

ABORDAGEM DO FENÔMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Daniel Gomes da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Polo-4 no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Na linha de pesquisa: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva

MANAUS
2022

ABORDAGEM DO FENÔMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Daniel Gomes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva (Presidente) Instituto
Federal do Amazonas – IFAM

Prof. Dr. Igor Tavares Padilha (Membro titular)
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Profa. Dra. Maud Rejane de Castro e Souza (Membro
externo) Universidade do Estado do Amazonas - UEA

MANAUS
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Biblioteca IFAM – Campus Manaus Centro

S586a Silva, Daniel Gomes da.

Abordagem do fenômeno da supercondutividade na educação básica /
Daniel Gomes da Silva. – Manaus, 2022.

78 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas,
Campus Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva.

1. Física – ensino. 2. Supercondutividade. 3. Pixton. 4. Educação
básica. I. Silva, Marcio Gomes da. (Orient.) II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal
do Amazonas. IV. Título.

CDD 530

Elaborado por Márcia Auzier - CRB 11/597

*Dedico este trabalho à Memória do meu
amigo Erivonaldo Nunes de Oliveira.*

Agradecimentos

À minha esposa Nara por me acompanhar nesta jornada difícil.

Às minhas irmãs Ramas e Daniele, por me incentivarem a sempre estudar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva pela paciência e dedicação a este trabalho.

Aos professores do MNPEF polo 04 IFAM/UFAM, pelos ensinamentos que me proporcionaram uma visão clara dos meus objetivos e metas para esta dissertação.

Aos meus colegas de mestrado, Edézio Souza e Diego Garcia, pelas orientações e conversas que contribuíram no percurso desta jornada.

Ao meu filho Fernando César e seu amigo Rafael da Silva, pelo desenvolvimento dos desenhos para a construção da história em quadrinhos.

À minha amiga Erismar Nunes de Oliveira, por suas orientações científicas, conselhos e incentivo a conclusão de mais esta etapa em minha vida acadêmica.

À minha amiga Olivia Moreira Pereira, por seus conselhos e incentivo a conclusão de mais esta etapa em minha vida acadêmica.

À professora Dra. Maud Souza, pelas orientações e pelos conselhos, tanto na minha primeira dissertação, quanto nesta segunda dissertação.

Ao meu amigo Ricardo Corrêa da Costa, por acreditar no meu trabalho e pelos ensinamentos que levarei para vida.

À minha amiga Luciana Ferreira, pelas conversas e orientações técnicas.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram de alguma forma.

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

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	As cinco regras da Transposição Didática.....	19
Quadro 02	Sequência dos tópicos e respectivos capítulos.....	49
Quadro 03	Descrição dos níveis de classificação.....	59
Quadro 04	Opinião dos participantes sobre o uso das HQs no ensino da Física.....	67
Quadro 05	Opinião dos participantes sobre a introdução dos conceitos de supercondutividade.....	68
Quadro 06	Visão geral dos participantes sobre o Produto Educacional.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Relação Nível x Resposta do questionário 1.....	62
Gráfico 02	Relação Nível x Resposta do questionário 2.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Mapa mental com os principais tópicos abordados na HQ.....	24
Figura 02	Elementos supercondutores.....	28
Figura 03	Comportamento da resistência do mercúrio.....	29
Figura 04	Pares de Cooper.....	34
Figura 05	Efeito colchão.....	35
Figura 06	Campos críticos para materiais (a) do tipo I e (b) do tipo II.....	37
Figura 07	A evolução cronológica do recorde de T_c dos materiais supercondutores.....	38
Figura 08	Magnetoencefalografia (MEG).....	40
Figura 09	Experimento Atlas do LHC.....	41
Figura 10	Levitação a partir do efeito Meissner-Ochsenfeld.....	42
Figura 11	Página inicial do Pixton.....	50
Figura 12	Página para criação da conta no Pixton.....	51
Figura 13	Turma genérica com os respectivos avatares dos personagens.....	51
Figura 14	Características que podem ser modificadas no avatar.....	52
Figura 15	Avatares finalizados dos personagens Nando e Rafa, respectivamente.....	53
Figura 16	Páginas para montagem da HQ.....	54
Figura 17	Roteiro dos encontros na intervenção.....	55
Figura 18	Elementos constitutivos do produto educacional.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Alguns metais supercondutores do tipo I.....	36
Tabela 02	Principais aplicações tecnológicas com materiais supercondutores.....	39
Tabela 03	Relação Nível x Respostas do questionário 1.....	60
Tabela 04	Relação Nível x Respostas do questionário 2.....	61

“Se a Mecânica Quântica não te assustou, então
você não a entendeu ainda.” Niels Bohr (1885-
1962)

RESUMO

ABORDAGEM DO FENÔMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Daniel Gomes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Nacional Profissional de ensino de Física (MNPEF), polo-4, UFAM/IFAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em ensino de Física.

A presente dissertação consiste na criação e proposta de utilização de um produto educacional em forma de história em quadrinho – HQ para auxiliar os professores de Física na introdução dos conceitos da supercondutividade com os alunos do ensino médio. A referida HQ é de nossa autoria consistindo em um e-book intitulado “Aprendendo sobre supercondutividade com o Nando”. Ela retrata a aprendizagem de Fernando, um aluno do ensino médio, referente ao fenômeno da supercondutividade e o apoio dos seus professores de Física em auxiliá-lo nesse percurso. O enredo foi todo construído a partir do software on line Pixton. Salientamos que esse produto educacional pode ser utilizado como um meio auxiliar para as aulas que discorrem sobre este assunto, além do mais sendo um meio alternativo para tratar o tema visto os altos custos de uma abordagem experimental. O produto educacional foi submetido a uma pesquisa cujo enfoque pode ser caracterizado por qualitativo, exploratório e descritivo. Examinou-se as possibilidades da aprendizagem do tema a partir da interação com o e-book proposto. Frisa-se que este produto educacional foi aplicado em tempos de pandemia da COVID-19 de forma remota com atividades síncronas e assíncronas. Os resultados dos dados foram analisados e discutidos nesta dissertação. A conclusão é a de que a aprendizagem do fenômeno da supercondutividade pode ser mediada pelo uso das histórias em quadrinhos.

Palavras Chaves: Supercondutividade, História em Quadrinhos, Pixton.

ABSTRACT

APPROACH OF THE SUPERCONDUCTIVITY PHENOMENON IN BASIC EDUCATION

Master's Dissertation submitted to the Post-Graduate Program in the National Professional Master's Course in Physics Education (MNPEF), polo-4, UFAM / IFAM, as part of the necessary requirements to apply for the Master's Degree in Physics Teaching.

The present dissertation consists of the creation and proposal of using an educational product in the form of a comic book - HQ to help Physics teachers in the introduction of the concepts of superconductivity with high school students. The aforementioned HQ is our authorship consisting of an e-book entitled "Learning about superconductivity with Nando". It portrays the learning of Fernando, a high school student, regarding the phenomenon of superconductivity and the support of his Physics teachers in helping him along this path. The plot was all built from the Pixton online software. We emphasize that this educational product can be used as an auxiliary means for classes that deal with this subject, in addition to being an alternative way to deal with the subject given the high costs of an experimental approach. The educational product was submitted to a research whose focus can be characterized by qualitative, exploratory and descriptive. The possibilities of learning the theme from the interaction with the proposed e-book were examined. It should be noted that this educational product was applied in times of the COVID-19 pandemic remotely with synchronous and asynchronous activities. The data results were analyzed and discussed in this dissertation. The conclusion is that the learning of the phenomenon of superconductivity can be mediated by the use of comic books.

Keywords: Superconductivity, comics, Pixton.

Sumário

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 2: PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	18
2.1 Teoria da transposição didática de Yves Chevallard	18
2.2 Aprendizagem significativa de David Ausubel	20
2.3 Modelos mentais de Jonhson-Laird	22
2.4 Sequência Didática	25
2.5 Principais ideias sobre a supercondutividade	26
2.5.1 Descoberta do fenômeno da Supercondutividade.....	26
2.5.2 O Supercondutor	26
2.5.3 As propriedades do estado supercondutor	27
2.5.4 Teorias da Supercondutividade.....	30
2.5.5 Supercondutores tipo I e tipo II	35
2.5.6 Principais Aplicações.....	38
CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	43
3.1 Sobre os Participantes.....	43
3.2 Os instrumentos da pesquisa	44
3.3 O IFAM em meio a Pandemia do COVID-19	45
3.4 Sequência didática do Produto Educacional e a Intervenção	47
3.4.1 Descrevendo o Pixton.....	50
3.4.2 Construção do seu Avatar	52
3.4.3 A História em Quadrinhos	53
3.5 Etapas da Intervenção.....	54
3.6 Coleta e Análise dos dados.....	57
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	65
CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO INICIAL V1.2 – 2021	76
APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO FINAL V2.0 - 2021	77
APÊNDICE C: PRODUTO EDUCACIONAL (FINALIZADO)- 2022	78

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

É notório o consenso entre os professores de Física a respeito da necessidade de introduzir cada vez mais os conteúdos da Física Moderna e Contemporânea - FMC para os alunos da educação básica (BANDEIRA, 2017).

Tópicos relativos às descobertas do final do século XIX, início do século XX, carecem de entendimento por parte dos jovens, possibilitando a eles um posicionamento crítico desses futuros cidadãos em relações as tecnologias como: Câmeras de visão noturna, GPS, materiais supercondutores, principalmente. Todas essas tecnologias possuem em comum o suporte teórico oriundo da FMC.

De fato, com o avanço cada vez maior da tecnologia no nosso dia a dia justifica-se o fato da inserção desses assuntos, principalmente, aos discentes do ensino médio. Tópicos que precisam ser introduzidos para o entendimento substancial dos alunos pois tais conteúdos dizem respeito ao modo de vida moderno e não para serem apresentados como meras curiosidades. Apesar de tal importância e tendo sido consolidada há mais de um século, a FMC vem ganhando destaque nas discussões sobre como deve ser inseridos seus conteúdos na educação básica apenas nos últimos anos. (BANDEIRA, 2017).

Como professor da disciplina de Física para o ensino médio e Nível Superior pude acompanhar de perto essa realidade e por isso tive a motivação necessária para ingressar no Programa do Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física -MNPEF, polo 4 IFAM/UFAM. Após conversa com meu orientador, ficou evidente que a principal justificativa para tal preocupação reside no fato de proporcionar subsídios teóricos para os alunos capacitando-os a ter um entendimento a cerca das atuais tecnologias.

Um dos tópicos da Física Moderna e Contemporânea - FMC que nos chama a atenção diz respeito ao fenômeno da supercondutividade. Porquanto a relevância desse assunto apresenta-se em tecnologias presente em equipamentos de ressonância magnética, úteis na área da medicina, fios supercondutores à temperatura crítica cada vez mais próximas à temperatura ambiente que poderão ser aplicados em sistemas elétricos (COSTA; PAVÃO, 2012).

Nessa perspectiva, começamos nossa pesquisa a partir da leitura de artigos

científicos e dissertações de Mestrado na área de ensino de Física. Com essa investigação, verificamos a necessidade de uma transposição didática como forma de adaptar o referido assunto à linguagem do aluno do ensino médio. Um dos principais aspectos da transposição didática diz respeito ao trabalho fundamental na transformação do saber acadêmico para o conhecimento que será aplicado ao discente, seja por meio de um livro didático, seja por um manual de um experimento (VIEIRA, 2014).

Por isso, nos sentimos motivados em desenvolver um material didático voltado para aplicação em sala de aula em forma de produto educacional que possa tornar potencialmente significativa a aprendizagem do fenômeno da supercondutividade e abarcando o entendimento de equipamentos desenvolvidos com materiais supercondutores. Nessa perspectiva há os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa de David Ausubel no que se refere ao conceito de material potencialmente significativo alinhado com a utilização dos mapas conceituais de Jonhson Laird.

Ademais, um artifício identificado por potencialmente significativo pode ser qualquer material instrucional, como um livro, um roteiro experimental, por exemplo se apresentar características como: bem organizado, estruturado, aprendível. Mas para tal recurso só será potencialmente significativo se além das virtudes elencadas, o aprendiz tiver conhecimentos prévios que lhe permitam dar significados aos conteúdos veiculados por esse material. Outro meio facilitador da aprendizagem são os mapas conceituais, consistindo de valiosos recursos instrucionais para apresentação de determinados tópicos (MOREIRA, 2017).

Além do mais, para contribuir com a motivação dos discentes, escolhemos o recurso didático visual da história em quadrinhos. Eles são uma importante forma para o ensino da Física, corroborada nas palavras de Pereira, ao afirmar:

A utilização de desenhos animados para o ensino de física é uma forma de motivar seus estudos nesta disciplina, pois além de fazer uso de uma linguagem verbal e não-verbal, mais próxima da utilizada pelo discente, considera o contexto sociocultural, o que lhes desperta o interesse, requisito necessário para que ocorra uma aprendizagem significativa (PEREIRA, 2015, p.7).

A partir das características desse veículo de comunicação em massa, acreditamos também que os conteúdos do fenômeno da supercondutividade podem ser apresentados aos alunos pelo viés da aprendizagem significativa. Além do mais, por tratar

uma diversidade de temas alinhados com uma abordagem artística, as histórias em quadrinhos divertem e influenciam as pessoas de todas as idades. Lembrando que o que é visto são conteúdos apresentados com uma linguagem de fácil compreensão (BARROS, 2015).

Como professores atentos ao comportamento dos alunos do século XXI, ficamos inclinados a admitir, como possibilidade viável, a inserção de conteúdos de Física para esse público alvo a partir das histórias em quadrinhos. Transpor conceitos físicos para uma linguagem simples no formato de história em quadrinhos consiste em um verdadeiro desafio, mas que pode proporcionar aos discentes uma alternativa para aprender sobre a supercondutividade. Essa ideia se justifica pelo fato de ser um recurso de baixo custo para os alunos.

Nesse contexto, apresentamos o respectivo problema científico, a saber:

É possível a aprendizagem significativa do fenômeno da supercondutividade a partir de uma abordagem alternativa e de baixo custo ?

Logo, a fim de contribuir com a disponibilidade de um material potencialmente significativo envolvendo esse tópico, elencamos os objetivos desta pesquisa:

Objetivo geral:

Criar um produto educacional em forma de História em Quadrinhos para auxiliar os professores de Física referente ao fenômeno da supercondutividade com a finalidade de facilitar a aprendizagem dos alunos do ensino médio.

Objetivos específicos:

1. Realizar o Estado da Arte sobre o fenômeno da Supercondutividade e da viabilidade das Histórias em Quadrinhos para a aprendizagem da Física;
2. Introduzir os conceitos de supercondutividade para os alunos do ensino médio;
3. Apresentar o tópico de supercondutividade aos alunos do ensino médio com o intuito de facilitar seu aprendizado.

Ao final de nosso processo de investigação pretendemos responder aos seguintes questionamentos:

- O uso das histórias em quadrinhos em formato de *e-book* contribuem para o aprendizado da Física?
- É possível introduzir conceitos de supercondutividade pelo viés das histórias em quadrinhos?
- Qual a visão dos alunos diante deste produto educacional?

Esta dissertação segue com estes capítulos:

No capítulo 2, são apresentados os pressupostos teóricos que sustentam a presente pesquisa extraídos do Estado da Arte no período de 2010 a 2020. Comentamos sobre as ideias principais acerca do fenômeno da supercondutividade desde de sua descoberta em 1911 por Heike Kamerlingh Onnes até as atuais pesquisas.

Ainda nesse capítulo, discorremos sobre as ideias gerais da transposição didática de Yves Chevallard. Trazemos as ideias de autores da área de ensino de Física que defendem o uso das histórias em quadrinhos na sala de aula. Em seguida falamos brevemente sobre os conceitos principais da aprendizagem significativa de David Ausubel, destacando o conceito do material didático potencialmente significativo.

No capítulo 3, apresentamos a metodologia aplicada, identificando o desenho, os instrumentos, expondo o delineamento do enfoque qualitativo pelo viés exploratório e descritivo, coleta e análise dos dados.

No capítulo 4, relatamos as principais contribuições oriunda da participação dos alunos e a interação como o produto educacional desenvolvido a apartir desta pesquisa. Apresentamos as vantagens, desvantagens, limites e abrangência do presente trabalho.

No capítulo 5, finalizamos com nossas considerações finais acerca da presente pesquisa.

CAPÍTULO 2: PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

2.1 Teoria da transposição didática de Yves Chevallard

Com o intuito de viabilizar uma maneira de tornar o conteúdo e introdução dos principais conceitos atinentes ao fenômeno da supercondutividade para os alunos do ensino médio, lançamos mão da teoria da transposição didática - TD de Yves Chevallard.

Nesse contexto, (VIEIRA, 2014), descreve o que de fato é a TD ao afirmar:

A Transposição Didática (TD) é um instrumento que permite entender como um conhecimento - objeto do saber - desenvolvido no cerne da comunidade científica - o saber sábio - é escolhido para fazer parte dos currículos, manuais de ensino, livros didáticos, entre outros, agora chamado de saber a ensinar e por fim torna-se aquele ensinado em sala de aula, o saber ensinado (VIEIRA, 2014, p.20).

Diante do exposto, destoamos a importância de um conjunto de regramentos que proporcionam uma facilitação ao entendimento dos alunos quais são: o saber ensinado, no que diz respeito aos conhecimentos; o objeto do saber produzidos na comunidade científica e o saber sábio, oriundo da comunidade científica. A TD apresenta-se como uma ferramenta com essas características. Além do mais, ela pode estar presente no currículo, nas salas de aulas, no livro didático, sempre levando em consideração uma maneira de tornar o entendimento dos alunos mais palatável.

Logo, ela pode ser um poderoso recurso pedagógico para diluir a pesquisa científica na educação básica, no que se refere ao ensino da Física. Para tanto, a figura do professor passa a ser peça fundamental, pois ele é o personagem intelectual capacitado com o embasamento teórico e prático direcionados para a sala de aula e o cotidiano dos discentes. De fato, a trajetória do conhecimento científico, da pesquisa científica de ponta à sala de aula, passa pela atuação do professor (GOMES, 2018a).

Um dos atributos mais importantes associadas à transposição didática, no nosso ponto de vista como professores da área de Física, reside no uso de uma linguagem exposta em forma de questões simples. É a partir dessa linguagem adequada que resulta na aproximação do discente com o conhecimento científico proveniente das pesquisas científicas. Como consequência temos a possibilidade da apreciação do público alvo (alunos da educação básica) da literatura científica.

Por conseguinte, antes de definirmos quais conceitos serão introduzidos para

os alunos, precisamos transpor essas ideias primeiramente e posteriormente dispô-los em forma de história em quadrinhos como forma de apresentá-los em uma linguagem familiar a eles. Com essa postura, a atualidade dessa abordagem vai ao encontro da realidade familiar dos alunos, pois muitos deles passam tempo assistindo desenhos animados, lendo histórias em quadrinhos seja em forma de livretos ou mesmo *on line* (PAIVA, 2015).

Entretanto, para que a transposição didática seja relevante ao aprendizado dos alunos, há algumas regras que precisam ser levadas em consideração pelo professor na hora de transpor o conteúdo para sala de aula. Nesse sentido, elencamos 5 (cinco) regras das TDs que justificam sua aplicação na implementação de produtos educacionais, por exemplo. O quadro 01 resume as 5 regras que caracterizam uma transposição didática, sendo elas um referencial para a metodologia adotada por nós.

Quadro 01: As cinco regras da Transposição Didática

ORDEM	REGRA	RESUMO
1 ^a	Modernizar o saber escolar	“O Saber Sábio está em constante modernização, pois novos conhecimentos decorrentes de novas descobertas científicas e novas tecnologias são produzidos nessa esfera.”
2 ^a	Atualizar o Saber a Ensinar	“O conhecimento, em todas as esferas, está sempre em atualização, seja no sentido de adaptação, seja no sentido de novas metodologias.”
3 ^a	Articular saber “velho” com “saber” novo	“No processo de atualização, o saber a ser descartado deve guardar relação com o novo saber introduzido na esfera do Saber a Ensinar.”
4 ^a	Transformar um saber em exercícios e problemas	“O processo de avaliação dos conteúdos originados da transposição do Saber Sábio deve ser feito no sentido de se fazer uma avaliação formativa”
5 ^a	Tornar um conceito mais compreensível.	“A transposição didática tem a finalidade, ao final de todo o processo, de transformar o Saber Sábio em Saber Ensinado”

Fonte: Adaptado de: (SILVA, 2015, p. 28-30)

A partir desses regramentos, verificamos que a utilização de uma TD pressupõem preocupações voltadas para a modernização e atualidade com o que é produzido visando a compreensão. Relevante também mencionar a importância de

lançarmos mão de pressupostos teóricos consistentes com a realidade em sala de aula, no que diz respeito ao ensino da Física. Sabemos das dificuldades do professor em estimular os alunos para o aprendizado dela, pois muitas das vezes o aluno adentra à sala de aula com certa aversão aos conteúdos e muitas das vezes devido a demasiada importância dada a matemática em detrimento exercícios envolvendo a compreensão de conceitos, resolução de problemas do cotidiano, basicamente.

2.2 Aprendizagem significativa de David Ausubel

Além da apropriação dos fundamentos oriundos da Teoria da Transposição Didática de Yves Chevallard, lançamos mão das principais ideias depreendidas da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Ela é importante dentro do escopo do nosso produto educacional, pois possibilita a introdução dos conceitos gerais da supercondutividade fomentando os conhecimentos prévios dos alunos, consistente com o enredo da nossa história em quadrinhos. Nesse sentido, abordaremos conceitos introdutórios como: os condutores, os isolantes e os semicondutores, a distinção e as peculiaridades de cada um desses materiais, por exemplo.

Cabe salientar que a teoria da aprendizagem de David Ausubel, além de ser fundamentada no construtivismo e mais especificamente detentora do viés cognitivista, ela é uma teoria voltada para a sala de aula. Nessa perspectiva, ela pode auxiliar o professor, no sentido de ocupar-se na obtenção de conceito explícitos e formalizados, por isso ela tem como característica de ser uma abordagem pragmática. O ensino guiado pela aprendizagem significativa além de procurar descrever, via de regra, o que advém quando as pessoas organizam internamente sua compreensão para aprender (RODRIGUES; GHEDIN, 2005).

Para David Ausubel, aprendizagem pressupõe a ampliação do que ele denomina de “estrutura cognitiva” a partir do ganho de ideias novas. Evidenciamos com isso, o fato de que aprender vai além de memorizar fórmulas (aprendizado mecânico para Ausubel), ou a resposta a estímulos. Há, portanto, uma preocupação com o conhecimento que o aluno já traz para a sala de aula, ou seja, os conhecimentos prévios, certos ou errados são o ponto de partida para uma aprendizagem significativa.

Os conhecimentos prévios passam a ser, nas palavras de Rodrigues e Ghedin, (2005) os subconsores, ou seja:

Os subsunçores são também chamados de ideias âncoras que interagem com o novo conhecimento de forma significativa para derivar um novo conhecimento. Isso pressupõe que conhecer não é depositar informações, mas, educar cientificamente implica numa construção dialógica integradora da realidade (RODRIGUES; GHEDIN, 2005, p. 246).

Nesse caminhar, a aprendizagem significativa se distancia da aprendizagem mecânica, posto que esta visa apenas a memorização e pode ser facilmente esquecida, mas na aprendizagem significativa, o novo conhecimento interagem com a estrutura cognitiva do aluno, a partir das ideias âncoras. Porém, para que isso de fato ocorra, há a necessidade de se fazer uso de um conteúdo potencialmente significativo para o aluno. Além do mais, dois processos cognitivos se fazem necessário, a saber: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, fundamentos chaves na teoria Ausubeliana.

O primeiro processo cognitivo, orienta a respeito da necessidade de começar uma sequência de conteúdo a partir de conceitos mais gerais para, posteriormente, a inclusão progressiva de conceitos mais específicos. Em relação a reconciliação integradora, ela ocorre quando um conteúdo novo é introduzido e proporciona ao aluno discernimento para diferenciar similaridades e diferenças ao longo do processo de aprendizagem significativa. Isso pode ser feito, quando da introdução do conteúdo novo, o professor começa pelos conceitos básicos e ao longo do tempo, conceitos mais específicos vão sendo apresentados aos alunos (GRIEBELER, 2012).

Além desses fatores, para que ocorra a aprendizagem significativa, é de fundamental importância a motivação do aluno em querer aprender, ou em outras palavras: O indivíduo precisa está predisposto a aprender de maneira significativa. Por isso, não é suficiente que o conteúdo seja potencialmente significativo e que leve em considerações os dois processos cognitivos elencados acima, mais importante ainda é a motivação do discente em contribuir para seu próprio aprendizado (VIEIRA, 2014).

