal e explorando diferentes formas de maquetes, pode-se criar recursos pedagógicos que favoreçam a inclusão desses estudantes, permitindo que eles tenham acesso aos conceitos fundamentais necessários.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Decreto Nº 3.298, de 20 de Dezembro de 1999**. Brasília, DF: [s.n.], 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3298.htm.
- BRASIL. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência**. Brasília, DF: [s.n.], 2015. Publicada em 6 de julho de 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm.
- BRASIL. **Decreto Nº 10.654, de 22 de Março de 2021**. Brasília, DF: [s.n.], 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10654.htm.
- CAMARGO, E. **Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física**. [S.l.]: Editora Unesp, 2012.
- CAMARGO, E. **Inclusão e necessidade especial: compreendendo identidade e diferença por meio do ensino de física e da deficiência visual**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.
- FERREIRA, D. da S.; CAMARGO, E. P. de; SANTOS, J. A. dos. **A didática multissensorial das ciências como metodologia para o ensino de física e a inclusão de pessoas com deficiência**. *Anais do sciencult*, v. 3, n. 1, p. 49–55, 2012.
- GINZBURG, V. L.; ANDRYUSHIN, E. A. **Superconductivity (Revised Edition)**. Russia: World Scientific, 2004.
- HAN, H.-S.; KIM, D.-S. Magnetic levitation. **Springer Tracts on Transportation and Traffic**. Springer Netherlands, Springer, New York, USA, v. 247, 2016.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. *Em Aberto*, v. 5, n. 31, 1986.
- OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. **Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio**. Porto Alegre, RS: Instituto de Física–UFRGS, 1998.
- POOLE, C. et al. **Superconductivity**. 2. ed. Estados Unidos: Academic Press, 2007.
- SANTOS, A. L. d. et al. Experimento demonstrativo de levitação supercondutora: Ferramenta para problematização de conceitos físicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, Ilha Solteira - SP, v. 37, n. 2, p. 2505–1, 2015.
- TINKHAM, M. **Introduction to superconductivity**. Estados Unidos: Courier Corporation, 2004.