Nesse caminhar, reiteramos que a postura do aluno faz toda a diferença, pois cabe a ele relacionar de forma não literal e não arbitrária o novo conhecimento apresentado como potencialmente significativo. Tão importante quanto a figura ativa do aluno é o papel do professor nesse processo de aprendizagem significativa, porquanto o docente ao lançar mão de saber os conhecimentos prévios, abrangência e limites do aluno, ele pode direcionar o conteúdo da maneira mais eficiente ao aprendizado. Logo a predisposição do aluno em aprender não isenta o professor do seu papel de facilitar essa caminhada.

A partir dessas considerações gerais a respeito da aprendizagem significativa, nosso objetivo não foi o de esgotar o assunto, mas o de expor os principais elementos que a compõe e que servirão de subsídios para direcionar o desenvolvimento de nosso produto educacional.

2.3 Modelos mentais de Jonhson-Laird

Com o intuito de introduzir as principais ideias acerca do fenômeno da supercondutividade para os alunos do ensino médio, a partir de uma linguagem de fácil compreensão, lançamos mão de uma abordagem a partir dos modelos mentais de Jonhson-Laird. Essa postura se justifica, em virtude de sabemos que esse fenômeno é de natureza microscópica mas com implicações macroscópicas e, dada sua complexidade, ainda hoje instiga os pesquisadores. A propósito, as teorias que o descrevem não são suficientes para explicar o fenômeno exatamente.

Para o entendimento da importância dos modelos mentais para o ensino da Física, partimos da palavras de Moreira (2002), ao afirmar:

Johnson-Laird define modelos mentais como análogos estruturais de estados de coisas do mundo. São instrumentos de compreensão e inferência. Quando nos defrontamos com uma situação nova, construímos um modelo mental para entendê-la, descrevê-la e prever o que vai acontecer. Este modelo pode ser correto ou não (no sentido de que suas previsões não são corretas cientificamente), pode ser vago, confuso, incompleto, mas é, sobretudo, funcional para seus construtor e pode ser modificado recursivamente até atingir tal funcionalidade (MOREIRA, 2002, p.25).

Dentro do conjunto dos modelos mentais há os mapas conceituais que podem ser um poderoso recurso facilitador para a aprendizagem significativa. Nesse sentido ele também apresenta-se como uma alternativa às aulas de Física em situações concretas na sala de aula, seja presencial, seja em ambiente *on line*. Por isso, os mapas conceituais servem, entre outros, para organizar as ideias, os conceitos e conseqüentemente torna-se um facilitador para a construção do conhecimento.

Para Jonhson-Laird, há dois tipos de representações mentais: as analógicas e as proposicionais. A primeira diz respeito aos processos não individuais associados às imagens visuais ou mesmo auditivas oriunda dos sentidos. Em relação as representações proposicionais, essas por sua vez, são autônomas, ou seja, correspondem a uma linguagem espontânea definida de forma combinada ou abstrata. Ela pode admitir regras

de combinação e abstração em vários aspectos e conectadas a partir de símbolos (PAIVA, 2015).

A partir desses conceitos, depreendemos que os modelos mentais constituem uma representação que se forma na mente referente ao mundo real que está a nossa volta. Com isso, verificamos que o entendimento que temos sobre a realidade ao nosso redor não ocorre de maneira direta, contudo a partir de representações mentais que se formam em nossa mente e são construídas ao longo de nossas vidas. De fato, as representações mentais, que permeiam nossos pensamentos, são produtos indiretos do mundo exterior.

Nesse sentido, as representações mentais que contribuem para melhor compor os fenômenos físicos, no que tange, causa, consequência e descrição, destacamos os mapas conceituais. Eles são, como descrevem Moreira e Greca (2002, p.10) : “[...] *representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee*”. Por serem representações do mundo externo e com uma abordagem científica, podem ser representados com o auxílio de fórmulas matemáticas, ou mesmo verbais ou pictóricas, sendo portanto, análogas à realidade material.

Além do mais, se faz necessário destacar também que essas representações mentais e mais especificamente falando dos mapas conceituais, por serem construídas pelos indivíduos, não há a exigência de um mapa conceitual tecnicamente preciso. Logo, percebemos que eles são limitados por fatores como a abrangência de conhecimento que certo indivíduo traz a respeito de determinado assunto científico. Além do mais, seu nível de experiência prévia associadas a sistemas similares a respeito do tema faz toda a diferença.

A aprendizagem significativa dialoga com o uso das representações mentais, mapas mentais e/ou mapas conceituais. Como afirma Paiva (2015):

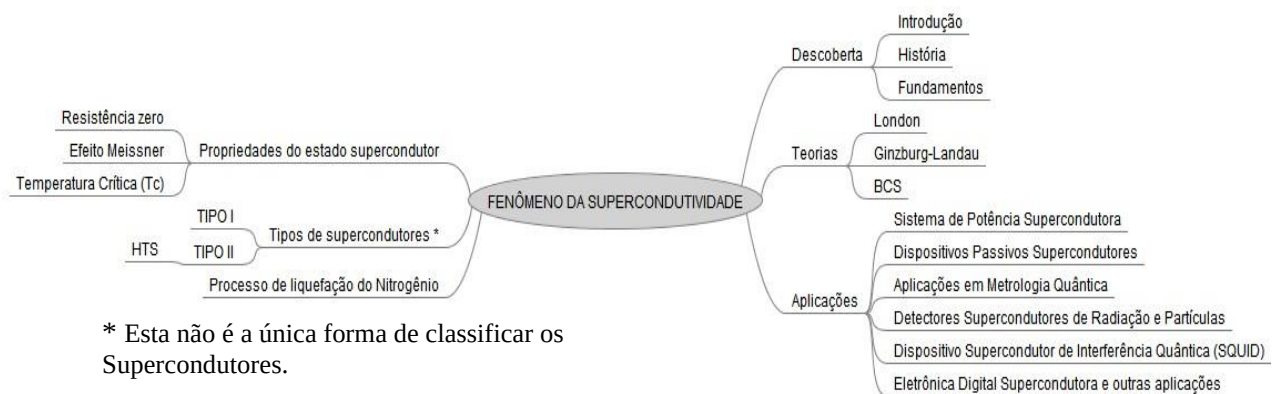
Na maioria das vezes, ensinamos nas escolas modelos conceituais, sendo que a aprendizagem significativa tem que passar pela construção de modelos mentais que dará significado ao modelo conceitual, que lhe foi ensinado (PAIVA, 2015, p.26).

Diante do exposto, uma maneira eficiente de promover a aprendizagem significativa e possibilitar uma construção de conhecimento que vai além da aprendizagem mecânica, seria a implementação de mapas conceituais. Outra vantagem que podemos

salientar reside na opção de expor o conteúdo estudado a partir de ideias gerais, conceitos, e não se limitando a explicações matemáticas e que muitas vezes criam uma aversão por parte dos alunos. Por isso, lançaremos mão da apresentação, na maioria da vezes, de partes dos conteúdos sobre o fenômeno da supercondutividade por meios de mapas mentais ou mesmo mapas conceituais.

Na figura 01, trazemos um mapa mental com o intuito de descrever os principais tópicos abordados no nosso produto educacional sobre o fenômeno estudado. Iniciamos comentando um pouco de história, presente no tópico descoberta; passamos para algumas propriedades do estado supercondutor como: resistência zero, efeito Meissner-Ochsenfeld e temperatura crítica; seguimos para a explicação resumida das teorias que descrevem a supercondutividade, para depois adentrarmos no tópico dos tipos de supercondutores. Aproveitamos o ensejo para comentar, em linhas gerais, o processo de liquefação do Nitrogênio e finalizamos com algumas aplicações tecnológicas com supercondutores.

Figura 01: Mapa mental com os principais tópicos abordados na HQ



Fonte: dos autores, (2021)

Ainda percorrendo acerca desse mapa, ele nos proporcionou clareza quanto aos elementos constitutivos de cada capítulo da HQ. Além do mais, ele reúne os principais conceitos, linha do tempo desde a descoberta até os dias atuais, principais teorias que descrevem os supercondutores do tipo I e II. Introduzimos também, conceitos atinentes a Criogenia, processo produtivo de liquefação do Nitrogênio e finalizamos com as principais aplicações atualmente.

2.4 Sequência Didática

A disposição organizada em etapas das aulas a partir de uma sequência didática, é um poderoso recurso para os professores de Física. Essa articulação vem se tornando recorrente no ensino da Física por ser considerada, pelos educadores, uma ótima proposta que visa, principalmente, proporcionar um planejamento mais eficiente no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos da Física. Em linhas gerais, uma sequência didática apresenta como características gerais a organização das atividades, a apresentação estruturada e a articulação entre elas (GOMES, 2018b; PINTO, 2018).

Esses subsídios foram fundamentais na disponibilização da sequência do conteúdo quando da nossa intervenção pedagógica, porquanto sua distribuição, como veremos no capítulo de metodologia, foi pensado para tornar a exposição do conteúdo o mais eficiente possível. Ademais, essa postura é coerente com as peculiaridades dos nossos alunos dentre as quais destacamos a curiosidade deles em relação ao estudo das ciências.

Ainda discorrendo sobre a distribuição do conteúdo das aulas a partir de uma sequência didática, Antoni Zabala nos informa:

[...] o parcelamento da prática educativa em diversos componentes tem certo grau de artificialidade, unicamente explicável pela dificuldade que representa encontrar um sistema interpretativo que permita, ao mesmo tempo, o estudo conjunto e interrelacionado de todas as variáveis que incidem nos processos educativos. Como tais, estes processos constituem uma realidade global que é totalmente evidente quando pensamos numa sequência de ensino/aprendizagem sem, por exemplo, ter definido o tipo de relações que se estabelece na aula entre professores e alunos [...] (ZABALA, 1998, p.53-54).

De fato, dessa citação depreendemos que a utilização da sequência didática possibilita uma maneira de sobrepor a complexidade oriunda do ambiente real, seja no conteúdo, seja na sala de aula, principalmente. Frisa-se também a viabilidade de dispor o ensino de diversas maneiras além dos formatos habituais de ensino, ou como classifica Zabala (1998, p.54) de “circuito didático dogmático”. Nessa esteira, as sequências didáticas atendem tanto aos formatos simples quanto aos formatos complexos, sendo o mais usual a partida do simples para os mais complexos.

Outro ponto digno de nota sobre esse recurso pedagógico diz respeito a sua articulação, dentre outras, com a aprendizagem significativa. Essa é uma premissa defendida nas palavras de Gomes (2018b, p.30) ao afirmar “a sequência didática deve estar

sustentada por uma teoria de aprendizagem que irá permitir ao educando construir saberes necessários para uma efetiva aprendizagem”. Logo, seguindo essa lógica, verificamos que há compatibilidade entre ela e a aprendizagem significativa aplicada na nossa proposta para o produto educacional em questão.

2.5 Principais ideias sobre a supercondutividade

2.5.1 Descoberta do fenômeno da Supercondutividade

O fenômeno da Supercondutividade foi descoberto pelo físico holandês Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926) em 1911, no laboratório da Universidade de Leyden, Holanda. Essa descoberta foi possível após Onnes aprimorar as técnicas de liquefação do Hélio e após realizar os estudos das propriedades elétricas do mercúrio. Pesquisando a resistividade elétrica desse material, ele percebeu que nas temperaturas abaixo de 4K (-269°C), o mercúrio perdia completa e repentinamente sua resistividade. A esse fenômeno ele batizou de supercondutividade (BARBOSA, 2016).

Onnes batizou de temperatura crítica (T_c), o valor abaixo da qual o sistema estudado situa-se em um estado supercondutor devido à ocorrência de uma transição de fase. Essas considerações iniciais, basicamente, marcam os primórdios dos estudos sobre o fenômeno da supercondutividade e que até hoje intrigam os cientistas dada sua importância para as tecnologias atuais e promesas futuras. Vale lembrar que pelas investigações das propriedades dos materiais a baixas temperaturas, Heike Kamerlingh Onnes foi agraciado com o prêmio Nobel no ano de 1913 (COSTA; PAVÃO, 2012).

Diante do exposto, descrevemos alguns tópicos principais acerca da supercondutividade e que serviu de subsídios para a composição do nosso produto educacional. Salientamos que a ideia principal é a de apresentar uma visão geral sobre o referido conteúdo adaptado à linguagem do aluno do ensino médio a partir de uma transposição didática. Os itens escolhidos são: o supercondutor, características gerais dos materiais Supercondutores, as propriedades do estado supercondutor, teoria BCS e algumas aplicações.

2.5.2 O Supercondutor

Os metais possuem a propriedade de diminuir sua resistividade elétrica a medida que sua temperatura diminui. Como afirmam Ostermann, Ferreira e Cavalcante (

1998, p.4): “ [...] a resistividade de um metal perfeitamente puro vai a zero quando a temperatura aproxima-se do zero absoluto uma vez que a única contribuição à resistividade seria aquela devido a vibrações térmicas [...] ”. Na prática, verifica-se que há uma certa resistividade residual devido as impurezas que os metais possuem além de imperfeições em sua estrutura cristalina e dessa forma resultam em um impedimento para a obtenção de resistividade zero nesses materiais.

Por outro lado, há materiais que apresentam um comportamento singular em relação aos metais. De fato, eles descrevem uma diminuição na resistividade a medida que são resfriados, mas quando sua temperatura diminui a valores próximos ao zero Kelvin, verificamos uma resistividade nula. Nessa condição, o material chega ao conhecido estado supercondutor e vale ressaltar que a resistividade nula não é a única propriedade que os materiais supercondutores apresentam como veremos mais adiante (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998).

Até a descoberta do estado supercondutor, os materiais eram classificados, em relação à resistividade elétrica como: isolantes elétricos, semicondutores e condutores. Os isolantes elétricos são materiais que apresentam uma oposição à passagem de corrente elétrica, que são essencialmente os elementos não metálicos da tabela periódica. Já os condutores são materiais que apresentam uma facilidade para a passagem da corrente elétrica como os cabos de eletricidade que são construídos principalmente por metais como o cobre e o alumínio. Os semicondutores são materiais que ora se comportam como isolantes, ora como condutores, é o caso dos materiais utilizados na construção dos diodos, transistores, circuitos integrados, exemplo silício e germânio.

2.5.3 As propriedades do estado supercondutor

O fenômeno da supercondutividade vem atraindo a atenção dos físicos até os dias de hoje e seus estudos apontam para um promissor caminho rumo à uma nova revolução tecnológica. O estado supercondutor apresenta diversas peculiaridades pelo qual a matéria se comporta. Nesta seção, descreveremos resumidamente duas características do estado supercondutor: A resistividade nula e o efeito Meissner-Ochsenfeld.

A resistividade nula é uma propriedade do estado supercondutor em que sua resistência elétrica é igual a zero quando esse material é submetido a uma determinada temperatura crítica (T_c) muito baixa. A temperatura crítica também é chamada de

temperatura de Transição, ela consiste na temperatura que todo material possui.

Figura 02: Elementos supercondutores. Na pressão ambiente (azul); Somente alta pressão (verde)¹

Diagrama da Tabela Periódica dos Elementos Químicos. Os elementos são coloridos de acordo com suas propriedades de supercondutividade: azul para pressão ambiente e verde para alta pressão. Elementos de transição e internos são destacados.

Legenda:

- Número atômico: 27
- Massa atômica: 58,9
- Símbolo: Co

Elementos de transição:

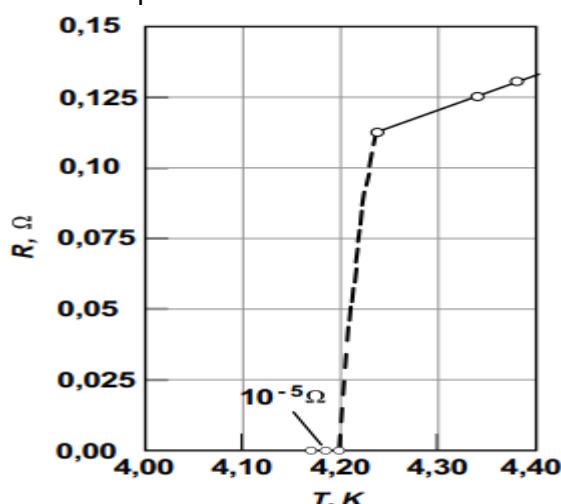
Elementos de transição interna:

Fonte: Adaptado de (KNIGHT, 2009, p.253).

São exemplo de metais que apresentam propriedades supercondutoras: chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Alumínio (Al) e Titânio (Ti), principalmente. Entretanto, nem todo metal apresenta características supercondutoras como o cobre (Cu) e o ouro (Au). A figura 01, mostra comportamento resistência elétrica do mercúrio em função temperatura obtida a partir dos estudos de Heike K. Onnes em 1911. Além dos metais, há uma variedade de ligas que apresentam propriedades supercondutoras (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998).

¹Superconductor.org, 2022. Disponível em: <http://www.superconductors.org/Type1.htm>. Acesso em 27 de Set. 2022.

Figura 03: Comportamento da resistência do mercúrio



Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2012, p.10)

Além da resistência nula, um material em estado de supercondutividade apresenta também a característica de ser diamagnético perfeito. A descoberta dessa propriedade é importante, pois a resistência nula não pressupõe diamagnetismo perfeito. Essa qualidade é conhecida por efeito Meissner, em homenagem ao seu descobridor, o físico alemão Walther Meissner, cuja descoberta foi realizada em parceria com Robert Ochenfeld no ano de 1933 (BARBOSA, 2016).

Frisa-se que a matéria apresenta as seguintes propriedades magnéticas: diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Visualizado em eletroímãs e imãs permanentes, cujas aplicações podem ser observadas no nosso cotidiano, a partir de solenóides seja em uma fechadura elétrica, seja eletroválvula de um sistema pneumático, por exemplo. Além do mais, a grande maioria associa o magnetismo em imãs permanentes, como aqueles objetos que são colocados nas paredes das geladeiras.

O magnetismo atômico está associado ao momento magnético intrínseco do elétron. Esta propriedade também é conhecida por *spin*, como uma concepção clássica, por isso podemos comparar um elétron a um imã microscópico. Por isso, em um material ferromagnético (ferro significa “parecido com o ferro”) os *spins* interagem entre si permitindo que todos os momentos magnéticos atômicos tendem a alinhar-se em uma mesma direção, sem a presença de um estímulo externo e formando um sólido denominado ferromagnético ou materiais ferromagnéticos (KNIGHT, 2009a).

Além disso, os materiais que se opõem fracamente a um estímulo externo, recebe o nome de diamagnético ou materiais diamagnéticos. No caso dos supercondutores,

há o que chamamos de diamagnetismo perfeito, posto que eles excluem todo o fluxo de seu interior. Já os materiais que respondem fracamente na direção do estímulo externo, são denominados de materiais paramagnéticos (EISBERG; RESNICK, 1979).

Considerando a indução magnética B (campo magnético presente dentro de uma amostra), definida por: $B = \mu H$, sendo μ a permeabilidade magnética do meio e H a intensidade do campo magnético externo (ou aplicado por um ímã, por exemplo). Um material para ser considerado diamagnético apresenta um valor de μ menor que μ_0 , ou seja, a permeabilidade magnética (μ) deve ser menor que a permeabilidade magnética do vácuo (μ_0). Em outras palavras a razão μ/μ_0 deve ser menor que um. Supondo $B = 0$, temos como consequência um $\mu = 0$, com isso, percebemos que um material supercondutor pode ser considerado como um material diamagnético perfeito (SOUZA, 2012).

Após a descoberta por Karmelines Ones, nenhum avanço sobre a supercondutividade havia ocorrido até a descoberta do efeito Meissner-Ochsenfeld. Esse efeito pode servir como um elemento motivador para os alunos, como afirma Aparecida e Souza (2012, p.15) : “O diamagnetismo perfeito é uma demonstração marcante, com um ímã levitando sobre um supercondutor imerso em nitrogênio líquido”. De fato, apesar da supercondutividade ser um fenômeno microscópico à luz da mecânica quântica, a experimentação da levitação magnética, efeito macroscópico, pode ser um recurso motivador para os alunos do ensino médio.

2.5.4 Teorias da Supercondutividade

Neste tópico, abordaremos resumidamente 3 (três) teorias que descrevem o fenômeno da supercondutividade. A primeira é conhecida por teoria de London, a segunda é a teoria de Ginsburg-Landau, ambas teorias classificadas como fenomenológicas. A próxima teoria apresentada neste trabalho é a teoria BCS, cuja finalidade foi a de preencher algumas lacunas presentes nas teorias anteriores. Ademais, enquanto as teorias de London e GL são fenomenológicas, ou seja, descrevem o que o experimento mostra baseado em argumentos, a teoria BCS é de primeiros princípios, ou seja, se baseia em um modelo microscópico para as interações fundamentais na tentativa de entendimento do fenômeno.

2.5.4.1 Teoria de London

A partir da descoberta do efeito Meissner-Ochsenfeld foi proposta a primeira explicação fenomenológica, em 1935, com o intuito de descrever esse fenômeno. Ela ficou conhecida por teoria de London e foi baseada nas equações de Maxwell do eletromagnetismo com o acréscimo de algumas conjecturas (argumentos fenomenológicos). Essa teoria é consistente com um modelo clássico que explica a ausência do campo magnético no interior do material supercondutor do tipo I mesmo com a presença de um campo magnético externo (PEREIRA; FÉLIX, 2013).

A teoria de London fundamenta-se no modelo de dois fluidos, cujo os responsáveis pelo fenômeno da supercondutividade são classificados como superelétrons (n_s) e os elétrons normais (n). Neste modelo, considera-se que apenas uma parcela dos elétrons de condução estão no estado supercondutor (COSTA; PAVÃO, 2012).

A primeira equação da teoria de London tem como premissa o modelo de Drude-Lorentz. Este modelo (equação 2.1) é similar a Lei de Newton considerando a velocidade $\mathbf{v}$ do elétron com massa m , carga e na presença de um campo elétrico $\mathbf{E}$ e levando em consideração um arrastamento viscoso $\mathbf{v}/\tau$ (ROMAGUERA, 2003).

$$m \left(\mathbf{v} + \frac{1}{\tau} \mathbf{v} \right) = e \mathbf{E} \quad (2.1)$$

Reescrevendo a equação 2.1, mas levando em consideração $\tau \rightarrow \infty$ e a introdução da densidade de corrente como sendo $\mathbf{J} = ne\mathbf{v}$ resulta:

$$\mathbf{J} = \frac{ne^2}{m} \mathbf{E} \quad (2.2)$$

Com a derivada da equação 2.2, resulta a 1ª equação de London (2.3). Essa, por sua vez, explica a propriedade da resistência nula dos supercondutores (SOUZA, 2012).

$$\frac{d}{dt} \mathbf{J} = \frac{ne^2}{m} \mathbf{E} \quad (2.3)$$

2.5.4.2 Teoria de Ginzburg-Landau

Os Físicos russos Vitaly Ginzburg e Lev Landau propuseram em 1950 uma teoria fenomenológica com a finalidade de explicar as propriedades de transição no estado supercondutor. Um ponto que distingue esta teoria daquela anterior (teoria de London), reside no fato de que esta usa fundamentos da mecânica quântica para descrever a interação do supercondutor com o campo magnético. Outro ponto importante dela consiste em apresentar a destruição da supercondutividade por um campo magnético ou corrente elétrica (SOUZA, 2012; ZADOROSNY *et al.*, 2015).

Para esta teoria, considera-se o conceito intuitivo dos superelétrons e dos elétrons normais, oriunda da teoria de London descrita anteriormente. Ginzburg e Landau consideram eles (os elétrons normais e os superelétrons) como uma função de onda quântica $\psi(\vec{r})$, esta por sua vez, consiste no centro de massa dos superelétrons de um supercondutor (COSTA; PAVÃO, 2012).

Além do mais, como consequência desses pressupostos, resulta que $\psi = 0$ para uma temperatura T for maior que certa temperatura crítica ($T > T_c$) e $\psi \neq 0$ para uma temperatura T menor que certa temperatura crítica ($T < T_c$). Frisa-se que essa é a característica básica de um parâmetro de ordem na Teoria de Landau para transições de fase de 2ª ordem. (SOUZA, 2012).

Como consequência Pereira e Félix (2013), expõe a seguinte equação procedente da teoria de Ginzburg-Landau que descreve a densidade de energia livre:

$$f = f_n + \alpha|\psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\psi|^4 + \frac{1}{2m^*} \left| \left(\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A} \right) \psi \right|^2 + \frac{1}{2} \mu_0 H^2 \quad (2.4)$$

Detalhando cada termo dessa equação, temos que f_n é definida como a energia livre do estado em que não há supercondutividade. Em seguida temos $|\psi|^2$, é a densidade dos superelétrons no material. Ao seu turno, $\mathbf{A}$ é o potencial vetor magnético, α e β são parâmetros dependentes da temperatura, já m^* é a massa desses superelétrons e a carga do superelétrons é considerada por e^* . Além do mais, $\hbar$ é a constante de Planck normalizada e i é o número complexo, sendo $i = \sqrt{-1}$. Finalmente, $\frac{1}{2} \mu_0 H^2$ é denominada energia magnética.

De acordo com Souza (2012), a densidade de corrente supercondutora pode ser apresentada a partir da seguinte equação quântica²³:

$$J = -\frac{iQ\hbar}{2m} [\psi^* \nabla \psi - (\nabla \psi^*) \psi] - \frac{Q^2}{m} A |\psi|^2 \quad (2.5)$$

Para essa equação quântica, temos que Q é a carga de um par de Cooper ($Q = -2e$).

Uma importante grandeza obtida a partir da teoria de Ginzburg-Landau diz respeito ao comprimento de coerência ξ . Essa grandeza consiste em uma expressão unidimensional obtida minimizando a energia livre com campo nulo em relação ao parâmetro de onda, ou seja:

$$\xi(T)^2 = \frac{\hbar^2}{2m|\alpha|} \quad (2.6)$$

Esse parâmetro consiste na distância dos elétrons por toda a extensão no interior do supercondutor, ao qual não pode mudar subitamente com a presença de um campo magnético assimétrico. Por conseguinte, a classificação de um supercondutor do tipo I e do tipo II, é obtido a partir da relação entre o comprimento de coerência λ e comprimento de penetração ξ , ou seja, temos o parâmetro de Ginzburg-Landau ($\kappa = \frac{\lambda}{\xi}$). Como consequência, temos $\kappa < \frac{1}{\sqrt{2}}$ para os supercondutores do tipo I e $\kappa > \frac{1}{\sqrt{2}}$ para os supercondutores do tipo II (SOUZA, 2012).

2.5.4.3 Teoria BCS

Passados 46 anos após a descoberta do fenômeno da supercondutividade,

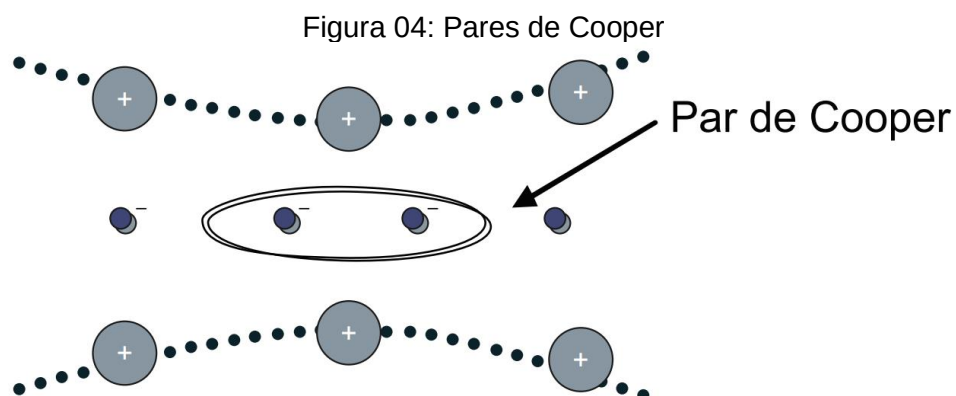
² Duarte, Elwis Carlos Sartorelli. **Influência de uma fenda na dinâmica de vórtices utilizando a teoria de GinzburgLandau dependente do tempo**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado). UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais. São Paulo. Disponível: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/110394/000793304.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em 10/09/2022

³ Moura, Victor Nocrato. **Teoria de Ginzburg-Landau com parâmetro de ordem escondido aplicada ao estudo da supercondutividade de interface**. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará -Centro de Ciências – Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Física.Ceará. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/22536>. Acesso em: 10/09/2022.

mais especificamente em 1957, foi apresentada uma explicação microscópica acerca do comportamento quântico dos supercondutores. A teoria BCS, em homenagem aos pesquisadores norte americanos John Bardeen, Leon Cooper e John Schrieffer, é considerada uma teoria bem sucedida para explicar como se dá a supercondutividade em materiais do tipo I e mais especificamente relacionados à: descrição das supercorrentes, o efeito Meissner-Ochsenfeld, o campo magnético crítico, principalmente (MASSONI, 2009).

Uma forma conveniente para explicar o comportamento de material supercondutor à luz da teoria BCS, aos alunos da educação básica, pode ser feito por meio analogias do cotidiano. A partir dessa explicação qualitativa, conceito como: interação elétron-íon em uma rede cristalina, pares de Cooper, principalmente. São melhor apreciadas pelos discentes pelas analogias como o efeito dominó referente ao movimento dos pares de Cooper interagindo entre si em forma de um efeito em cascata análoga a queda de dominós perfeitamente alinhados e Efeito colchão, fazendo alusão aos pares de Cooper interagindo com a rede cristalina (SPOHR, 2008).

Além disso, é consenso na comunidade científica a ideia de que a supercondutividade diz respeito ao movimento ordenado de elétrons e íons em uma verdadeira harmonia. Em outras palavras, podemos dizer que os elétrons, ao se deslocarem em uma rede cristalina, não colidem entre si ou mesmo com os íons, tendo como consequência a inexistência de perda de energia termica, resultando no que se conhece por resistência nula. Nesse sentido, podemos comparar o fenômeno da supercondutividade como uma brincadeira de alinhar perfeitamente uma certa quantidade de peças de dominó e ao empurrar o primeiro da fila os demais caem em efeito cascata. A essa particularidade dar-se o nome de pares de Cooper, pois tal deslocamento de elétrons ocorre em pares (SPOHR, 2008).

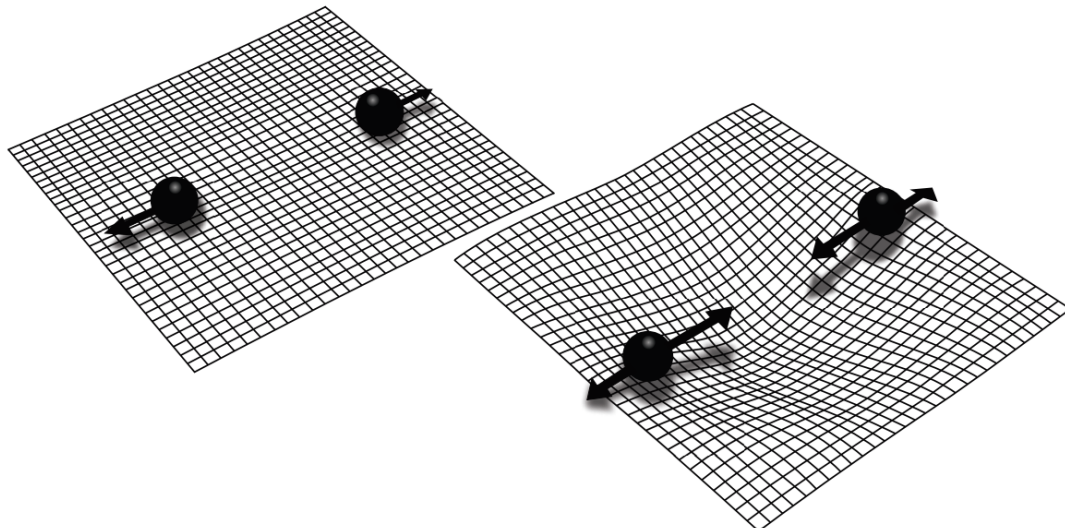


Fonte: Adaptado de (COSTA; PAVÃO, 2012, p.7)

Outra analogia importante é a que associa a rede cristalina a um colchão. Nesse sentido, a rede cristalina do material supercondutor se deforma e como consequência ocorre a atração entre dois elétrons nas proximidades dessa deformação (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998).

Devido a importância da teoria BCS, seus idealizadores foram laureados com o prêmio Nobel em Física em 1972. Reiteramos que a teoria BCS se limita a explicar com propriedade os supercondutores do tipo I porém ela não é consistente com o comportamento dos supercondutores do tipo II. Como consequência, ela é insuficiente para descrever o estado supercondutor dos novos cupratos supercondutores de alta temperatura crítica (T_c).

Figura 05: Efeito colchão



Fonte: Adaptado de (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.185)

2.5.5 Supercondutores tipo I e tipo II

Além de outras classificações para os supercondutores, eles podem ser descritos quanto as suas propriedades específicas, em dois tipos distintos: os supercondutores tipo I e II. A maioria dos metais e algumas ligas, em geral, compõem o grupo dos supercondutores do tipo I, além do mais demonstram-se como bons condutores de eletricidade à temperatura ambiente. Esses materiais apresentam uma T_c muito baixa e foram os primeiros supercondutores a serem descobertos (BRANÍCIO, 2001).

Ainda tratando do comportamento dos supercondutores do tipo I em relação ao campo magnéticos, verificamos que eles manifestam o cancelamento total do campo magnético no seu interior, entretanto, tal comportamento é distinto em relação à

propriedade diamagnética perfeita. De fato, os supercondutores do tipo I têm campo magnético nulo internamente ($\vec{B} = 0$), mesmo que na presença de um campo magnético externo ($\vec{B} > 0$) antes da transição para o estado supercondutor, diferindo portanto de um condutor ideal. Na tabela 01, temos alguns metais com propriedades supercondutores e classificados como do tipo I.

Tabela 01: Alguns metais supercondutores do tipo I

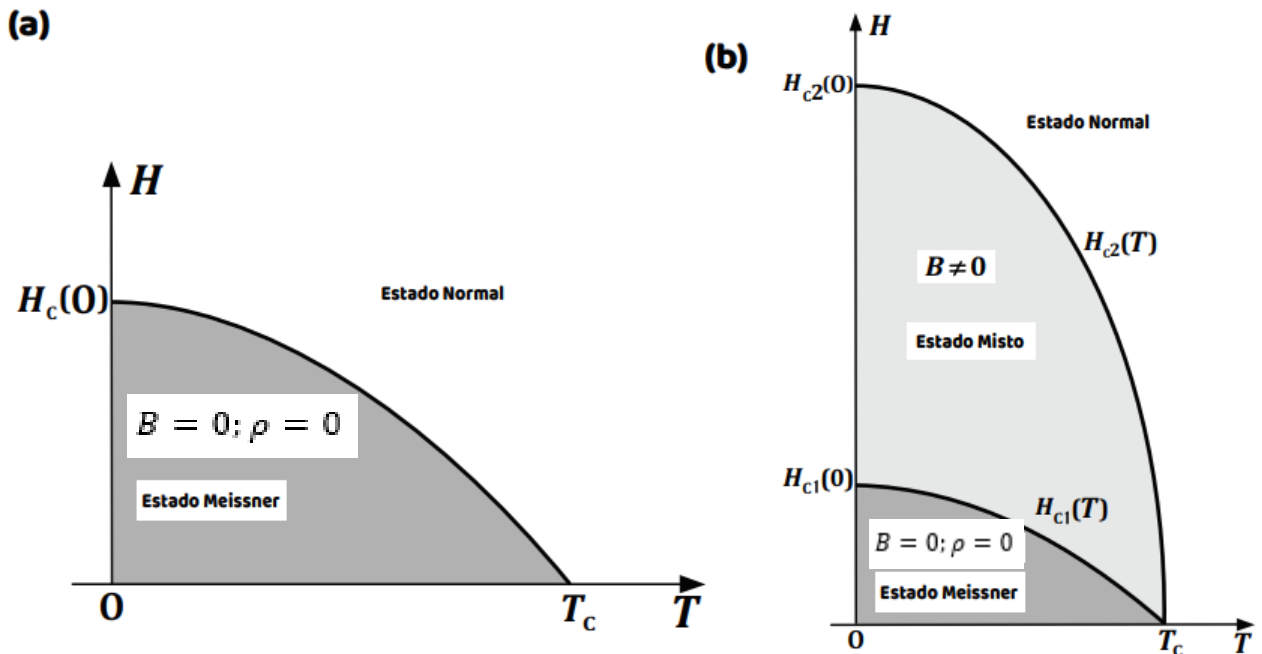
Metal	Sigla	T_c (K)
Chumbo	Pb	7.2
Mercúrio	Hg	4.15
Alumínio	Al	1.175
Titânio	Ti	0.4
Urânio	U	0.2
Tungstênio	W	0.0154
Ródio	Rh	0.000325

Fonte: Adaptado de (BRANÍCIO, 2001,p.383)

Outrossim, os supercondutores do tipo II são compostos por ligas metálicas e outros compostos, com exceção dos metais puros Vanádio (V), Tecnécio (Tc) e Nióbio (Nb). Os supercondutores do tipo II dispõem de temperatura crítica muito acima do tipo I, sendo digno de nota as cerâmicas principalmente as compostas por óxido de cobre. Historicamente, W. De Haas e J. Voogd, em 1930, fabricaram o primeiro supercondutor do tipo II, consistindo de uma liga de chumbo e bismuto (BRANÍCIO, 2001).

A diferença marcante entre os supercondutores do tipo I e II reside das respostas que eles possuem em relação ao campo magnético externo. Porquanto os materiais do tipo I repelem completamente o fluxo de seu interior para campos menores que H_c (campo crítico externo), os do tipo II só o fazem para valores de campo menores que um campo crítico inferior H_{c1} . A distinção entre esses dois comportamentos são detalhados na figura 06. Já $H_c(0)$ é o valor do campo crítico no zero absoluto de temperatura (MORI, 2008).

Figura 06: Campos críticos para materiais (a) do tipo I e (b) do tipo II



Fonte: (MORI, 2008, p.24)

Lembrando que o Estado Meissner ocorre (como mostra a Figura 05) quando o campo magnético dentro da amostra é igual a zero ($B = 0$) e a resistividade do material é igual a zero ($\rho = 0$).

2.5.1 Supercondutores de altas temperaturas críticas

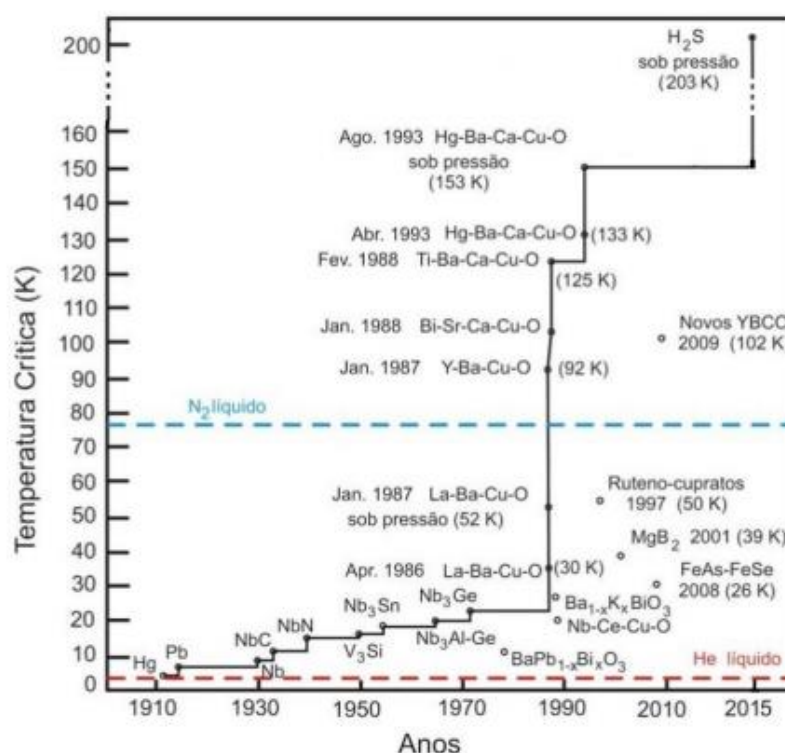
Uma outra maneira de classificar os supercondutores é a partir de sua temperatura crítica. Nesse sentido eles podem ser classificados como Supercondutores de Baixa Temperatura Crítica ou Low Temperature (LTS) e Supercondutores de Alta Temperatura Crítica ou High Temperature (HTS), cuja temperatura de referência é 30K.

Um dos primeiros materiais supercondutores de altas temperaturas - HTS foi descoberto em 1986 por K. A. Muller e J. G. Bednorz, da Suíça. Esse material possui uma temperatura crítica de 35 K e consiste de um composto de lantânio, bário, cobre e oxigênio (La-Ba-Cu-O). Em 1987, O pesquisador da Universidade de Houston, Paul Chu, em um trabalho colaborativo com outro pesquisador, MagKang, da Universidade do Alabama descobriram um composto de baixo custo de fabricação, o YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$), que possuía temperatura crítica de 92 K. Desde então, outros compostos foram sendo descobertos com temperatura crítica cada vez mais alta (SOUZA, 2012).

A descoberta do YBCO representa um marco no incôveniente tecnológico do

resfriamento, pois trata-se de um valor acima da ebulição do nitrogênio que é de 77 K. Na figura 06 temos a evolução dos valores de temperaturas críticas alcançados ao longo do tempo. A comunidade científica ficou otimista com o número cada vez maior de HTS, sendo alguns deles: BSCCO (óxido de bismuto, estrôncio, cálcio e cobre) com $T_c=110\text{K}$, TBCCO (óxido de tálio, bário, cálcio e cobre) com $T_c=125\text{K}$, sistema Hg-1223 com $T_c=133\text{K}$ e sob pressão obtendo uma $T_c=164\text{K}$, cujo valor é a metade da temperatura ambiente (SOUZA, 2012).

Figura 07: A evolução cronológica do recorde de temperatura crítica dos materiais supercondutores



Fonte: Apud (LEPICH, 2017, p.16)

2.5.6 Principais Aplicações

Com o avanço das pesquisas relacionada a materiais supercondutores com temperaturas cada vez mais elevadas, a cada dia seus resultados se aproximam do cidadão comum, em forma de produtos tecnológicos. A partir deste avanço promissor, as aplicações com supercondutores distribuem-se nas seguintes áreas: Sistema de Potência Supercondutora, Dispositivos Passivos Supercondutores, Aplicações em Metrologia Quântica, Detectores Supercondutores de Radiação e Partículas, Dispositivo Supercondutor de Interferência Quântica (SQUID), Eletrônica Digital Supercondutora e outras aplicações, basicamente (tabela 02) (COSTA; PAVÃO, 2012; SEIDEL, 2015).

Tabela 02: Principais aplicações tecnológicas com materiais supercondutores.

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS
1-Sistema de Potência Supercondutora	- Cabos Supercondutores; - Projetos práticos de condutores de correntes com Supercondutores de Alta Temperatura (HTS); - Limitadores de falta de corrente; - Transformadores - Armazenamento de Energia (SMES and <i>Flywheels</i>); - Máquinas rotativas; - <i>SmartGrids</i> com tecnologia Supercondutora.
2-Dispositivos Passivos Supercondutores	- Componentes Supercondutores para microondas; - Aceleradores para Cavidades; - Bobinas Supercondutoras para captação; - Blindagem magnética.
3-Aplicações em Metrologia Quântica	- Padrões Quânticos para Tensão; - Circuitos simples ou com acoplamento e Metrologia Quântica.
4-Detectores Supercondutores de Radiação e Partículas	- Detectores de Radiação e Partículas; - Bolômetros de elétrons quentes supercondutores (BEQS) e sensores de borda de transição; - Misturadores SIS; - Detectores Supercondutores de Fótons; - Aplicações em frequência de Terahertz; - Leitura de Detectores.
5-Dispositivo Supercondutor de Interferência Quântica (SQUIDs)	- Dispositivos SQUIDs para detecção de campo magnético; - SQUIDs para aplicações em laboratórios; - SQUIDs para avaliação não-destrutiva; - SQUIDs para Biomagnetismo; - Exploração Geofísica; - SQUID para microscopia de varredura; - Termômetros SQUID; - Amplificadores de rádio frequência baseado em SQUIDs DC; - Comparadores de correntes criogênicas baseados em SQUID.
6-Eletrônica Digital Supercondutora	- Circuitos Lógicos; - Supercondutores para circuitos de sinais mistos; - Processamento Digital; - Computação Quântica; - Supercondutores para circuitos e dispositivos avançados; - SQUIDs Digitais.
7-Outras aplicações	- Josephson Arrays como Fontes de Radiação (Incluindo Laser Josephson); - Dispositivos Sintonizadores para Microondas.

Fonte: Adaptado de (SEIDEL, 2015)

Na seara de aplicações, destacaremos apenas alguns aplicações, começando com o Dispositivo Supercondutor de Interferência Quântica - SQUID. Este é um instrumento desenvolvido para detectar campos magnéticos fracos, sendo tal propriedade baseada no fenômeno de tunelamento também conhecido por efeito Josephson ou Tunelamento de Pares de Cooper. Brian D. Josephson descobriu a viabilidade de passagem de corrente elétrica entre dois materiais supercondutores, apesar desses serem separados por um material isolante ou mesmo supercondutor. Dada a importância dessa descoberta, lhe valeu o prêmio Nobel de Física de 1973 (DOS SANTOS *et al.*, 1986).

Um SQUID é o elemento principal em aplicações que vão de computadores quânticos até o uso na medicina moderna. Em relação à aplicação na medicina, temos a Ressonância Magnética Nuclear (RMN), e equipamentos eletrônicos especializados na detecção de campos magnéticos gerados pela atividade cerebral, como a magnetoencefalografia (Figura 08). O uso dos SQUID's apresentam resultados promissores também na conhecida microeletrônica e em aplicações onde os componentes convencionais (condutores e semicondutores) não são eficientes e em casos em que se justifica o resfriamento do nitrogênio ou mesmo hélio (SOUZA, 2012).

Figura 08: Magnetoencefalografia (MEG)

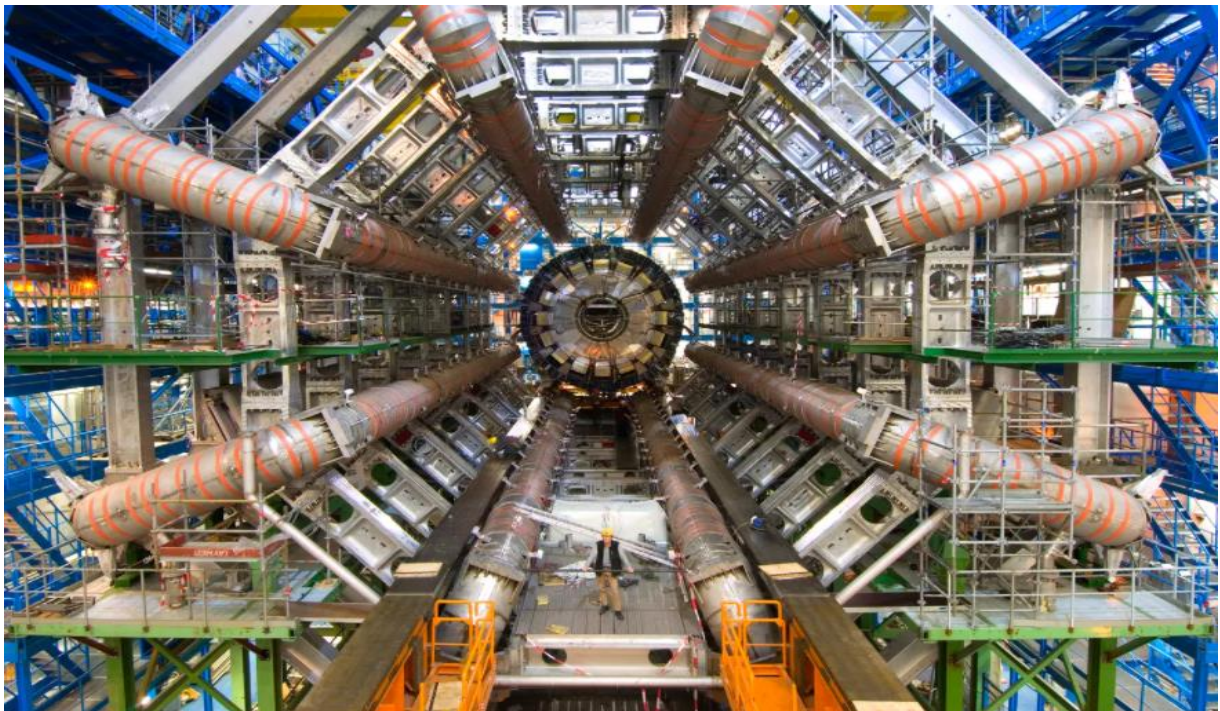


Fonte: Imagem da internet⁴

⁴ Disponível em: <https://radiologybr.wordpress.com/2013/03/09/magnetoencefalografia-meg-novo-metodo-de-colheita-de-imagens-medicas/>. Acesso em: 29/08/2021.

Outra aplicação digna de nota é a do *Larger Hadron Collider* (LHC), esse equipamento gigante possui um sistema híbrido como um dos componentes principais, composto por quatro imãs supercondutores. O LHC foi batizado de Atlas, maior equipamento contruído até então pelo homem e em relação a parte composta por imãs supercondutores, eles consistem em um solenóide central circundado por duas tampas em formato toroidal e um cilindro toroidal também, compondo o sistema magnético com 20 m de diâmetro e 26 m de comprimento (NÓBREGA; MACKEDANZ, 2013).

Figura 09: Experimento Atlas do LHC



Fonte: Imagem da internet⁵

Na utilização de supercondutores no setor elétrico, os experimentos práticos encontram-se em franco desenvolvimento. Esse ramo encontra-se no escopo dos materiais e tecnologias emergentes, sendo os resultados experimentais muito promissores em se tratando dos materiais HTS. Vale lembrar que protótipos em escala real levam em consideração a curva V-I (tensão-corrente), fornecendo com este ensaio o valor de corrente crítica (I_c). Acima deste valor o material passa a apresentar valores de resistividade significativos (POLASEK *et al.*, 2013).

Outra aplicação diz respeito aos trens de levitação magnética a partir de trilhos

⁵ Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>. Acesso em: 30/08/2021.

supercondutores. Nessa tecnologia, o trem propriamente dito, flutua ao longo de trilhos especialmente projetados possibilitando a não existência de atrito entre os vagões dele e os trilhos. O princípio de funcionamento se baseia no efeito Meissner-Ochsenfeld de levitação (Figura 10). Esse efeito é marcado pela exclusão do campo magnético interno do supercondutor devido a presença de um campo magnético externo ao material (MORAIS; MOREIRA, 2019).

Figura 10: Levitação de material YBCO a partir do efeito Meissner-Ochsenfeld



Fonte: Imagem da internet⁶

Essas aplicações constituem uma pequena parcela de possibilidades tecnológicas em que os materiais supercondutores podem ser empregados na atualidade (ver tabela 02). De fato, a medida que as pesquisas avançam, a viabilidade real dessas tecnologias tornar-se-a tangível ao nosso cotidiano. Muito ainda precisa ser conquistado, entretanto as recompensas, as vantagens, sobrepõem-se às desvantagens e principalmente relativo as dificuldades de materialização em aplicações práticas.

⁶ Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/destaque-em-fisica/109-uma-nova-classificacao-para-supercondutores-nao-convencionais> . Acesso em: 30/08/2021.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O propósito desta pesquisa visa descrever a aprendizagem significativa dos alunos do ensino médio a partir de um produto educacional alternativo cujo tema diz respeito ao fenômeno da supercondutividade.

Nesse caminhar, fomos guiados pelos pressupostos metodológicos do desenho qualitativo, em uma perspectiva exploratória e descritiva. Selecionamos essa metodologia por acreditarmos ser coerente com nosso problema científico, ao qual reiteramos:

É possível a aprendizagem significativa do fenômeno da supercondutividade a partir de uma abordagem alternativa e de baixo custo?

Além do mais, devido a clareza quanto ao nosso problema científico almejamos descrever o objeto do presente estudo ao lançar mão dos detalhes e de como eles se apresentam, como corroboram Sampieri, Collado e Lucio:

[...] a meta do pesquisador é descrever fenômenos, situações, contextos e eventos; ou seja, detalhar como são e se manifestam. Os estudos descritivos buscam especificar as propriedades, as características e os perfis de pessoas, grupos, comunidades, processos, objetos ou qualquer outro fenômeno que se submeta a uma análise. Ou seja, pretendem unicamente medir ou coletar informação de maneira independente ou conjunta sobre os conceitos ou as variáveis a que se referem, isto é, seu objetivo não é indicar como estas se relacionam(SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013, p.102).

Seguindo esses pressupostos, nossos esforços se concentraram na obtenção das peculiaridades dos discentes, apresentando de forma expressa suas vozes, opiniões e sentimentos no percurso das atividades da intervenção. Para tanto, foram utilizados instrumentos de coleta de dados como: anotações de campo, questionário inicial e um questionário final, principalmente.

3.1 Sobre os Participantes

Os participantes da presente pesquisa formaram um quantitativo de 56 (cinquenta e seis) alunos, distribuídos em duas turmas de 3º (terceiro) ano do curso técnico de nível médio em informática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM. Cada turma era composta por 28 (vinte e oito) discentes e estavam, no

momento da intervenção, cursando a disciplina de Física III, estudando os conteúdos do 4º bimestre do ano de 2021. De acordo com o calendário acadêmico da instituição⁷, a turma iniciou suas atividades na primeira semana do mês de março (1º bimestre).

Devido a pandemia do novo coronavírus – COVID-19, as aulas no formato presencial foram substituídas por atividades síncronas e assíncronas. Nessa perspectiva, o docente da turma disponibilizava os conteúdos em uma sala de aula virtual, bem como as provas, exercícios avaliativos, canal de dúvidas, caracterizando as atividades denominadas assíncronas. Por conseguinte, nesse mesmo ambiente virtual, o professor informava o *link* para a participação da turma nas aulas síncronas por intermédio de video chamada.

Essas considerações iniciais são oriundas das nossas primeiras anotações quando da imersão ao ambiente de pesquisa propriamente dito. Ela também proporcionou um panorama geral em relação as peculiaridades da amostra a ser pesquisada, permitiu uma maior clareza relativo a quais instrumentos poderíamos utilizar com os participantes. Cabe salientarmos que a atenção aos fatores implícitos e explícitos do ambiente de pesquisa, é fundamental para o sucesso do trabalho científico, pois evita transtornos ou interrupções (SAMPLERI; COLLADO; LUCIO, 2013).

3.2 Os instrumentos da pesquisa

Os instrumentos aplicados nesta pesquisa consistiram de um diário de campo, questionário inicial, questionário final.

A nossa interação com a amostra (participantes), ocorreu primeiramente com a apresentação da proposta de intervenção, no dia dezessete de novembro de 2021 (17/11/2021), para as turmas A, no horário das 7:30 h e para a turma B, no horário das 10:30 h. Essa exposição consistiu de uma divulgação detalhada dos objetivos deste trabalho e sobre a importância do apoio dos discentes para o sucesso dessa pesquisa. As informações preliminares desse contato inicial foram reunidas em um diário de campo, cuja finalidade era a de anotar as singularidades das turmas que pudessem servir de balizadores na implementação do produto educacional, posteriormente.

⁷ Disponível em: <http://www2.ifam.edu.br/campus/cmc/institucional/calendario-academico-2021> . Acesso em: 19/01/2022.

Os referidos questionários foram aplicados em momentos distintos. Além do mais, a partir do 1º questionário (Questionário Inicial - Apêndice A), visávamos obter uma ideia geral a cerca do que os discentes conheciam sobre o tema proposto. Posteriormente, ao final da pesquisa, aplicamos o 2º questionário (Questionário Final - Apêndice B) cuja finalidade consistiu em descrever o nível de aprendizagem significativa dos participantes após a implementação do produto educacional.

3.3 O IFAM em meio a Pandemia do COVID-19

O Instituto Federal do Amazonas – IFAM, localizado no polo Distrito Industrial de Manaus, adotou diversas ações com o intuito de mitigar a proliferação do novo coronavírus ou COVID-19, em suas dependências. Essas ações estão reunidas em um relatório⁸ que trata do tema e apresenta os procedimentos adotados tanto para os docentes, discentes e comunidade externa em geral. Desse diploma normativo, destoamos as seguintes diligências: medida de orientação à comunidade acadêmica do referido polo, medidas para proteção coletiva no campus e medidas para o retorno do ensino dessa unidade educacional, principalmente.

Em relação a medida de orientação para a comunidade acadêmica do referido polo, elas consistiram de informativos visuais distribuídos nos ambientes institucionais e relativos aos cuidados individuais a respeito da prevenção e proteção dos transeuntes. Nesse sentido, foram afixados placas instrucionais ao longo dos corredores do IFAM, norteados pelas recomendações da Fiocruz. As instruções consistem, basicamente de: higienização com álcool 70º, etiqueta respiratória, indicação dos locais para higienização, boas práticas ao cumprimentar, principalmente.

No que diz respeito às medidas para proteção coletiva, o referido Instituto seguiu procedimentos adequados as suas peculiaridades físicas. No tocante, destacamos as principais providências: instalação de barreiras físicas, incremento da taxa de ventilação nos ambientes de trabalho, garantia de não reutilização de ar pelo sistema de ar-condicionado. Especificamente em relação a esse último item, o IFAM seguiu todos os protocolos e recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA.

Discorrendo sobre as medidas adotadas para a volta do ensino dessa unidade

⁸ Disponível em: <http://www2.ifam.edu.br/campus/cmdt/noticias/publicidade-de-aco-es-para-prevencao-e-enfrentamento-ao-novo-coronavirus> . Acesso em: 24/01/2022.

educacional, o retorno às atividades e disciplinas de ensino foram concebidas na modalidade híbrida. Ela foi constituída de atividades pedagógicas não-presenciais, materializada pelo viés de aulas remotas. Nesse sentido, cabe salientar a distinção entre aulas remotas e educação a distância, pois esta é pensada tanto em estrutura e metodologia para a educação a distância, enquanto aquela se traduz em uma solução rápida e aplicada pontualmente.

Para finalizar a distinção entre ensino remoto e educação a distância, a Comissão Técnica do Instituto Federal do Amazonas, unidade distrito, afirma:

Ensino remoto e EAD não são a mesma coisa. Na literatura educacional não existe escritura generalizada sobre o "ensino remoto", uma vez que, diante do contexto de pandemia (Covid-19), é uma experiência extremamente nova. Para esclarecer o conceito de EAD, o artigo 80 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (9.394/96) nos diz, em seu inciso 4º, que: esta educação tem como pressuposto desenvolver-se a distância assíncrona, ou seja, que não ocorre ao mesmo tempo. Já a modalidade remota utiliza plataformas para adaptação da mediação didática e pedagógica de forma síncrona, que significa ao mesmo tempo (CMDI/IFAM, 2020, p.34).

A partir desse excerto, depreendemos as peculiaridades advindas do ensino remoto e com esse entendimento desenvolvemos a forma como iríamos implementar a intervenção para a nossa pesquisa propriamente dita. Diante disso, optamos por viabilizar o nosso produto educacional em formato de *e-book* e disponibilizar para os participantes na sala de aula virtual, em uma perspectiva de aula assíncrona. Por outro lado, dúvidas oriundas dos participantes puderam ser dirimidas ou pela interação (atividade assíncrona) no mural da referida sala de aula virtual, ou a partir de conversas via grupo de *Whatsapp*, em uma concepção síncrona.

Além do mais, foi de fundamental importância o entendimento do sentimento de adaptação da prática pedagógica que o professor do século XXI precisa desenvolver para, em momentos de crises como este, para poder seguir com as atividades educacionais. Para tanto, o contato com as tecnologias da informação foram essenciais para essa finalidade, pois de outra forma a barreira do distanciamento social dificilmente poderia ser superada sem a familiaridade com os recursos tecnológicos da atualidade. Dentre os principais, destacamos estes: sala de aula virtual, foruns *on line*.

Por isso, as palavras de Silva (2021), são pertinentes, pois versam o seguinte:

Nesse contexto, percebemos que a formação inicial dos professores

precisava incorporar o conhecimento à utilização de ferramentas tecnológicas. Esse repensar nos permite adquirir uma cultura escolar sintonizada com as constantes mudanças de cenários e avanços atuais, atendendo as demandas da contemporaneidade (SILVA, 2021, p.47).

De fato, a partir desse raciocínio, evidenciamos a necessidade de um repensar a cerca da figura do professor e do alinhamento com os recursos tecnológicos da atualidade cujo espectro viabiliza a continuidade das aulas na modalidade remota. Nesse caminhar as habilidades e competências do professor do século XXI, além do conhecimento da disciplina ministrada, se faz necessário habilidades associadas à preparação da sala virtual, gravação de vídeos tutoriais, atuações envolvendo frequentes dúvidas dos alunos, *lives*, aulas *on line*, disponibilização de trabalhos via video chamada, basicamente. Logo, percebemos uma amplitude maior do espectro atinente aos saberes do professor e sua efetiva participação no processo de ensino e aprendizado dos alunos nos dias de hoje.

3.4 Sequência didática do Produto Educacional e a Intervenção

Iniciamos este subitem recorrendo sobre a visão geral acerca da sequência do conteúdo abordado e que serviu de subsídio para a composição do bojo da nossa história em quadrinhos. Tal fundamento nos ajudou a estruturar cada capítulo de maneira a facilitar o entendimento do leitor e ao mesmo tempo contribuir para que nossa HQ seja classificada como um material potencialmente significativo. Dessa maneira, ela sirva como um produto educacional para a aprendizagem significativa do fenômeno da supercondutividade para os alunos da educação básica.

O cuidado com o que é exposto na sequência do conteúdo ou das atividades apresentadas é de suma importância ao que se propõe a ensinar, pois como afirma (ZABALA, 1998):

[...] o primeiro elemento que identifica um método é o tipo de ordem que se propõem as atividades. Deste modo, pode se realizar uma primeira classificação entre métodos expositivos ou manipulativos, por recepção ou por descoberta, indutivos ou dedutivos, etc. A maneira de situar algumas atividades em relação às outras, e não apenas o tipo de tarefa, é um critério que permite realizar algumas identificações ou caracterizações preliminares da forma de ensinar (ZABALA, 1998, p.53).

Levando em consideração nosso objetivo de introduzir os conceitos do fenômeno da supercondutividade para o público alvo, depreendemos dessa citação a necessária classificação do método utilizado por nós. Para tanto, escolhemos o método expositivo devido a complexidade do conteúdo e o preço para obtenção, por ventura, de

materiais para a experimentação. Esse ponto também justifica a utilização de uma HQ, pois de outra forma seria inviável, economicamente falando, se fossemos utilizar um viés experimental, por exemplo.

Seguindo esse raciocínio, percebemos também que muitos conceitos sobre o referido fenômeno estudado, urge a apropriação de conceitos básicos de Física Moderna e Contemporânea, Mecânica Quântica, principalmente. Por isso, há conteúdos que podem ser transpostos a partir de analogias, mapas mentais ou mesmo mapas conceituais. No entanto, há conteúdos que precisam de um preparo matemático que foge ao escopo do que é estudado no ensino médio e por isso não podemos incluí-los no produto educacional.

Nossa história em quadrinhos foi dividida em seis capítulos que abordam, desde a descoberta do fenômeno da supercondutividade até as mais recentes aplicações. As aulas, caracterizadas no enredo da HQ, foram distribuídas em aulas teóricas e experimentais e um passeio para visita à uma empresa de fabricação de nitrogênio líquido - NL, local onde os alunos puderam ver pessoalmente o processo simplificado para produção do nitrogênio líquido. O quadro 02, apresenta os objetivos de cada capítulo da HQ e, conseqüentemente, uma visão geral a respeito de nossa proposta.

Quadro 02: Sequência dos tópicos e respectivos capítulos

CAPÍTULO	TÓPICO	LOCAL	OBJETIVO
1 ^a	Descoberta da Supercondutividade	Sala de aula	O conteúdo é introduzido com a apresentação, aos alunos, da descoberta da supercondutividade, em 1911. Comentamos as características gerais do estado supercondutor.
2 ^a	Propriedades do Estado Supercondutor	Sala de aula	Adentramos um pouco mais nos principais conceitos a respeito das propriedades do Estado Supercondutor.
3 ^a	Teorias da Supercondutividade	Sala de aula	Citamos as principais teorias que visam explicar o estado supercondutor e damos uma ênfase, a partir de analogias, à teoria BCS.
4 ^a	Tipos de Supercondutores	Sala de aula / laboratório de Física	Conhecer teoricamente os materiais que são classificados como Supercondutores do tipo I e do tipo II. Posteriormente, os alunos são levados ao laboratório de física para verificar na prática as peculiaridades de cada tipo de supercondutor.
5 ^a	Criogenia e a Supercondutividade	Aula teórica e Visita à Empresa (externo)	Após a propagação dos principais conceitos sobre a Criogenia, os alunos são levados para visita em uma empresa que liquefaz o nitrogênio. Eles aprendem, em linhas gerais, os passos para produção dele.
6 ^a	Aplicações Tecnológicas	Laboratório de Física	É apresentada algumas aplicações envolvendo a supercondutividade e a aula é finalizada com o experimento da levitação magnética.

Fonte: dos autores, (2021)

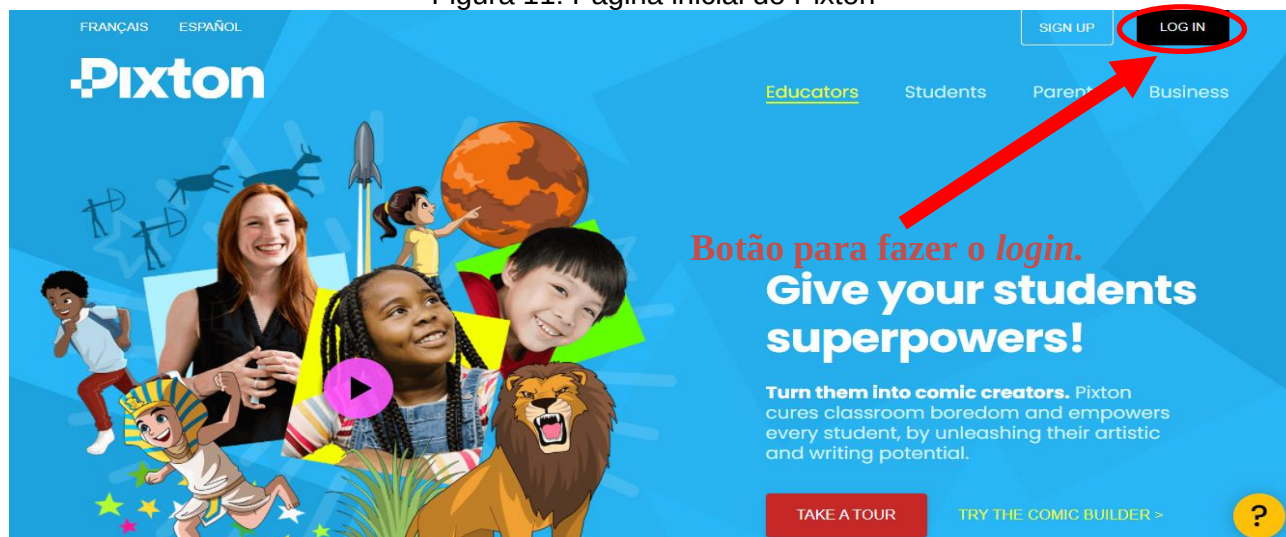
As aulas experimentais foram conduzidas pela personagem Luciana, professora Doutora em Física Teórica, e as atividades experimentais e a visita/passeio foram conduzidas pela personagem Maud, professora Doutora em Física experimental. As aulas, teóricas e experimentais, ocorreram em uma escola estadual na cidade de Manaus

e a aula expositiva, para conhecer o processo de liquefação do nitrogênio, ocorreu em uma empresa do distrito industrial, na mesma cidade.

3.4.1 Descrevendo o Pixton

Para criação da nossa história em quadrinho, utilizamos a poderosa e intuitiva ferramenta para essa finalidade denominada Pixton. Ela possui a versão livre e a versão paga, esta detentora de mais recursos, personagens e cenários para a construção das HQs. Além do mais, a página inicial, figura 11, é direcionada para empresas, pais, estudantes e educadores. Nós nos cadastramos na opção de educadores para montarmos nossa HQ, cuja finalidade foi a de facilitar a interação entre nós e alguns colaboradores que foram convidados para participar no enredo da história.

Figura 11: Página inicial do Pixton



Fonte: Imagem da internet⁹, (2021)

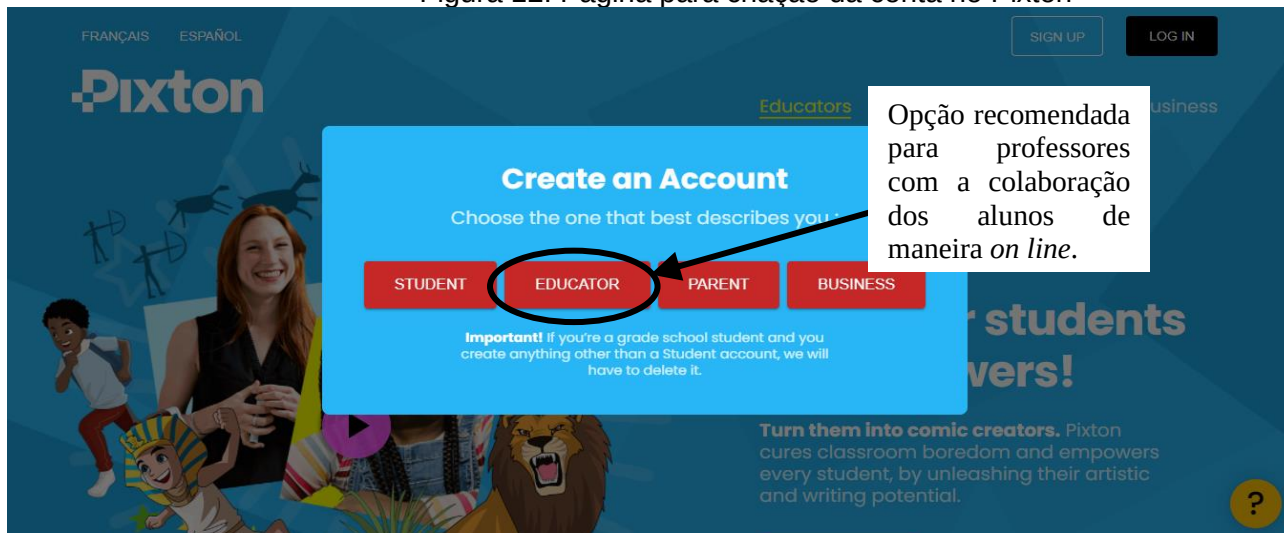
Para ter acesso à área de construção da HQ, primeiramente, há a necessidade de fazer o *login* na página inicial. Após clicar no botão *login*, localizado no canto superior direito da tela inicial (figura 11), você é direcionado ao menu de opção de criação da conta (figura 12). No nosso caso, selecionamos a opção de educadores, por ser a opção para interação, na modalidade *on line*, com os alunos e, porventura, com qualquer colaborador da história em quadrinhos. Nesse sentido, facilitando a obtenção de avatar de participantes, facilita a troca de concepções e ênfase no trabalho colaborativo.

Seguindo para a próxima etapa, o cadastro (*login*) pode ser realizado mediante conta de e-mail da *google (gmail)*, *microsoft* ou mesmo pelo cadastro do *facebook*.

⁹ Disponível em: <https://www.pixton.com/>. Acesso em: 06/09/2021.

Após seleção do e-mail, você é direcionado para um cadastro virtual de sua turma na história em quadrinhos.

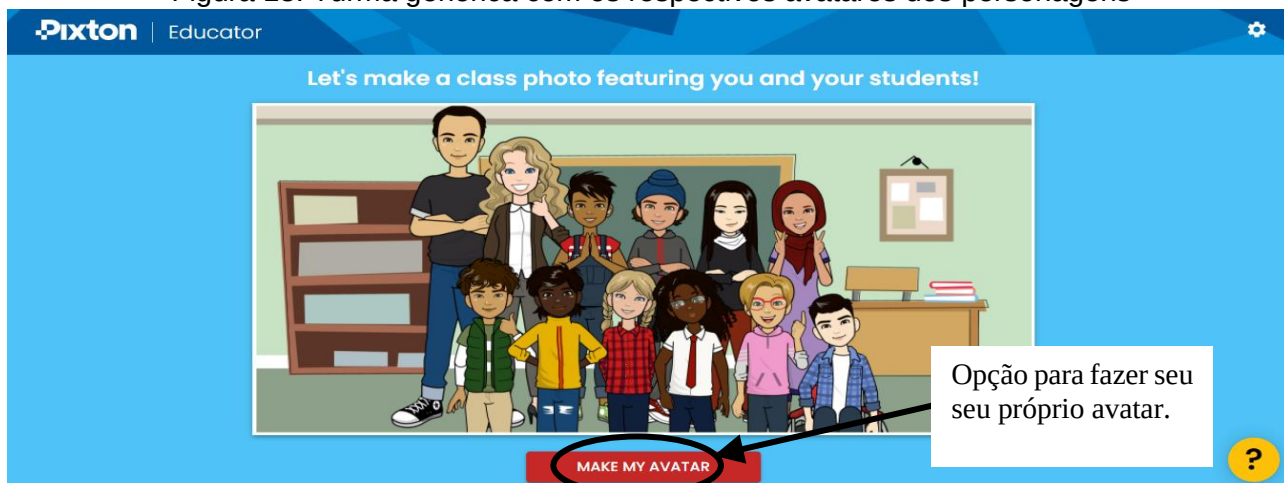
Figura 12: Página para criação da conta no Pixton



Fonte: Imagem da internet¹⁰, (2021)

Além do mais, você vai inserir alguns dados que caracterizam sua turma, como: título da turma, a série, qual a área de atuação ou disciplina e finalmente você, em colaboração com os participantes, poderá fazer um retrato da sua turma virtual com os respectivos avatares dos colaboradores como mostra a figura 13.

Figura 13: Turma genérica com os respectivos avatares dos personagens



Fonte: Imagem da internet¹¹, (2021)

Antes de começar a construção da HQ, no botão *make my avatar*, o educador pode fazer seu avatar, bem como orientar cada colaborador da história em quadrinhos fazer

¹⁰ Disponível em: <https://www.pixton.com/>. Acesso em: 06/09/2021.

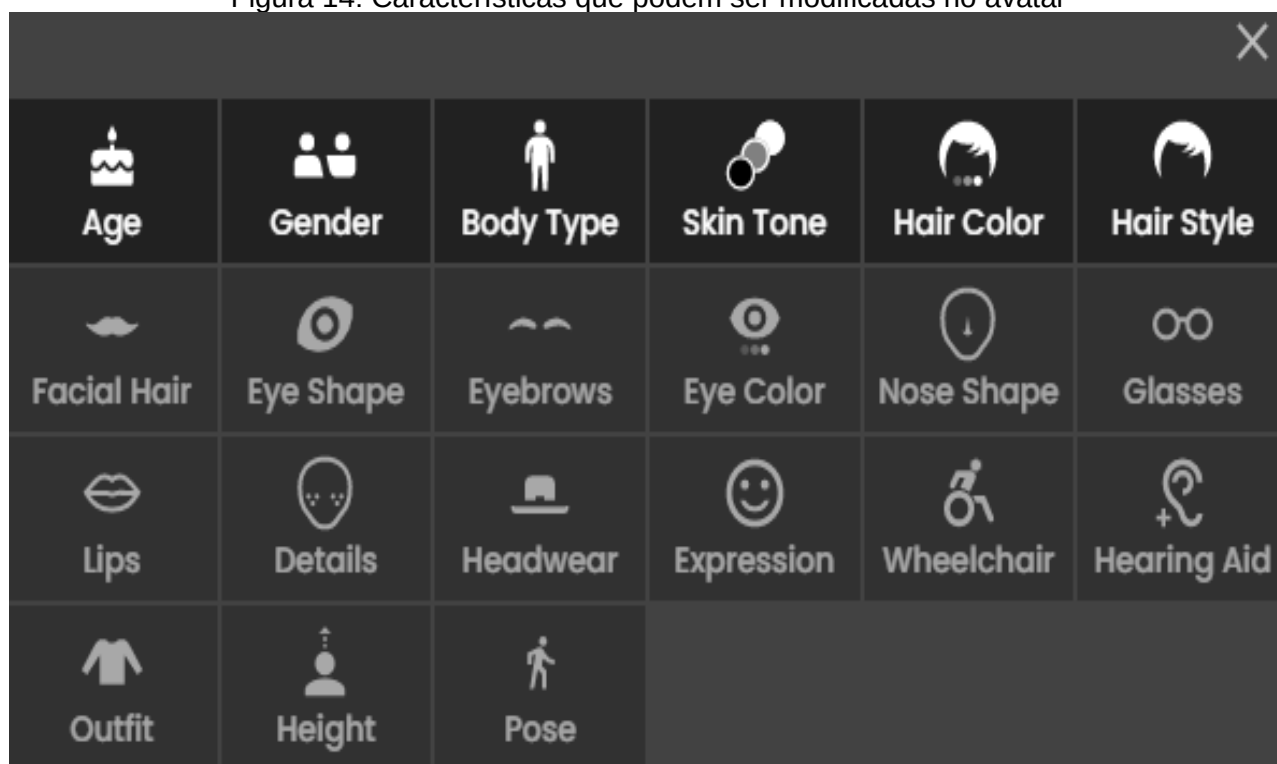
¹¹ Disponível em: <https://www.pixton.com/>. Acesso em: 06/09/2021.

o seu.

3.4.2 Construção do seu Avatar

Em relação à escolha dos personagens, o autor pode lançar mão de características genéricas ou personagens prontos disponível no *software on line*, porém cada personagem da HQ pode ser configurado com características próprias escolhidas pelo autor da obra. Esse aspecto é importante do Pixton, pois permite dar um toque pessoal ao enredo da história ou estória em quadrinhos. Por isso, preferimos montar nossos próprios avatares como forma de agregar nossa identidade ao enredo e com isso aproveitar as potencialidades desse programa.

Figura 14: Características que podem ser modificadas no avatar



Fonte: Imagem da internet¹², (2021)

É relevante salientar que o Pixton possui um quantitativo de opções limitadas na versão gratuita, sendo a versão paga (mensal, período, anual) é a que disponibiliza mais opções, seja para a construção de cenários, seja para construção da HQ propriamente dita. A figura 14, acima, mostra as diversas características que podem ser escolhidas para compor as peculiaridades dos personagens, reiteramos que na versão gratuita ou demonstração, há apenas algumas opções disponível. Sendo a versão paga a que melhor

¹² Disponível em: <https://www.pixton.com/>. Acesso em: 06/09/2021.

atendeu ao nosso propósito.

Figura 15: Avatares finalizados dos personagens Nando e Rafa, respectivamente



Fonte: dos autores, (2021)

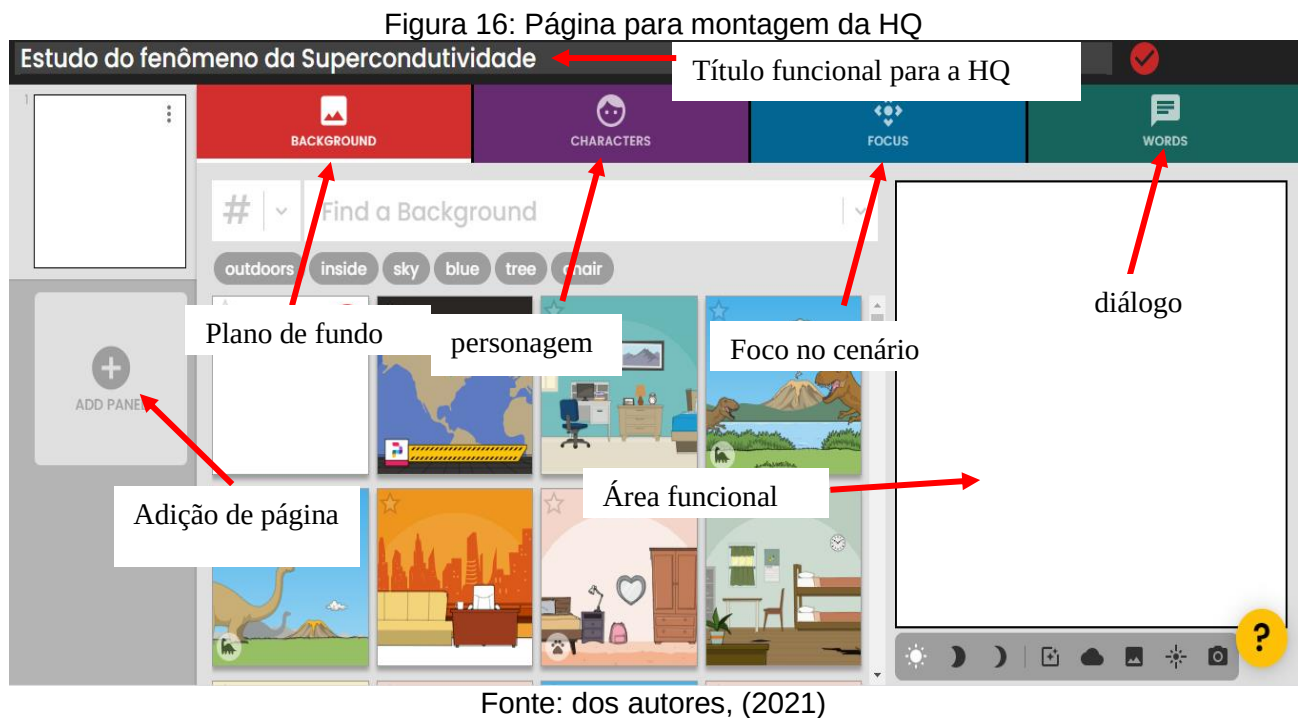
Na figura 15, acima, temos os avatares de dois personagens que compõem nossa história em quadrinhos, os alunos Fernando, protagonista da história e seu amigo, que também estuda na mesma sala de aula, Rafael. O enredo na HQ gira em torno desses alunos, pois os mesmos interagem com os professores e ao longo da narrativa almejam aprender sobre o fenômeno da supercondutividade, tanto seus conceitos teóricos quanto procedimentos práticos.

3.4.3 A História em Quadrinhos

Feito as configurações iniciais: cadastro do *e-mail*, *login*, escolha do avatar, avatar com a turma, foi dado início a montagem da história em quadrinho. Nesse momento, escolhemos um título funcional, no nosso caso foi o “estudo do fenômeno da supercondutividade” para a HQ na página de confecção da mesma. Nessa página temos as seguintes funcionalidades (ver figura 16): escolha do plano de fundo, caracteres, foco, adição de páginas, diálogo, basicamente. Com isso, o trabalho não precisa ser necessariamente só do professor, porquanto os alunos podem colaborar com ideias, opiniões, além de contribuir com a confecção dos personagens e diálogos.

Em relação ao *layout*, o Pixton oferece os formatos de novela (*graphic novel*), grade (*comic strip*) ou mesmo quadrinhos com títulos (*storyboard*). Para os iniciantes, há a

possibilidade de utilização de recursos básicos para confecção da história de quadrinhos, mas as pessoas com experiência podem utilizar recursos avançados disponíveis no *software*. Tais recursos se referem a modificações nas peculiaridades (formato, cor, edição em geral) dos personagens, plano de fundo¹³.



A edição de cada painel da HQ é feita na área funcional, compreendendo a adição de personagens, ação dos personagens, configuração das expressões faciais, ângulos de ação, plano de fundo, inserção de diálogos, basicamente. Para que a ação pretendida tome forma, é possível a inserção individual e respectiva configuração nos mais variados detalhes da cena. Neste momento a história em quadrinhos adquire forma, bem a partir da montagem de cada capítulo e o desenvolvimento do enredo, como mostra o produto educacional presente no apêndice C.

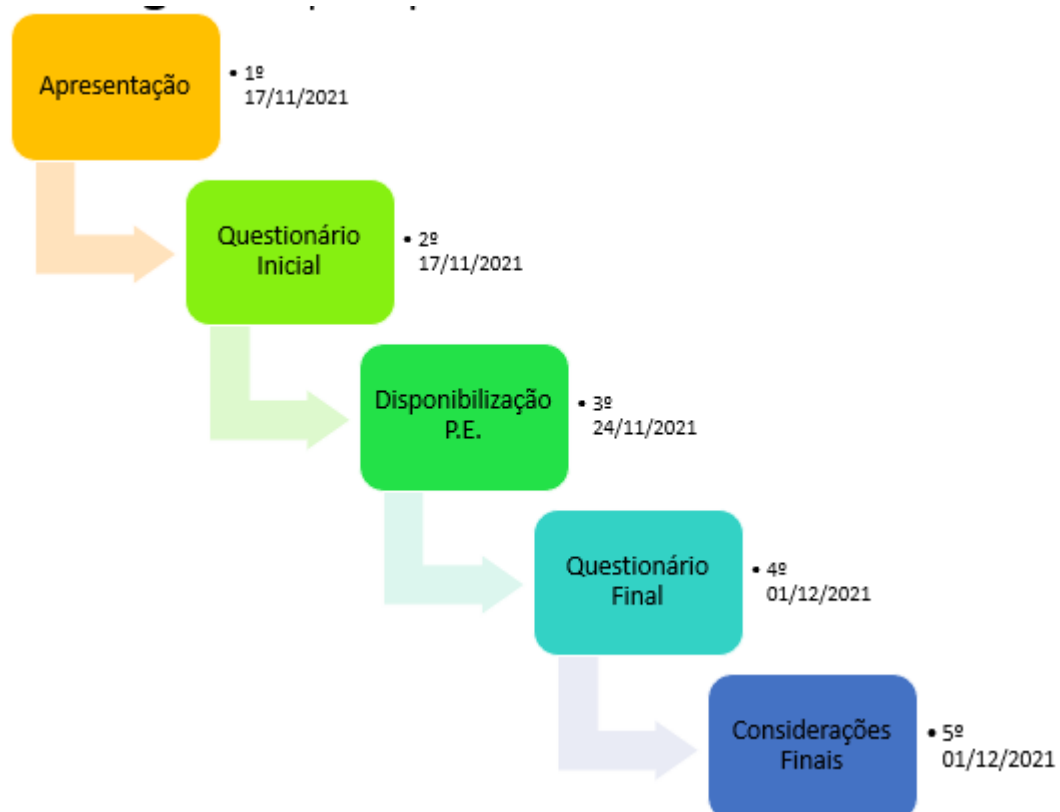
3.5 Etapas da Intervenção

Com a finalização do produto educacional, a história em quadrinhos, realizamos o convite ao professor de Física que, no momento da pesquisa, estava ministrando o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea - FMC. Solicitação prontamente atendida pelo docente do Instituto Federal do Amazonas- IFAM, ele estava no

¹³ Disponível em: https://inovaeh.sead.ufscar.br/wp-content/uploads/2021/06/Tutorial-Pixton_2021.pdf . Acesso em: 13/08/2021.

momento responsável por duas turmas do curso técnico em Informática. A partir desse momento, foi estruturado um cronograma (com as respectivas datas) para viabilização da Intervenção (Figura 17), com a seguinte sequência didática: 1º apresentação, 2º Questionário Inicial, 3º Disponibilização do produto educacional, 4º Questionário Final e 5º Considerações Finais.

Figura 17: Roteiro dos encontros na Intervenção



Fonte: dos autores, (2022)

O contato inicial com as duas turmas (Turma A e turma B) consistiram na apresentação dos pesquisadores, do cronograma da pesquisa e de uma breve introdução do conteúdo da supercondutividade. Cabe salientar que as atividades ocorreram na modalidade remota, a partir de vídeo chamada, com o auxílio do *Google Meet*. Após a apresentação da visão geral sobre o assunto estudado, foi aberto um momento para que os discentes pudessem expor eventuais dúvidas ou curiosidades que pudessem surgir acerca do tema da supercondutividade e suas aplicações.

Essa postura é coerente com os pressupostos da pesquisa qualitativa, como defendem Sampieri, Collado e Lucio :

O que se busca em um estudo qualitativo é obter dados (que serão transformados em informação) de pessoas, seres vivos, comunidades, contextos ou situações de maneira profunda; nas próprias “formas de expressão” de cada um deles. Quando se referem a seres humanos, os dados que interessam são conceitos, percepções, imagens mentais, crenças, emoções, interações, pensamentos, experiências, processos e vivências manifestadas na linguagem dos participantes, seja de maneira individual, grupal ou coletiva. Eles são coletados para que possamos analisá-los e compreendê-los, e assim respondermos as perguntas de pesquisa e gerarmos conhecimento (SAMPLERI; COLLADO; LUCIO, 2013, p.417).

A partir dessa citação, destoamos que a metodologia defendida nesta pesquisa foi o de caráter, essencialmente, descritivo. De fato, nossa pretensão consistiu em detalhar elementos de aprendizagem significativa por parte dos alunos a partir da implementação do nosso produto educacional em um contexto real de ensino, no tocante a sala de aula. Do aludido excerto, depreendemos também que os dados extraído, mesmo que numéricos, possibilitaram apresentar um panorama do pensamento dos participantes, além de suas interações, experiências, manifestações seja pessoal, seja em grupo.

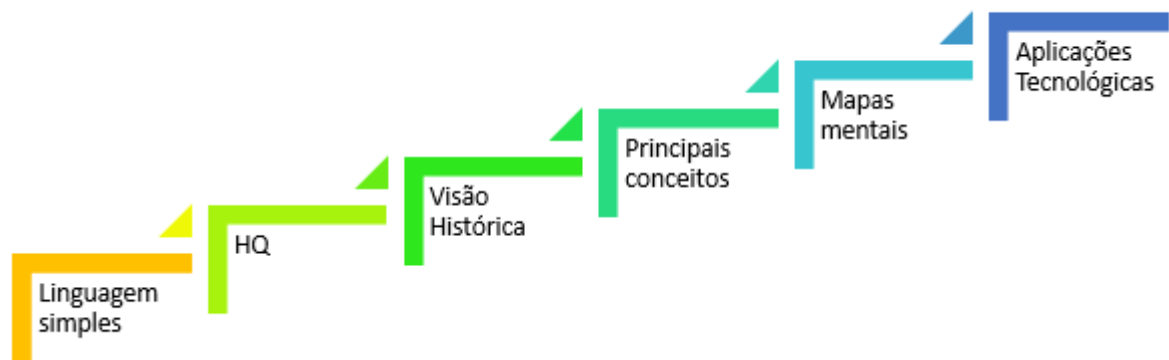
Na sequência, na sala de aula propriamente dita, foi informado aos participantes a respeito da necessidade deles responderem algumas perguntas sobre o conhecimento que eles têm sobre a temática abordada na pesquisa. Para tanto, disponibilizamos um Questionário Inicial (anexo A), na sala de aula virtual. As perguntas levam em consideração: alguns conceitos sobre a Física das baixas temperaturas (Criogenia), distinção entre os materiais quanto a condução de eletricidade, propriedades dos materiais supercondutores, basicamente. Ademais, o referido questionário contemplou perguntas sobre a viabilidade de estudar Física a partir de uma HQ e sobre a utilização de mapas mentais para a aprendizagem.

No próximo encontro, seguimos com a exposição geral sobre o fenômeno da supercondutividade e posteriormente foi aberto a conversação com os alunos para que eles pudessem tirar, eventualmente, dúvidas ou propor questionamentos do seu interesse. Ao final desse encontro foi disponibilizado o produto educacional aos participantes, lançando mão da sala de aula virtual e com isso eles pudessem baixar e fazer a leitura do *ebook* para posteriormente responder ao questionário final.

O penúltimo encontro consistiu na apropriação das impressões dos alunos a respeito do produto educacional: ponto de vista, sugestões, críticas, melhorias, principalmente. Essas informações foram fundamentais para ajustarmos os elementos

constitutivos da HQ. A figura 18, apresenta as principais características (elementos) que compõem o bojo do produto educacional.

Figura 18: Elementos constitutivos do produto educacional.



Fonte: dos autores, (2022)

Esses foram os principais elementos, elencados por nós, como essenciais para que o aprendizado do fenômeno da supercondutividade pudesse ser visto pelos alunos com atributos como motivador, facilitador, e que pudesse proporcionar uma visão prática (em aplicações tecnológicas) no mundo real. Ademais, tais elementos foram escolhidos por serem fundamentais, não somente para esse conteúdo, mas como os demais temas envolvendo a física de uma maneira geral e em especial a física moderna e contemporânea.

3.6 Coleta e Análise dos dados

A implementação do nosso produto educacional foi balizada pelos preceitos da Teoria da Aprendizagem Significativa, cuja finalidade visa descrever como determinado conhecimento pode ser “fixado” na estrutura cognitiva do indivíduo. Entretanto, por ser uma teoria de cunho descritivo, sua implementação por si só seria inconsistente com a análise, avaliação e obtenção de indícios de aprendizagem por parte dos alunos. Por isso, percebemos que ela pouco esclarece sobre o como ensinar em um contexto real de sala de aula (FERREIRA *et al.*, 2021).

A partir dessa abordagem inicial, seguimos com a adoção de um suporte teórico visando, lançar mão da adoção de um método, que auxiasse os alunos na obtenção de habilidades e no alcance do pensamento de ordem superior. Por isso, nos apropriamos do Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes – PFCA de Matthew Lempman, sendo essa abordagem de cunho normativo e coerente com o desenvolvimento e avaliação do aprendizado dos alunos em um contexto real, no caso a sala de aula (FERREIRA *et al.*,

2021).

Nesse contexto, as aulas estruturadas para essa pesquisa, levaram em consideração os pressupostos relativos a organização prévia, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e a verificação da aprendizagem. Cada um desses princípios foi trabalhado para nortear a confecção, posterior, do questionário inicial e do questionário final, ao qual falaremos mais a frente. Por hora, cabe concebermos algumas linhas sobre cada um desses fundamentos da teoria Ausubeliana.

Começamos com a organização prévia, esse item foi aplicado quando da apresentação da proposta de pesquisa com as turmas e posteriormente apresentamos alguns conceitos e aplicações a partir de imagens, vídeos que demonstravam situações no dia a dia que utilizam a tecnologia dos supercondutores. Ademais, demonstramos uma preocupação especial com as aplicações envolvendo ressonância magnética supercondutora, computadores quânticos e uso dos supercondutores em aceleradores de partículas modernos.

Em relação a diferenciação progressiva, esse item foi contemplado a partir da leitura, propriamente dita, do nosso produto educacional, ou seja, após as considerações iniciais, os participantes tiveram a oportunidade de adentrar no conteúdo, objeto da nossa pesquisa. Cabe salientar que essa fase foi o momento deles se familiarizarem, os alunos que não conheciam o tema, ou aprofundar, para os que já conheciam mesmo que superficial. Nesse momento eles tiveram contato com os principais conceitos, teorias, fundamentos históricos, aplicações tecnológicas, principalmente.

Posteriormente, seguimos para o mérito da reconciliação integrativa. Esse momento foi consistente com diversas explicações que nós fizemos atinentes ao conteúdo que os participantes puderam apreender do Produto Educacional. Esta ocasião, foi importante no sentido de dirimir eventuais dúvidas que eles pudessem carregar após a referida apreciação do PE. Além do mais, a reconciliação integrativa serviu de subsídios para fomentar ainda mais a curiosidade e , conseqüentemente, servir de elemento motivador para o estudo da supercondutividade.

Por fim, alcançamos a verificação de aprendizagem, sendo esse item destinado ao momento da aferição do que os participantes puderam abstrair da leitura sobre a temática. Para tanto, foi disponibilizado um questionário final para que eles pudessem

responder algumas perguntas referentes ao que foi estudado no produto educacional.

Por conseguinte, as respostas do participantes foram classificadas em níveis associados ao conhecimento demonstrado por eles (ver quadro 03). Logo, este foi distribuído em 5 (cinco) níveis do mais baixo (“questões deixadas em branco”) ao mais elevado e que apresenta a apropriação de uma aprendizagem significativa.

Quadro 03: Descrição dos níveis de classificação

NÍVEIS	CONHECIMENTO DEMONSTRADO
N1	“Questões deixadas em branco”.
N2	“Respostas em desacordo com a matéria de ensino. Os estudantes não demonstram qualquer indício de aprendizagem significativa acerca do tópico abordado”.
N3	“Respostas que demonstram entendimento precário da matéria de ensino. Os estudantes demonstram indícios de aprendizagem mecânica ou de confusão entre os conceitos abordados, mas não há indícios de aprendizagem significativa”.
N4	“Respostas que demonstram entendimento intermediário da matéria de ensino. Os estudantes demonstram indícios de aprendizagem significativa ao expor entendimento das relações entre os fenômenos, porém ainda não conseguem expressá-las de forma completa”.
N5	“Respostas que demonstram entendimento adequado da matéria de ensino. Os estudantes demonstram indícios de aprendizagem significativa e conseguem expor suas ideias de forma adequada”.

Fonte: (FERREIRA *et al.*, 2021)

Os dados apresentados na tabela 03, foram dispostos em forma de porcentagem, visando com isso, obter um panorama geral mais facilitado para o leitor. Nesse sentido, para cada pergunta, há uma distribuição percentual que nos possibilita indicar qual o nível alcançado pelos participantes em cada quesito do questionário. Também temos um valor (em %) geral relativo a todas as respostas, cujo intuito foi o de possibilitar além da distribuição percentual de cada pergunta, perceber a distribuição das respostas levando em consideração o somatório de todas as respostas.

Com a classificação de cada resposta no seu respectivo nível, podemos aferir individualmente que na primeira perguntas, temos a maioria das respostas (36,36%) alocada no nível N2 e o segundo maior percentual (27,27%) no nível N1. Para a segunda pergunta, verificamos uma predominância das respostas (45,45%) no nível N3 e o segundo maior percentual (27,27%) no nível 4. Para a terceira pergunta houve uma concentração de respostas em branco (54,54%). A quarta pergunta nos mostra uma porcentagem de 36,36% tanto para os níveis de aprendizagem mecânica (N3) quanto para o nível N2, ou seja

respostas desconexas ou sem sentido.

Tabela 03: Relação Nível x Resposta do questionário1

PERGUNTAS \ NÍVEIS	N5 (%)	N4 (%)	N3 (%)	N2 (%)	N1 (%)
1º	9,09	9,09	18,18	36,36	27,27
2º	9,09	27,27	45,45	9,09	9,09
3º	9,09	0	18,18	18,18	54,54
4º	9,09	9,09	36,36	36,36	9,09
5º	0	9,09	36,36	27,27	27,27
6º	0	27,27	54,54	27,27	0
7º	0	9,09	0	0	90,90
8º	0	45,45	54,54	0	0
9º	0	36,36	18,18	45,45	0
TOTAL (%) acumulada	3,1	17,2	39,4	18,2	21,2
TIPO DE APRENDIAGEM	SIGNIFICATIVA		MECÂNICA	RESPOSTAS EM BRANCO/DESCONEXAS	

Fonte: Adaptado de (FERREIRA *et al.*, 2021)

Seguindo com a análise, atinente a quinta pergunta verificamos um quantitativo maior distribuído entre os níveis N3 (36,36%, maior percentual) seguido dos níveis N2 (27,27%) e N1 (27,27%). A sexta pergunta o percentual predominante foi o N3 (54,54%) seguindo do N4 com 27,27% e mesmo percentual para N2, sendo esta classificada como respostas desconexas e aquela para respostas com características de aprendizagem significativa. Na sétima pergunta tivemos a maioria com as respostas em branco, enquanto que a oitava pergunta com respostas alocadas no nível mecânico (N3=54,54%) e no nível de aprendizagem significativa (N4 =45,45%).

A nona pergunta nos mostra os maiores percentuais com as respostas desconexas (N2=45,45%) e aprendizagem significativa (N4=36,36%), respectivamente. Por fim, o percentual acumulado nos mostra uma predominância do nível N3 (N3=39,4%), ou seja aprendizagem mecânica, seguida de respostas em branco (N1=21,2%), respostas desconexas (N2=18,2%) e o quarto maior percentual com o nível N4 (N4=17,2%), ou seja

a turma apresenta uma aprendizagem significativa parcial.

Na sequência, expomos os dados obtidos a partir da aplicação do questionário 2 e apresentamos na tabela 04. Além do mais, lembramos que os números apresentados estão em porcentagem e já leva em consideração apenas os alunos que efetivamente participaram das atividades e presentes nas aulas. Nesse sentido, verificamos que na primeira pergunta, a maioria das respostas (42,85%) ficaram no nível N5, logo há uma verificação de aprendizagem significativa por parte dos discentes. Para a segunda pergunta também encontramos os maiores percentuais com presença de aprendizagem significativa com 42,85% para os níveis N5 e N4.

Tabela 04: Relação Nível x Resposta do questionário 2

PERGUNTAS \ NÍVEIS	N5 (%)	N4 (%)	N3 (%)	N2 (%)	N1 (%)
1º	42,85	0	28,57	0	28,57
2º	42,85	42,85	14,28	0	0
3º	42,85	28,57	28,57	0	0
4º	0	42,85	57,14	0	0
5º	57,14	28,57	14,28	0	0
6º	28,57	42,85	14,28	14,28	0
7º	28,57	71,42	0	0	0
8º	71,42	14,28	14,28	0	0
9º	57,14	42,85	0	0	0
TOTAL (%)	41,26	34,92	19,04	1,58	3,17
TIPO DE APRENDIZAGEM	SIGNIFICATIVA		MECÂNICA	RESPOSTAS EM BRANCO/DESCONEXAS	

Fonte: Adaptado de (FERREIRA *et al.*, 2021)

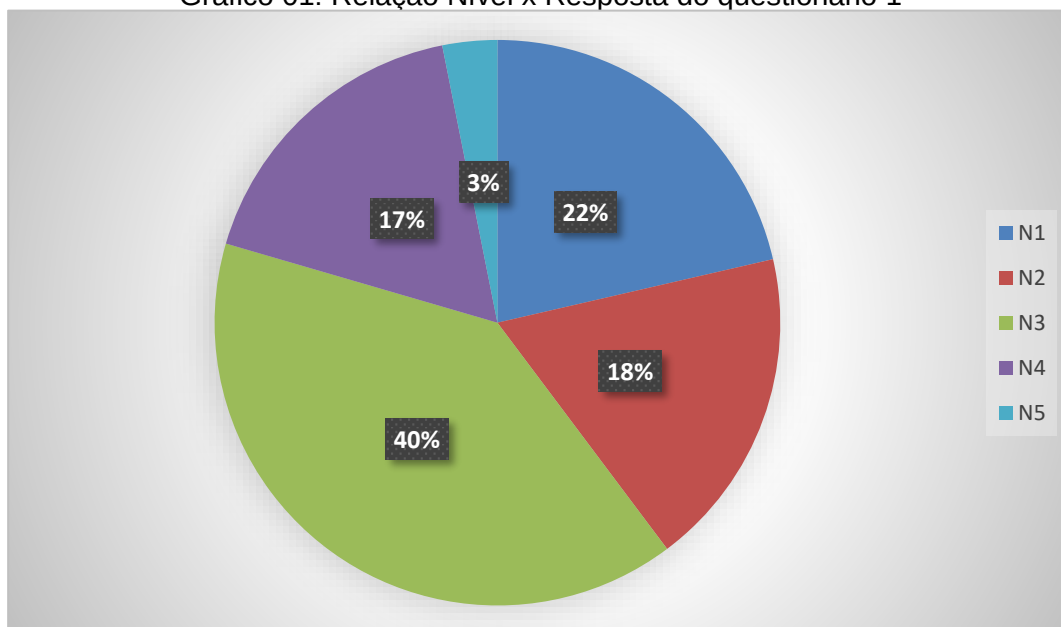
Na terceira pergunta, há uma predominância de aprendizagem significativa, 42,85% e 28,57% para os níveis N5 e N4, respectivamente, mas uma porcentagem menor (28,57%), destinada a resposta com características de aprendizagem mecânica. Para a quarta pergunta, verificou-se uma predominância de aprendizagem mecânica, com 57,14% em N3 e a segunda maior porcentagem com 42,85% no nível N4. Na quinta pergunta os

maiores resultados então no nível N5 com 57,14% e nível N4 com 42,85%.

Para a sexta pergunta verificamos as maiores porcentagens nos níveis N4 e N5, com 42,85% e 28,57%, respectivamente. Há também presença de aprendizagem mecânica e respostas desconexas (14,28%). Na sétima pergunta, há a presença de números consistentes com a aprendizagem significativa distribuídos em 28,57% no nível N5 e 71,42% no nível N4. Idem para a oitava pergunta com 71,42% no nível N5, 14,28% em N4 e mesmo valor para N3. Lógica compartilhada para nona pergunta com os respectivos números: 57,14% para N5 e 42,85% para N4 e os outros níveis com numeração zero.

Com a tabulação dos dados oriundos dos questionários 1 e 2, podemos fazer algumas comparações atinentes a presença de aprendizagem significativa ou mesmo aprendizagem mecânica. Para tanto, lançamos mão de dois gráficos (gráfico 01 e gráfico 02), nos quais foram atribuídas o quantitativo geral das respostas distribuídas entre os níveis N1, N2, N3, N4 e N5. Para facilitar as conclusões, os valores foram apresentados em porcentagem.

Gráfico 01: Relação Nível x Resposta do questionário 1



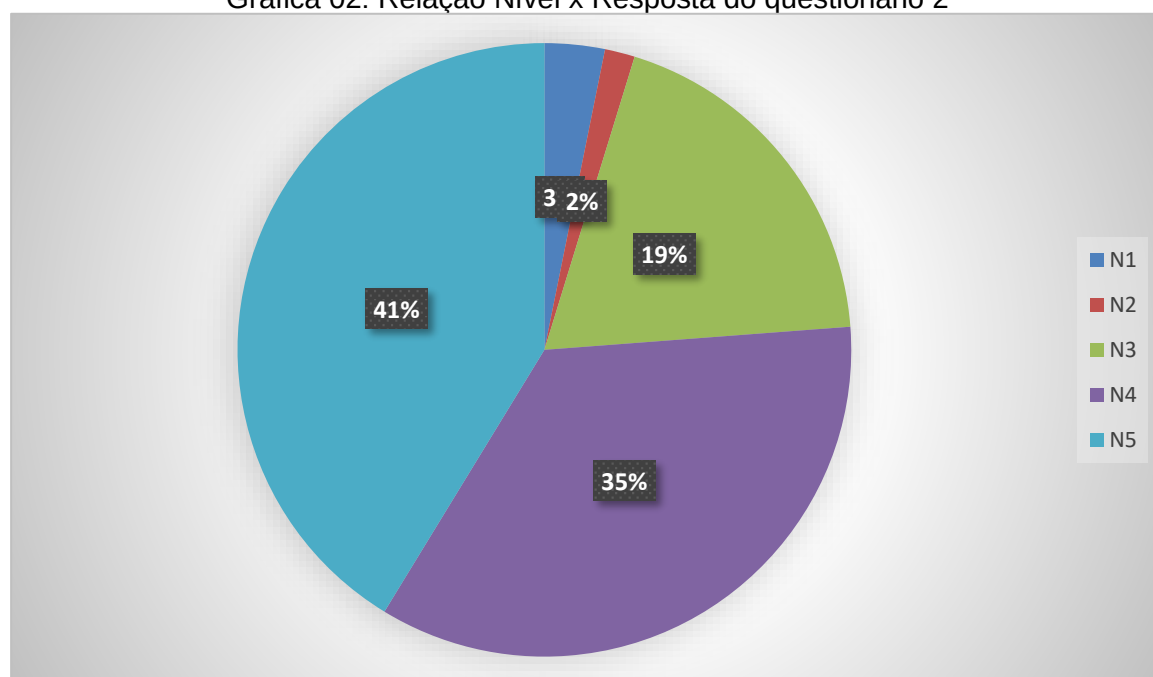
Fonte: dos autores, (2022)

A partir do gráfico 01, visualizamos um quantitativo das respostas no nível N3 (39,4%), ou seja, predominância da aprendizagem mecânica. Além disso, há a presença de respostas desconexas (18,2%) e verificamos que 21,2% dos participantes não responderam ou não souberam responder. Entretanto, 17,2% deles, responderam com

características de aprendizagem significativa, pois 17,2% alcançaram o nível N4 e 3,1% o nível N5. Ademais, acreditamos que as respostas mecânicas ou mesmo desconexas foram devido a pouca familiaridade dos participantes com o conteúdo, pois estavam estudando física moderna pela primeira vez.

Com a leitura do gráfico 02, acerca do quantitativo acumulado das respostas dos alunos inferimos uma porcentagem maior concentrada no nível N5 com 41,26%. Na sequência, temos o quantitativo de 34,92% das respostas em N4 e seguida por 19,04% apresentando uma aprendizagem mecânica. De fato, houve uma substancial melhora dos resultados, seja pela maior familiaridade dos alunos com o conteúdo a partir das abordagens do tema em sala de aula, seja pelo cuidado que foi tomado a partir da pesquisa aplicada com eles.

Gráfica 02: Relação Nível x Resposta do questionário 2



Fonte: dos autores, (2022)

Além do mais, com o comparativo entre os dois gráficos (1 e 2), podemos destacar a aprendizagem significativa dos alunos após a disponibilização do produto educacional, como fica evidentes nestes números: Questionário 01, N5 = 3,1% e questionário 02, N5 = 41,26%. Resultado análogo foi verificado para N2 = 18,2% do questionário 01 e N2 = 1,58% do questionário 02. Com esses números, percebemos uma elevação dos níveis de aprendizagem pelos viés significativo, ou seja, o aprendizado não foi apenas mecânico, com possibilidade de esquecimento ao longo do tempo.

Portanto, a partir da coleta, organização e classificação dos dados, obtidos na intervenção didática, foi possível a aquisição de elementos acerca do aprendizado estruturado pelo viés da aprendizagem significativa cujas informações podemos tecer algumas inferências que serão apresentadas no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E CONCLUSÕES

Iniciamos este capítulo descrevendo algumas características gerais obtidas a partir da imersão de campo, na pesquisa propriamente dita. Ela ocorreu no 4º (quarto) bimestre das turmas A e B do curso técnico em informática do Instituto Federal do Amazonas - IFAM. A implementação da intervenção didática foi realizada na disciplina de física do 3º (terceiro) ano. Cabe informar também que no bimestre ao qual ocorreu a referida imersão, o professor da disciplina estava trabalhando os conteúdos de Física Nuclear, Física Quântica e Tópicos de Física Moderna e Contemporânea.

Nesse contexto, destacamos que os discentes estavam estudando os fundamentos e os princípios da física quântica, além do aprendizado adquirido (dos bimestres anteriores) envolvendo eletricidade, eletromagnetismo e que posteriormente serviram de subsídios para o entendimento do fenômeno da supercondutividade e suas aplicações. Nesse sentido, alguns conceitos basilares para a compreensão da supercondutividade, como por exemplo: condutividade, diamagnetismo e par de elétrons, entre outros, fomentaram a compreensão do tema proposto no produto educacional.

No tocante a utilização da história em quadrinhos como elemento facilitador à aprendizagem de conteúdos da física, e devido o papel fundamental do professor nesse processo, destacamos:

[...] O professor tem a importante atribuição de problematizar o conhecimento e garantir a manutenção do diálogo para aproximar os alunos do objeto do conhecimento. Assim sendo, acreditamos que o uso de cartuns e histórias em quadrinhos podem contribuir com a problematização de assuntos relacionados à Física e assim suscitar um diálogo propício ao desenvolvimento do conhecimento científico (PAIVA, 2015, p.30).

Concordamos com esse excerto por acreditar que a referida contribuição é decorrente da familiaridade que a maioria das pessoas, seja adulto, seja adolescente, em algum momento da vida tiveram contato com essa cultura de massa que são as histórias em quadrinhos. Entretanto, defendemos a necessidade de adaptações para o meio acadêmico, entre as principais preocupações, destacamos o cuidado com os fundamentos e os princípios científicos, principalmente. Além dessas preocupações, acreditamos que a HQ precisa ser acompanhada de uma linguagem acessível aos alunos, logo, o nosso desafio foi encontrar um ponto de equilíbrio entre esses dois vieses.

Esse esforço é coerente com as peculiaridades dos nossos alunos, rodeados por tecnologias digitais, como internet, redes sociais, aplicativos dos *smartphones* com finalidades diversas, principalmente. Essa geração, denominada por especialistas na área de educação por nativos digitais ou geração Z, cuja característica principal é o tempo que eles dedicam às redes sociais e as tecnologias digitais em geral. Nesse contexto, os professores do século XXI precisam fomentar maneiras alternativas de estimular a aprendizagem da física em sintonia com a realidade vivida pela maioria dos alunos de hoje.

Partindo da premissa atinentes a facilidade em obter informação, em sintonia com as tecnológicas digitais, encontrada pelos jovens do século XXI, compete aos professores proporcionar meios de aproveitar os recursos tecnológicos disponíveis e aproximá-los dos discentes. Essa adequação pode ser proporcionada por intermédios da utilização de histórias em quadrinhos em formato de *e-book*, como proposto na presente pesquisa. Apesar da mudança que vivemos hoje, cabe salientar que a necessidade de construir conhecimento não mudou, mas o que mudou nessa geração é a maneira como as pessoas adquirem informação (KÄMPF, 2011).

Destacamos também que a notória familiaridade dos alunos com as tecnologias digitais contribuíram para a continuidade das atividades escolares ou essa proximidade com os recursos digitais dirimiram os impactos ocasionados pela pandemia, quando da interrupção das aulas presenciais. Pois de outra maneira, essa lacuna acarretaria um prejuízo maior para o ensino desses jovens. Logo, o ensino remoto, permeado de atividades on line, com suporte das sala de aula virtual, apresentação de aulas por video chamada, recursos esses ao qual os alunos já estão , há tempos, familiarizados.

Nesse aspecto, as palavras de Silva (2021) são pertinentes:

Faz-se necessário lembrar também que a era digital influencia diretamente o espaço escolar, pois os estudantes estão em constante interação com recursos tecnológicos inseridos no contexto das tecnologias digitais; logo, para lidarmos com essa realidade, é fundamental incorporar recursos tecnológicos nas práticas didático-pedagógicas dos docentes para assim nos conectarmos a esse cenário de constantes e profundas mudanças, viabilizando uma interação na escola entre o professor e os alunos (SILVA, 2021, p.22).

De fato, diante do cenário atual, não tínhamos noção das dificuldades e dos desafios que teríamos que enfrentar para oportunizar a coleta de dados, pois as incertezas eram muitas, principalmente acerca da continuidade das aulas presenciais ou remotas.

Apesar das inúmeras dificuldades, destacamos o esforço dos participantes em estudar em meio a realidade vivenciada. As aulas ocorreram em momentos presenciais e ensino remoto, por conta disso foi de fundamental importância o apoio do professor em aceitar que fizéssemos nossa pesquisa com as turmas e reiteramos o esforços dos participantes em contribuir com ela.

Agora vamos responder as nossas questões da pesquisa a partir da análises dos dados mencionados anteriormente.

- O uso das histórias em quadrinhos em formato de *e-book* contribuem para o aprendizado da Física?

A matemática é uma poderosa aliada da física, pois a partir dela é possível, entre outras peculiaridades, prever resultados dos fenômenos estudados. Entretanto, apesar das características cartesianadas, é de fundamental importância apresentar o caráter fenomenológico da Física, pois a ênfase nos cálculos passa a ser desestimulante para os alunos, em especial, os alunos da educação básica. Diante disso, uma alternativa reside na utilização de histórias em quadrinhos como forma de tornar o aprendizado mais agradável aos alunos.

Quadro 04: Opinião dos participantes sobre o uso das HQs no ensino da Física

PARTICIPANTE	COMENTÁRIO
A	acho uma iniciativa muito boa, pois com essa metodologia acaba facilitando o aprendizado de forma divertida utilizando as imagens junto com os textos.
B	Acredito que quando um assunto é transformado em algo “divertido” como as histórias em quadrinho é mais fácil aprender.
C	Não tinha ouvido falar até ler esta, e confesso que gostei muito.
D	Acho uma forma bem didática de usar em salas de aula
E	Uma boa didática de ensino.

Fonte: dos autores, (2022)

Esse pensamento foi ao encontro da opinião dos participantes desta pesquisa. De fato, a abordagem do fenômeno da supercondutividade, por exemplo, a partir do *e-book*, foi proveitoso como verificamos (quadro 04) nas palavras do participante C: “Não tinha ouvido falar até ler esta, e confesso que gostei muito”. O participante D, segue nessa

mesma linha: “Acho uma forma bem didática de usar em salas de aula”. Esses excertos resumem a ideia de que é possível estudar física por intermédio de recursos alternativos como as HQs.

- É possível introduzir conceitos de supercondutividade pelo viés das histórias em quadrinhos?

Especificamente falando dos conceitos e devido sua importância para a compreensão subsequente da supercondutividade, obtivemos resultados satisfatórios. Essa afirmação é corroborada pelas opiniões dos participantes, como fica evidente nos comentários destacados no quadro 05. Evidenciamos que a introdução dos principais conceitos que cercam o fenômeno da supercondutividade foi apropriado pelos discentes sem muitas dificuldades.

Quadro 05: Opinião dos participantes sobre a introdução dos conceitos de supercondutividade

PARTICIPANTE	COMENTÁRIO
F	Sim pois a forma de aprendizado de um quadrinho é como se fosse uma experiência em leitura, o assunto é abordado de forma direta e dinâmica explicada na prática da vida dos personagens.
G	Sim, Acho que é uma ótima abordagem por ser uma atividade lúdica que estimula o aprendizado e acaba por facilitar o entendimento de conceitos da física.
H	Sim, ajuda no aprendizado de uma forma diferente.
I	Acho uma abordagem interessante que pode facilitar o entendimento dos assuntos.

Fonte: dos autores, (2022)

Além do mais, destacamos a fala do participante G a respeito da utilização das histórias em quadrinhos no ensino da física, ele afirma: “[...] acaba por facilitar o entendimento de conceitos da física”. De fato, afirmações como essa mostram o quanto nosso esforço em aglutinar uma linguagem simples com os conceitos sobre a supercondutividade foram alcançados. Ademais, esperamos que outros professores sejam estimulados a apresentar seus conteúdos em forma de *e-book* e com isso motivar os alunos a estudar física.

- Qual a visão dos alunos diante deste produto educacional?

Destacamos que os alunos, finalista do ensino médio, tiveram o primeiro contato com uma história em quadrinhos que aborda um conteúdo de física nesta pesquisa. Todos os participantes concordaram com o fato de que a aprendizagem foi facilitada a partir da implementação do produto educacional em tela. Além do mais, o quadro 06 apresenta um panorama da opinião dos discentes e com isso trazem alguns adjetivos a respeito do *e-book*, como inovador, interessante e fácil, sintetizando a visão geral que as turmas tiveram em relação a ele.

Quadro 06: Visão geral dos participantes sobre o Produto Educacional

PARTICIPANTE	COMENTÁRIO
J	Acho bem inovador explica um assunto que maioria das pessoas não sabe de forma em histórias em quadrinho.
K	Acho interessante, talvez ajude a me concentrar nos quadrinhos e aprender.
L	seria muito legal aprender física lendo em historias em quadrinhos.
M	Fica mais fácil para entendermos essa matéria.

Fonte: dos autores, (2022)

Diante do exposto, acreditamos que este trabalho, em linhas gerais, apresenta resultados satisfatórios e coerentes com as questões iniciais desta pesquisa.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos os resultados obtidos de uma intervenção pedagógica que discutiu a abordagem do fenômeno da supercondutividade com duas turmas do ensino médio técnico do Instituto Federal do Amazonas – IFAM. A intervenção pedagógica consistiu de cinco encontros, cujo objetivo foi o de introduzir os principais conceitos a respeito da criogenia, a supercondutividade e a aplicação tecnológica.

A pesquisa iniciou em 2020 com o intuito de responder o seguinte problema científico: É possível a aprendizagem significativa do fenômeno da supercondutividade a partir de uma abordagem alternativa e de baixo custo ?

Nossa pesquisa foi fundamentada nos pressupostos teóricos de David Ausubel, Yves Chevallard e Jonhson-Laird. As ideias deles nortearam a elaboração do nosso produto educacional e a partir dele alcançar os objetivos propostos para esse estudo.

Notório destacar o esforço dos alunos do Instituto Federal do Amazonas em permanecer focados nas aulas apesar do momento atípico que vivenciamos devido a pandemia e conseqüentemente a restrição em relação às aulas presenciais. Evidenciamos essa postura, pois cabe salientarmos que escolhemos a metodologia qualitativa e descritiva para esta pesquisa.

Do decurso das atividades com as turmas percebemos, na prática, a importância do docente estar familiarizado com os recursos digitais disponíveis como sala de aula virtual, grupo de *whatsapp* e aulas por vídeo chamada, principalmente. O estudo só foi possível devido a capacidade de adaptação a nova realidade, seja dos alunos, seja do professor da disciplina em continuar motivados a estudar em meio a pandemia pelo novo coronavírus.

Da mesma forma como tivemos que nos adaptar à realidade imposta pelo distanciamento social, se faz necessário pensarmos em alternativas para ensinar conteúdos da física. A utilização de histórias em quadrinhos pode ser uma alternativa viável e de baixo custo, possibilitando uma forma agradável de aprendizado para os alunos do século XXI.

REFERÊNCIAS

APARECIDA, Simone; SOUZA, Gelson Biscaia De. **A SUPERCONDUTIVIDADE COMO TEMA GERADOR PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO: uma abordagem didática para professores de Física.** Paraná, 2012. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2012/2012_ue_pg_fis_artigo_simone_aparecida_da_silva.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

BANDEIRA, SERGILANIO LIMA. **APRENDIZAGEM DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO PROFISSIONALIZANTE UTILIZANDO ARDUINO.** 144f. Dissertação (Mestrado). Mossoró, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5358>. Acesso em: 10 fev. 2021.

BARBOSA, Nara Gracy Travessa. **Supercondutividade no ensino médio: uma proposta fundamentada na aprendizagem baseada em problemas.** 109f. Dissertação (Mestrado). Manaus, 2016. Disponível em: [http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/bitstream/4321/441/1/SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO UMA PROPOSTA FUNDAMENTADA.pdf](http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/bitstream/4321/441/1/SUPERCONDUTIVIDADE_NO_ENSINO_MÉDIO_UMA_PROPOSTA_FUNDAMENTADA.pdf). Acesso em: 16 nov. 2020.

BARROS, Gustavo Ferraz de. **ENSINO DE FÍSICA COM HISTÓRIAS EM QUADRINHOS: O ASTRONAUTA EM MAGNETAR.** 91f. Monografia (Graduação). Rio Claro, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/136500>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BRANÍCIO, Paulo S. **Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela redescoberta do MGB2: uma abordagem didática.** São Carlos, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11172001000400004>. Acesso em: 16 nov. 2020.

CMDI/IFAM, Comissão Técnica -. **RELATÓRIO DE ADOÇÃO DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO A COVID 19 Campus Manaus Distrito Industrial -CMDI.** Manaus, 2020. Disponível em: <http://www2.ifam.edu.br/campus/cmdi/noticias/publicidade-de-aco-es-para-prevencao-e-enfrentamento-ao-novo-coronavirus>. Acesso em: 22 jan. 2022.

COSTA, Marconi B.S.; PAVÃO, Antonio C. **Supercondutividade: Um século de desafios e superação.** Recife, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000200017>. Acesso em: 16 nov. 2020.

DOS SANTOS, Everton Cristiano *et al.* **CERÂMICAS SUPERCONDUTORAS: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES.** São Paulo, 1986. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/6395#:~:text=CERÂMICAS>

SUPERCONDUTORAS%3A CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES,-Everton Cristiano DOS&text=Materiais supercondutores são aqueles que,se encontram em baixíssimas temperaturas.&text. Acesso em: 29 mar. 2021.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**, Rio de Janeiro, p. 461, 1979.

FERREIRA, Marcello *et al.* **Ensino de astronomia : uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/WnggT4dL8ycknxCZnSBvnDc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 9 fev. 2022.

GOMES, Sue Lam Rhâmidda Pereira. **ENGENHARIA DIDÁTICA : UMA ALTERNATIVA NO ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA**. 115f. Dissertação (Mestrado). Araguaína, 2018a. Disponível em: https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/qf76OL1gQCWizT0elq3GMw/content/Dissertação_SUE_LAM_RHAMIDDA_PEREIRA_GOMES.pdf. Acesso em: 29 jun. 2021.

GOMES, MARIANA RUBIRA. **O ENSINO DE ONDAS SONORAS PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA UTILIZANDO UM KIT EXPERIMENTAL SENSITIVO E UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**. 121f. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Acesso em: 18 jul. 2021.

GRIEBELER, ADRIANE. **INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**. 135f. Dissertação (Mestrado). Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61844/000867227.pdf?sequence=1>. Acesso em: 3 set. 2020.

KÄMPF, Cristiane. **A geração Z e o papel das tecnologias digitais na construção do pensamento**. Campinas, 2011. Disponível em: http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542011000700004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 31 jul. 2020.

KNIGHT, Randall D. **Eletricidade e Magnetismo**. 2ªed. Porto Alegre: Bookman, 2009a.

KNIGHT, Randall D. **Relatividade, Física Quântica**. 2ªed. Porto Alegre: Bookman, 2009b.

LEPICH, Rodolpho Santos. **CARACTERIZAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE PÓ CERÂMICO**

SUPERCONDUTOR DE $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ EM AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX. 90f. Dissertação (Mestrado). Vitória, 2017. Disponível: http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/9751/1/tese_11191_RODOLPHO%20SANTOS%20LEPICH.pdf . Acesso 10 de mar. 2021.

MASSONI, Neusa Teresinha. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 26, n. 2, p. 237–272, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2009v26n2p237>. Acesso 12 de jun. 2020

MORAIS, Cicero Igor Freire de; MOREIRA, Antônio Philipi Alves. **Supercondutividade: aplicação em veículos de levitação magnética.** Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/23180730.2019.9183>. Acesso em: 12 set. 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. **A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD, O ENSINO DE CIÊNCIAS E A PESQUISA NESTA ÁREA.** Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf?sequen>. Acesso em: 17 ago. 2020.

MOREIRA, Marcos Antônio. **GRANDES DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA.** Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/rpf.v1i1.7074>. Acesso em: 17 mar. 2021.

MOREIRA, Marcos Antonio; GRECA, Ileana Mária. **MODELOS MENTALES Y MODELOS CONCEPTUALES EN LA ENSEÑANZA & APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.** Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentalesymodelosconceptuales.pdf>. Acesso em: 6 set. 2021.

MORI, Thiago José de Almeida. **Filmes Finos Supercondutores de Alta Temperatura Crítica.** 52f. Monografia (Graduação). Santa Maria, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2640/Mori_Thiago_Jose_de_Almeida.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 29 mar. 2021.

NÓBREGA, Fábio Kopp; MACKEDANZ, Luiz Fernando. **O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia.** Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11172013000100001>. Acesso em: 22 nov. 2020.

OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Leticie Mendonca; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. **Tópicos de física contemporânea no ensino médio : um texto para professores sobre**

supercondutividade. Rio Grande do Sul, 1998. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116764/000215873.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 nov. 2020.

PAIVA, RENDISLEY ARISTÓTELES DOS SANTOS. **A IMPORTÂNCIA DO USO DE CARTUNS COMO FERRAMENTAS AUXILIARES NO ENSINO DE CONCEITOS DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO.** 88f. Dissertação (Mestrado). Brasília, 2015. Disponível em: http://mnpef.fis.unb.br/docs/dissertacoes/Rendisley_Aristoteles_dos_Santos_Paiva__dissertacao.pdf. Acesso em: 7 maio 2021.

PEREIRA, DIEGO VERÍSSIMO. **O ENSINO DE INÉRCIA COM DESENHOS ANIMADOS, UTILIZANDO FUTURAMA COMO FERRAMENTA LÚDICA.** 105f. Dissertação (Mestrado). Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20513#:~:text=Resumo%3A,9º ano do ensino fundamental>. Acesso em: 30 abr. 2021.

PEREIRA, S H; FÉLIX, Marcelo G. **100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau.** Minas Gerais, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n1/v35n1a13.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

PINTO, Fernando Carlos Rodrigues. **Proposta De Sequência Didática Baseada Na Aprendizagem Significativa : Construção De Uma Mini Estação Meteorológica Com Arduino.** 169f. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152655>. Acesso em: 7 nov. 2020.

POLASEK, A. *et al.* **Avaliação da Curva V_{XI} de Materiais Supercondutores para Aplicações no Setor Elétrico.** Brasília, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/2.1.1712.4804>. Acesso em: 10 set. 2022.

RODRIGUES, Angela Maria; GHEDIN, Evandro. **A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL E O ENSINO DE CIÊNCIAS.** Roraima: UERR Editora, 2005.

ROMAGUERA, Antônio Rodrigues de Castro. **Vórtices em supercondutores com indentação e em geometrias confinadas.** 95f. Dissertação (Mestrado). Pernambuco, 2003. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6855/1/arquivo7989_1.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María Del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. 5ªed. Porto Alegre: McGrawHill, 2013.

SEIDEL, Paul. **Applied Superconductivity**. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

SILVA, Daniel Gomes da. **A utilização da plataforma Arduino no processo de aprendizagem da Física por meio da abordagem STEAM**. 158f. Dissertação (Mestrado). Manaus, 2021. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/3371>. Acesso em: 25 out. 2021.

SILVA, MARCOS ANTONIO DA. **CONCEITOS DE FÍSICA POR MEIO DO LANÇAMENTO DE FOGUETES DE GARRAFA PET: UMA PROPOSTA DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO MÉDIO**. 120f. Dissertação (Mestrado). Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20437>. Acesso em: 27 mar. 2021.

SOUZA, Daniel Fonseca de. **Supercondutividade, um estudo sobre os seus 100 anos. Elementos para sua Divulgação Científica**. Manaus, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3468>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SPOHR, CARLA BEATRIZ. **O tema da supercondutividade no nível médio: desenvolvimento de material hipermídia fundamentado em epistemologias contemporâneas**. 161f. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14953>. Acesso em: 16 nov. 2020.

VIEIRA, David Menegassi. **Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio**. 152f. Dissertação (Mestrado). Vitória, 2014. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David_Menegassi-V2.pdf. Acesso em: 16 nov. 2020.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa: Como ensinar**. Rio Grande do Sul: Artmed, 1998. *E-book*.

ZADOROSNY, Rafael *et al.* **Fenomenologia da Supercondutividade e Supercondutores Mesoscópicos**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275974640>. Acesso em: 16 nov. 2020.

APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO INICIAL V1.2 – 2021

PREZADO ALUNO(A),

ESTE QUESTIONÁRIO É PARTE INTEGRANTE E FUNDAMENTAL DE UMA PEQUISA NO ENSINO DE FÍSICA, CUJO TEMA É: “ABORDAGEM DO FENÔMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA”.

NÃO É NECESSÁRIO ESCREVER SEU NOME.

PESQUISADORES: Daniel Gomes da Silva e Dr. Márcio Gomes da Silva

01) Você sabe o que é a Criogenia ou a Física das Baixas Temperaturas? Em caso afirmativo, comente sobre o assunto.

02) Explique em poucas palavras as principais características destes materiais quanto a eletricidade :
a) Isolante elétrico, b) condutor elétrico, c) semicondutor. Cite exemplos desses materiais.

03) Você sabe o que são Supercondutores? Em caso afirmativo, comente sobre o assunto.

04) Comente, com suas próprias palavras, sobre estas características dos materiais supercondutores:
A) Resistência Zero;

B) Efeito Meissner-Ochsenfeld.

05) "A supercondutividade é um fenômeno quântico com efeitos macroscópicos". O que você pode inferir dessa afirmação?

06) Você sabe o que um mapa mental? Já utilizou essa ferramenta para explicar algum conteúdo? Em caso afirmativo cite uma situação em você aplicou esse recurso.

07) Você já criou alguma história em quadrinhos ou cartoon usando algum software? () Não () Sim. Neste caso, descreva o que você criou:

08) Você já ouviu falar do uso de histórias em quadrinhos para abordar conteúdos de Física? Sim ou Não. Comente abaixo o seu ponto de vista sobre essa abordagem:

09) No seu ponto de vista é possível aprender sobre o fenômeno da Supercondutividade a partir de uma história em quadrinhos?

APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO FINAL V2.0 - 2021

PREZADO ALUNO(A),

ESTE QUESTIONÁRIO É PARTE INTEGRANTE E FUNDAMENTAL DE UMA PEQUISA NO ENSINO DE FÍSICA, CUJO TEMA É: “ABORDAGEM DO FENÔMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA”.

NÃO É NECESSÁRIO ESCREVER SEU NOME.

PESQUISADORES: Daniel Gomes da Silva e Marcio Gomes da Silva.

01) Você sabe o que é a Criogenia ou a Física das Baixas Temperaturas? Em caso afirmativo, comente sobre o assunto.

02) Você sabe o que são Supercondutores? Em caso afirmativo, comente sobre o assunto.

03) Comente, com suas próprias palavras, sobre estas características dos materiais supercondutores:

A) Resistência Zero; B) Efeito Meissner-Ochsenfeld.

04) "A supercondutividade é um fenômeno quântico com efeitos macroscópicos". O que você pode inferir dessa afirmação?

05) Comente sobre algumas aplicações da Criogenia, em especial o Nitrogênio Líquido no nosso dia a dia.

06) Comente sobre as possibilidades de utilização da tecnologia com Supercondutores em grande escala e pequena escala.

07) Você sabe o que um mapa mental? Em caso afirmativo, qual sua impressão sobre o aprendizado a partir desse recurso.

08) Você já ouviu falar do uso de histórias em quadrinhos para abordar conteúdos de Física? Sim ou Não. Comente abaixo o seu ponto de vista sobre essa abordagem:

09) No seu ponto de vista é possível aprender sobre o fenômeno da Supercondutividade a partir de uma história em quadrinhos?

APÊNDICE C: PRODUTO EDUCACIONAL (FINALIZADO)- 2022



PRODUTO EDUCACIONAL: Aprendendo sobre a Supercondutividade com o Nando.

Daniel Gomes da Silva
Márcio Gomes Da Silva

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

S586a Silva, Daniel Gomes da.
Aprendendo sobre a supercondutividade com o Nando / Daniel Gomes da Silva,
Márcio Gomes da Silva. – Manaus, 2022.
53 f. : il. color.

Produto Educacional proveniente da Dissertação - Abordagem do fenômeno da
supercondutividade na educação básica. (Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2022.
ISBN 978-65-88247-79-2

1. Ensino de física. 2. Supercondutividade. 3. História em quadrinho. I. Silva,
Márcio Gomes da. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Amazonas III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530

APRESENTAÇÃO

Este Produto Educacional é parte integrante de uma pesquisa científica apresentada na Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, polo 4 – IFAM/UFAM. Os autores são o discente Daniel Gomes da Silva e o docente Dr, Márcio Gomes da Silva.

Optamos por uma história em quadrinhos com o intuito de facilitar o aprendizado do Fenômeno da Supercondutividade para os alunos da educação básica, seja no Ensino Fundamental, seja no Ensino Médio. Ademais, este trabalho foi balizado pelos pressupostos da Transposição Didática, de Ives Chevallard, da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel e Joseph Novak, e do Conceito de Mapas Mentais, de Johnson Laird, principalmente.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nossa História em Quadrinho consiste em acompanhar a aprendizagem de dois alunos do ensino médio, Fernando (Nando) e seu amigo Rafael (Rafa) em relação ao Fenômeno da Supercondutividade. Neste enredo, veremos o esforço dos professores de Física (teóricos e experimentais) para motivar, os protagonistas e a turma, a partir de fatos históricos, de aplicações práticas e de mapas mentais.

Este conteúdo foi distribuído em 5 (cinco) capítulos. O 1º (primeiro) capítulo diz respeito aos principais fatos históricos que contribuíram para a descoberta da supercondutividade além de, a partir de exemplos de aplicações, motivar o aluno. O 2º (segundo) capítulo visa descrever as principais propriedades dos supercondutores, dentre as quais destacamos a resistividade zero e o efeito Meissner-Ochsenfeld. No 3º (terceiro) capítulo apresentamos as principais teorias que explicam o fenômeno da supercondutividade. O 4º (quarto) capítulo é dedicado a abordagem dos supercondutores do tipo I e do tipo II. O 5º (quinto) capítulo aprofundamos sobre a Criogenia, em especial a liquefação do Nitrogênio. Finalizamos nossa história em quadrinhos com o 6º (sexto) capítulo ao demonstrar algumas aplicações de supercondutores em grande escala e pequena escala.

Frisa-se que este Produto Educacional pode servir de apoio atinente ao conteúdo de Física Moderna e Contemporânea, no tocante ao tema da Supercondutividade.

Ótima leitura a todos,
Daniel Gomes da Silva
Márcio Gomes da Silva,
Manaus – AM, 2022

Sumário

CAPÍTULO 1: Descoberta da Supercondutividade.....	1
CAPÍTULO 2: Propriedades do Estado Supercondutor.....	8
CAPÍTULO 3: Teorias da Supercondutividade.....	16
CAPÍTULO 4: Tipos de Supercondutores.....	25
CAPÍTULO 5: Criogenia e a Supercondutividade.....	33
CAPÍTULO 6: Principais Aplicações Tecnológicas	40
REFERÊNCIAS.....	47

CAPÍTULO 1: Descoberta da Supercondutividade

Ela apresenta-se aos discentes.

Oi gente!

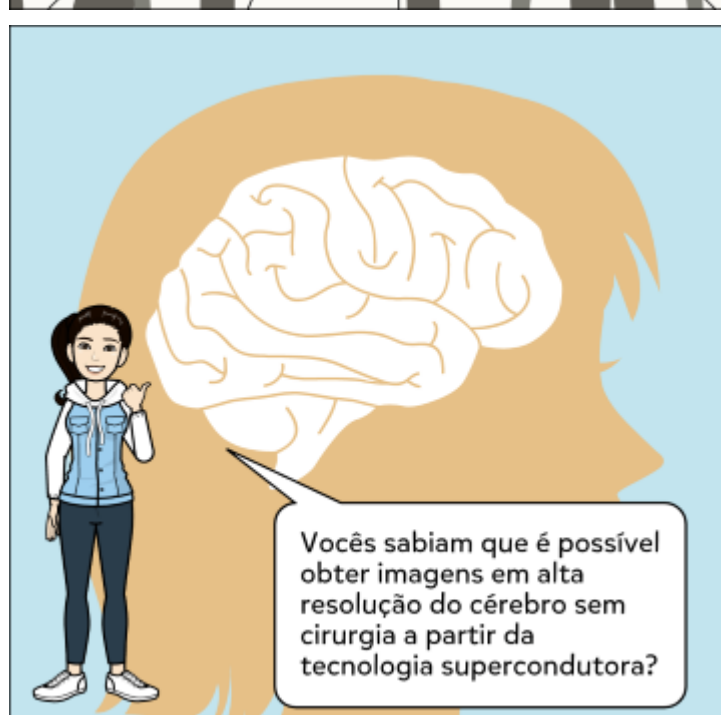
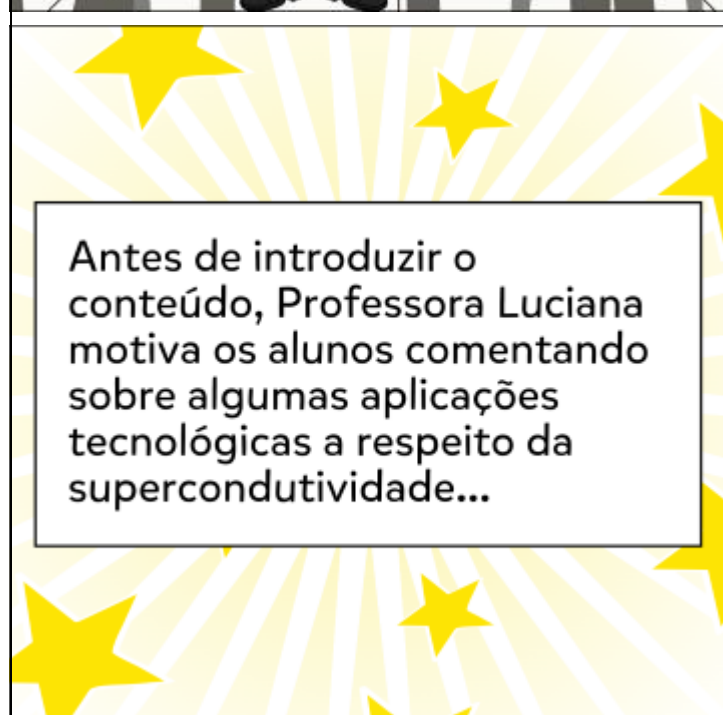
Vamos estudar o fenômeno da Supercondutividade..

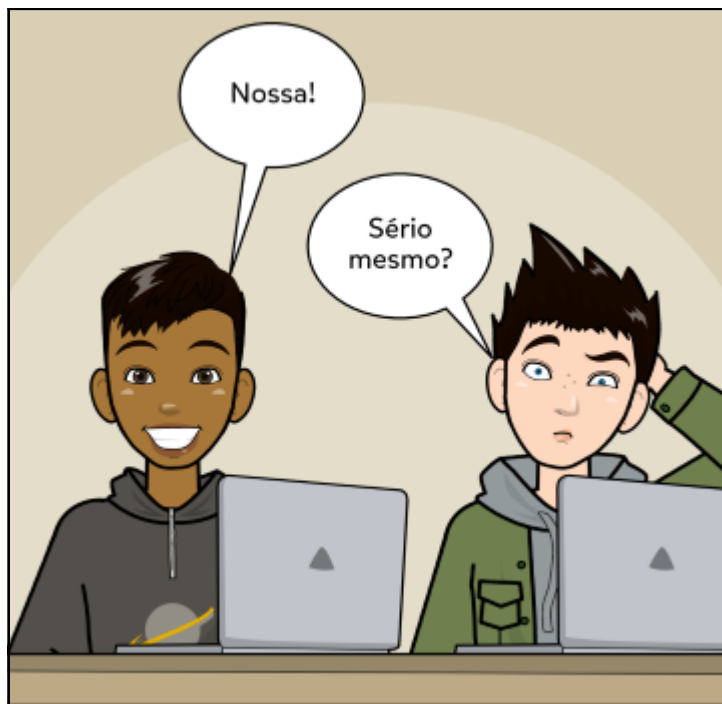
... a partir de uma abordagem histórica, teórica e posteriormente prática.

Luciana, professora de Física teórica, chega à sala.

Neste momento, professora Maud Souza entra na sala de aula...

A parte teórica sobre o conteúdo será apresentada por mim...





Nando lembra das aulas de Mecânica e fica animado para responder...



Os alunos ficam curiosos...



Seguindo a partir dos conhecimentos prévios dos alunos....



A partir desse conhecimento prévio, Professora. Luciana continua...



Professora Luciana responde:



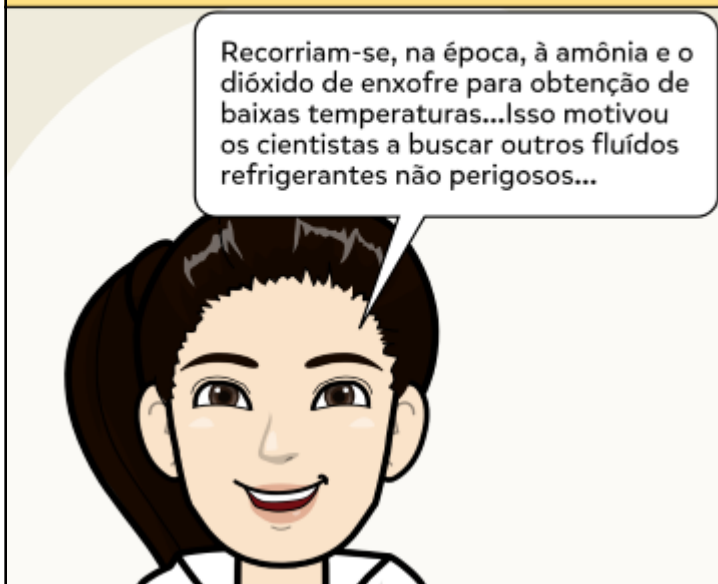
Os alunos ficam surpresos com essas aplicações tecnológicas da supercondutividade...



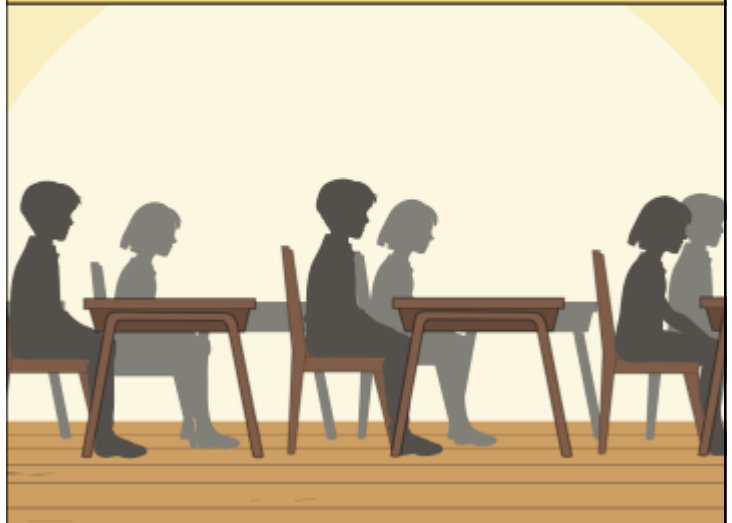
Logo, precisamos conhecer primeiramente a Ciência das Baixas Temperatura ou Criogenia. A palavra Criogenia (Crios = Frio; Genia = criação) diz respeito a ciência experimental especializada nas técnicas, processo e equipamentos para a obtenção de baixas temperaturas.



Os fluídos refrigerantes são substâncias utilizadas para obter temperaturas muito baixas. Mas utilizavam-se substâncias perigosas nos primórdios da Criogenia...



Com esse clima de curiosidade, professora Luciana começa a aula explicando que o fenômeno da Supercondutividade só foi possível após o desenvolvimento da Criogenia ou Física das Baixas Temperaturas...



... Na segunda metade do século XIX e início do XX, a comunidade científica almejava conhecer as propriedades da matéria em temperaturas criogênicas...



Nessa corrida para obtenção das baixas temperaturas próximas ao zero absoluto ($T=0\text{ K}$), a Universidade de Leiden destacou-se das demais...



Este é o laboratório Criogênico da Universidade de Leiden, Holanda... Pioneira na liquefação do Oxigênio, Nitrogênio e posteriormente o Hélio.



Estes são os cientistas que liquefizeram eficientemente o Hélio e com isso alcançaram temperatura mais próxima a zero Kelvin. Eles são: Heike K. Onnes (1853-1926) e seu assistente Jacob Clay (1882-1955).



Dominada a tecnologia da liquefação do Hélio, Heike K. Onnes, almejava descobrir como a matéria se comportava...



Os cientistas acreditavam, teoricamente, que a resistência elétrica diminui proporcionalmente com a diminuição da temperatura...

Ele começou a analisando os metais e suas propriedades elétricas. Fonte: (Reif-Acherman, 2011).



Heike pegou uma amostra de mercúrio e o resfriou à temperatura abaixo de -296°C (4K). Com isso, ele percebeu que...

A resistência elétrica do Mercúrio se iguala, repentinamente, a ZERO abaixo de certo valor de temperatura T.

Dr. Onnes descobre a SUPERCONDUTIVIDADE. A este limiar de temperatura T, Dr. Onnes utiliza um termo específico da Física das Baixas Temperaturas:

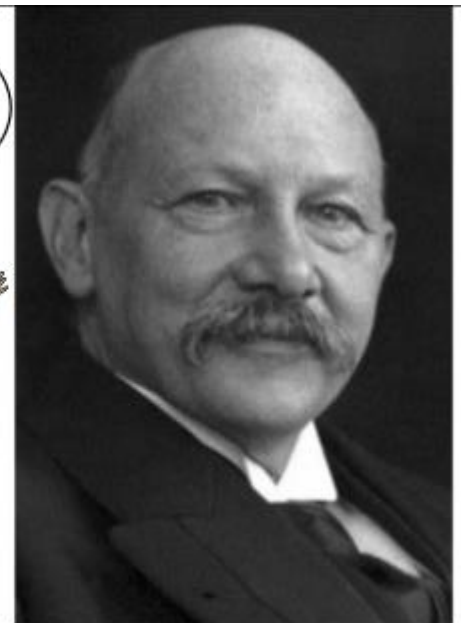
A este valor limiar de temperatura ao qual o Mercúrio adquire resistência elétrica igual a zero, é conhecida na área criogênica por "temperatura crítica = T_c ".

Neste momento, Professora Luciana fala da importância da descoberta da Supercondutividade.

Dada a importância da descoberta do Fenômeno da Supercondutividade ...

Dr. Heike K. Onnes recebeu o prêmio Nobel em Física no ano de 1913.

Este é Dr. Heike K. Onnes:





Ao final da aula os alunos Nando e Rafa comentam:



Nando ficou intrigado com o fato dos supercondutores apresentarem resistência elétrica zero a temperaturas extremamente baixas e pensou:



CAPÍTULO 2: Propriedades do Estado Supercondutor

Verificando os conhecimentos prévios dos alunos...

Antes de falarmos sobre os supercondutores, precisamos lembrar o que são isolantes, condutores e os semicondutores...



Material isolante. Fonte: (dos autores, 2021).

Plástico: isolante elétrico



Metal: condutor elétrico



Os materiais, quanto a passagem de corrente elétrica, podem comportar-se como isolantes ou condutores. Por exemplo, o cabo desta chave de fenda se comporta como isolante elétrico.

Material condutor. Fonte: (dos autores, 2021).

Metal: condutor elétrico

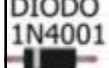
Plástico: isolante elétrico



Os metais são bons condutores de corrente elétrica. Este cabo é formado por uma parte interna com cobre para a passagem de corrente elétrica.

Semicondutores. Fonte: (dos autores, 2021).

DIODO 1N4001



CIRCUITO INTEGRADO



TRANSISTOR



LED Red (633nm)



LED2



DISPLAY



Os semicondutores, ora se comportam como isolante, ora como condutores. Estes são alguns componentes semicondutores.

A partir de agora aprofundaremos no conceito de Supercondutividade ...

...
Agora vamos aprofundar nosso entendimento sobre os Supercondutores !



Ela começa afirmando:

Os metais possuem a propriedade de diminuir sua resistividade elétrica a medida que sua temperatura diminui.

Teoricamente falando, a resistividade de um metal perfeitamente puro vai a zero quando a temperatura aproxima-se do zero absoluto.

Na prática, verifica-se que há uma certa resistividade residual devido as impurezas que os metais possuem ...

... além de imperfeições em sua estrutura cristalina e dessa forma resultam em um impedimento para a obtenção de resistividade zero nesses materiais.

Por outro lado, há materiais que apresentam um comportamento singular em relação aos metais.

Eles descrevem uma diminuição na resistividade a medida que são resfriados, mas quando sua temperatura diminui a valores próximos ao zero Kelvin (K), verificamos uma resistividade nula.

Nessa condição, o material chega ao conhecido ESTADO SUPERCONDUTOR.



A resistividade nula é uma propriedade do estado supercondutor em que sua resistência elétrica é igual a zero quando esse material é submetido a uma determinada temperatura crítica (T_c) muito baixa.



A temperatura crítica também é chamada de Temperatura de Transição. Ela consiste na temperatura que todo material possui.



Vale ressaltar que a supercondutividade não é um fenômeno raro, pois boa parte dos materiais conhecidos como condutores, na temperatura ambiente, apresentam, abaixo de T_c , a resistividade nula.



São exemplo de metais que apresentam propriedades supercondutoras: chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Alumínio (Al) e Titânio (Ti), principalmente. Entretanto, nem todo metal apresenta características supercondutora como o cobre (Cu) e o ouro (Au).



Com a afirmação de que os condutores de eletricidade, cobre e ouro, não apresentam o estado supercondutor a baixas temperaturas, os alunos ficam intrigados...

Nossa!

Impressionante!



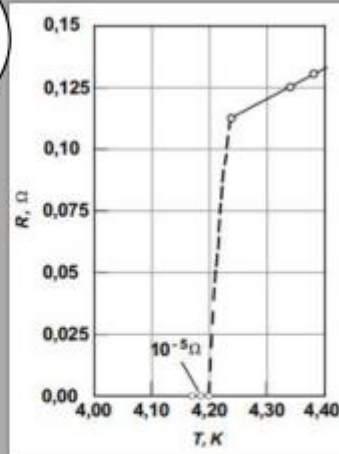
... Fantástico! O cobre por exemplo, presente na maioria dos cabos que conduzem corrente elétrica, mas não apresentam o estado supercondutor a baixas temperaturas !!!!

Como a Física é impressionante... !!

Professora Luciana prossegue com a explicação:

Vou mostrar um gráfico que descreve o comportamento da resistência elétrica do mercúrio em função temperatura obtida a partir dos estudos de Heike K. Onnes em 1911.

Este gráfico descreve a Resistência Elétrica vs Temperatura.



Fonte: (Souza 2012, p. 10).

Neste momento, a professora busca a participação ativas dos alunos ...

Alguma pergunta meus queridos alunos?

Neste momento, Fernando faz a seguinte pergunta:

Professora, a resistividade nula é a única propriedade que os materiais supercondutores apresentam?

Deixa eu pensar...

Em seguida, professora Luciana responde:

Essa **NÃO** é a única propriedade que os materiais supercondutores apresentam, como veremos mais adiante !

Além da resistência nula, um material em estado de supercondutividade apresenta também a característica de ser diamagnético perfeito.

A descoberta dessa propriedade é importante, pois a resistência nula não pressupõe diamagnetismo perfeito.

Antes de prosseguir com o conteúdo, Professora Luciana verifica alguns subsunçores: Fonte: (dos autores, 2021).

Material Diamagnético:
cabo de Cobre

Os materiais quanto a interação com o campo magnético são classificados como: ferromagnéticos, diamagnéticos e paramagnéticos.

Material ferromagnético. Fonte:(dos autores, 2021).

Ímãs de Neodímio

Material ferromagnético

Os materiais ferromagnéticos são atraídos pelo campo magnético enquanto que os diamagnéticos são repelidos.

Materiais paramagnéticos...

Já os paramagnéticos são fracamente atraídos pelos ímãs. São eles: Alumínio, Magnésio, Bário, basicamente.

Voltando ao conteúdo dos supercondutores:

A qualidade de diamagnetismo perfeito nos supercondutores foi batizada por efeito Meissner, em homenagem ao físico alemão Walther Meissner, cuja descoberta foi realizada em 1933.



... , ou seja, a permeabilidade magnética (μ) deve ser menor que a permeabilidade magnética do vácuo (μ_0). Em outras palavras a razão μ/μ_0 deve ser menor que um (1).



Acompanhem minha explicação a partir destas imagens: ...



Considerando a indução magnética B (campo magnético na amostra), definida por: $B = \mu H$, sendo μ a permeabilidade magnética do meio e H a intensidade do campo magnético externo. Um material para ser considerado diamagnético apresenta um valor de μ menor que μ_0 ...

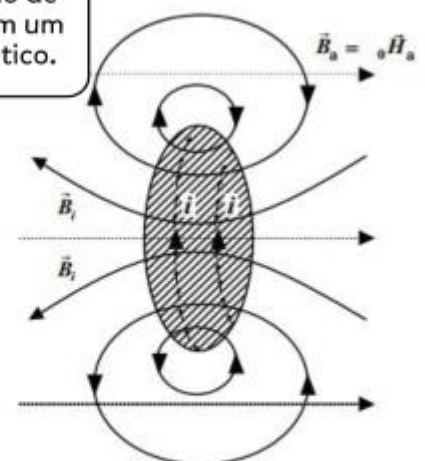


Sendo B = campo magnético dentro da amostra e H o campo magnético externo, exemplo: imã.

Supondo $B=0$, temos como consequência um $\mu=0$, com isso, percebemos que um material supercondutor pode ser considerado como um material diamagnético perfeito.



Meus queridos alunos, vejam a distribuição de fluxo magnético em um material diamagnético.



Fonte: (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.274).

Agora, vejamos o comportamento de um corpo no que não apresenta densidade de fluxo resultante no seu interior igual a zero quando um campo magnético é aplicado. A esse comportamento chamamos de diamagnetismo perfeito.

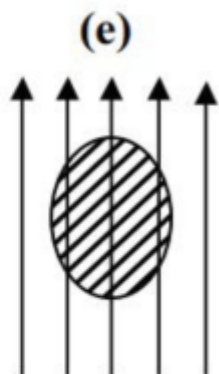


Fonte:(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.275).

Um condutor está em temperatura ambiente e nele é aplicado um campo magnético com densidade de de fluxo interno praticamente igual ao campo aplicado.



Temperatura ambiente

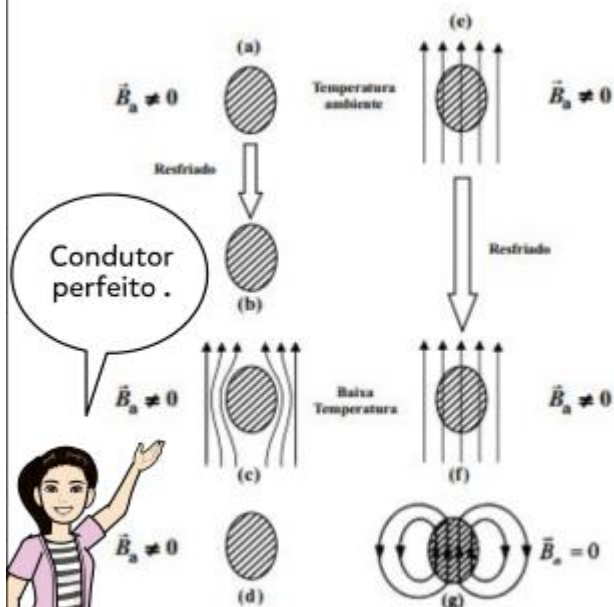


(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.275).

(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.275).



Aqui vemos diferentes estados de magnetização com condições externas iguais. Logo, o estado de magnetização em um condutor perfeito não é unicamente determinado por condições externas mas recebe influência da sequência que resultaram nestas condições.

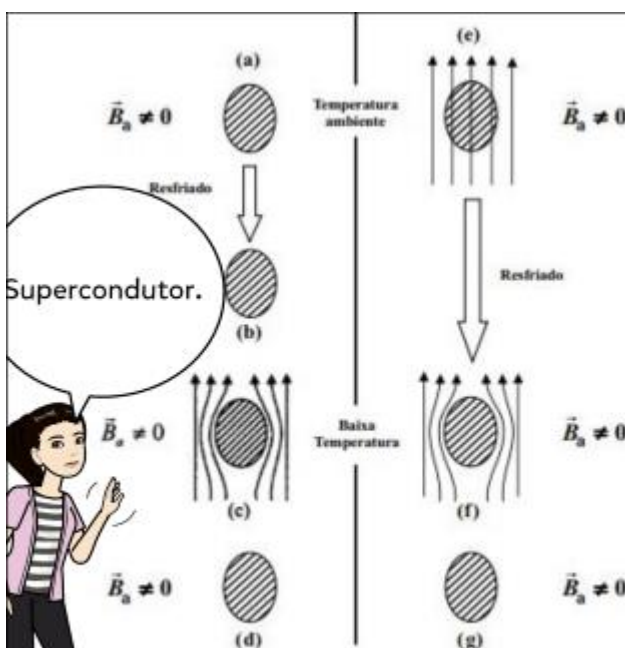


(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.275).

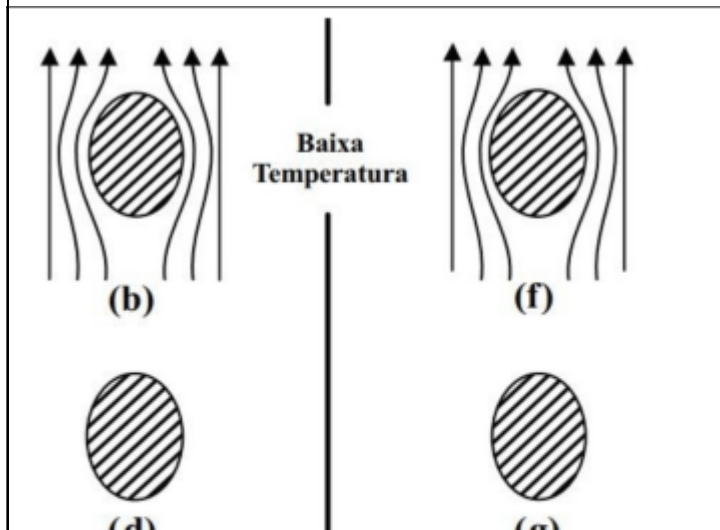
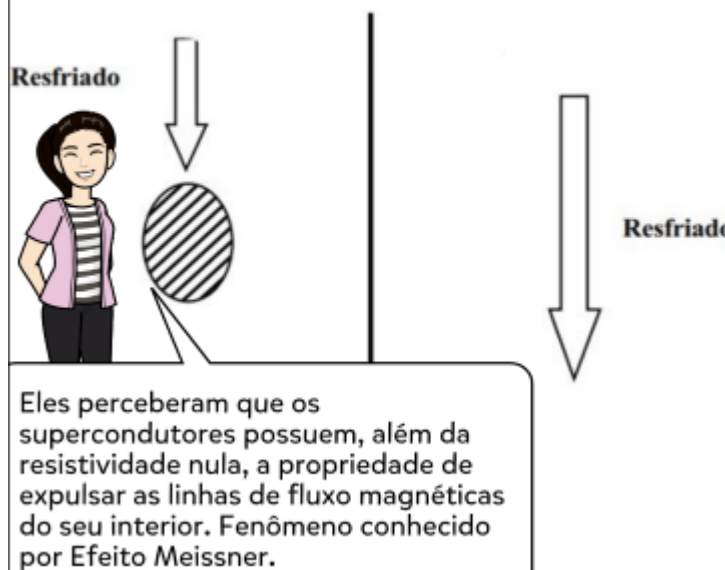
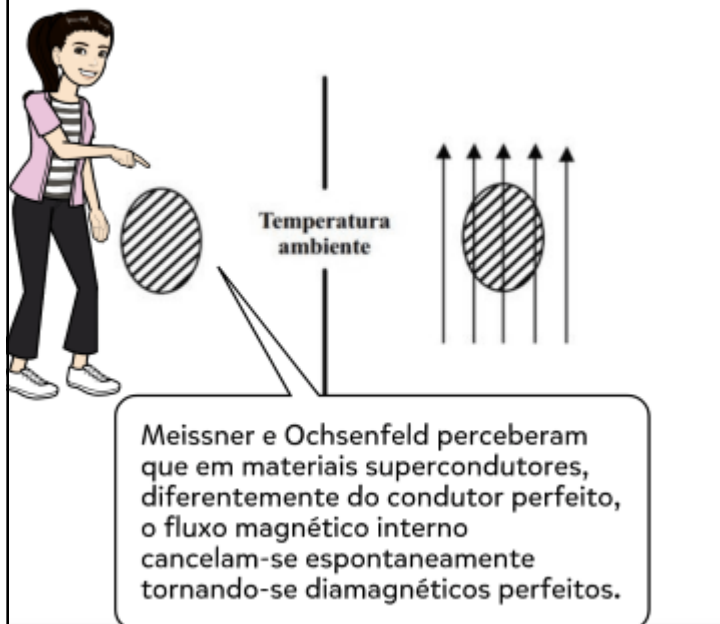
(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.275).



Após o resfriamento, o condutor com mesmas condições de temperatura apresentam comportamento diferentes.



(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.276)



"O estado final do supercondutor depende somente dos valores de campo aplicado e temperatura e não da sequência na qual estes valores foram obtidos."(OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998, p.276)

Fora da escola, Nando e Rafa comentam sobre o que aprenderam na aula de Física:



CAPÍTULO 3: Teorias da Supercondutividade

Professora Luciana vai comentar sobre as teorias que explicam o fenômeno da supercondutividade.





Nessa Teoria há duas equações que descrevem o campo elétrico e magnético no interior do supercondutor.



A primeira equação de London diz respeito a resistividade nula.



A segunda equação de London visa explicar o efeito Meissner.



Estudaremos esse efeito mais adiante.



A teoria de London é considerada uma teoria clássica acerca do fenómeno da supercondutividade.



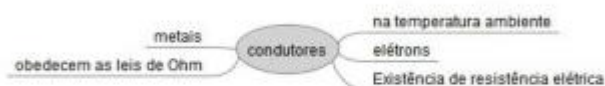
A partir dessa teoria, surge o conceito de superelétrons...

Os superelétrons são responsáveis pela supercondutividade e NÃO são afetados pela resistência elétrica...

Diferentemente dos elétrons normais que obedecem a lei de Ohm e são afetados pela resistência elétrica. Por isso, dissipam energia por Efeito Joule.

Neste momento, Professora Luciana compara as características dos condutores e dos supercondutores a partir de mapas mentais. Fonte: Dos autores (2021).

MAPA MENTAL 1: CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CONDUTORES.



MAPA MENTAL 2: CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SUPERCONDUTORES, COM A TEORIA DE LONDON.



Agora ela fala de outra teoria que descreve a supercondutividade.

Outra teoria que descreve o fenômeno da supercondutividade é teoria de Ginzburg-Landau .

No ano de 1950, os cientistas russos L. D. Landau e V. L. Ginzburg apresentaram uma teoria com a finalidade de explicar as propriedades termodinâmicas da transição do estado normal para o estado supercondutor.

Essa teoria apresenta um avanço em relação a teoria anterior, por se tratar de uma teoria que leva em consideração fundamentos da mecânica quântica.

A teoria de Ginzburg-Landau parte da premissa de que há uma densidade de superelétrons (N_s) e elétrons normais ($N-N_s$), sendo N a densidade total dos elétrons em um metal.

O comportamento dos superelétrons é descrito como uma função de onda Ψ , cuja interpretação física é dada por: $|\Psi|^2 = N_s$. Não vamos aprofundar no formalismo matemático dessa teoria...

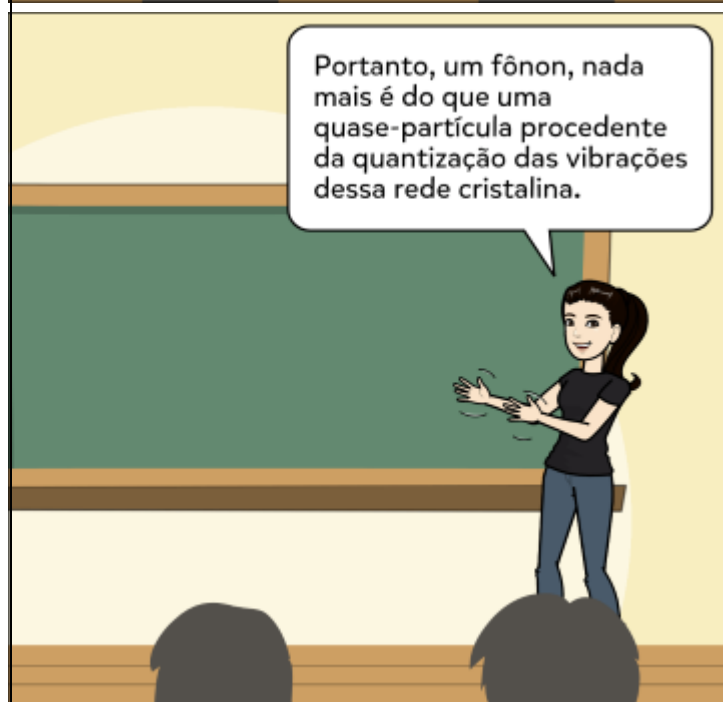
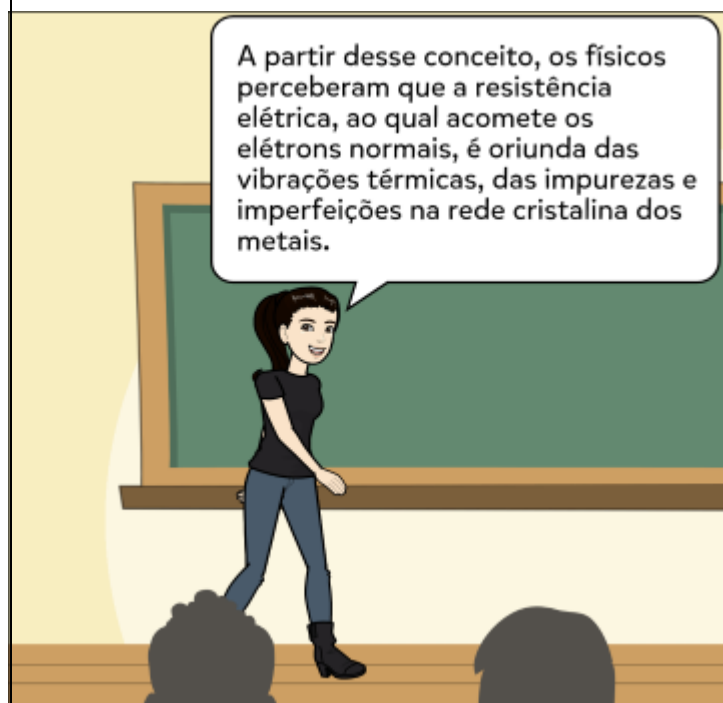
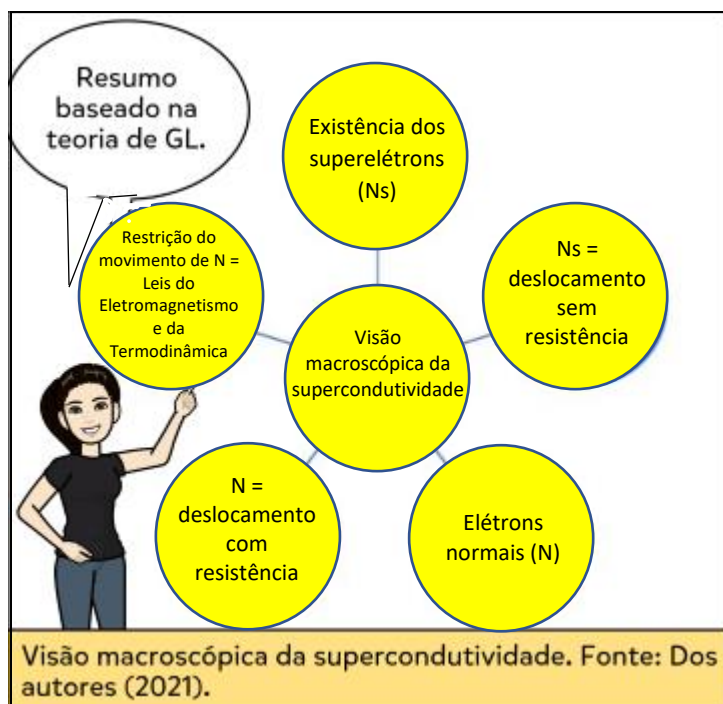
...
mas vamos apresentar algumas previsões extraídas dela:

1º existência de um campo crítico termodinâmico (H_c). Acima dele o metal passa de um estado supercondutor para o estado normal.

Lembrando que devemos considerar que o material já está a uma temperatura abaixo de T_c .

2º Comprimento de penetração (λ_L). Obtido a partir da minimização da energia livre com campo aplicado em relação ao potencial vetor e considerando o parâmetro de ordem Ψ não varia com a posição, logo $\nabla\Psi=0$.

3º Comprimento de coerência (ξ): "O comprimento de coerência representa o comprimento ao longo do qual o parâmetro de ordem Ψ varia (mede a escala de variação espacial de Ψ). A equação unidimensional que a define é: $\xi^2(T) = \hbar^2 / 2m|\alpha|$ "



Com o aprofundamento dessa ideia, percebeu-se que a interação elétrons-fônon, na verdade, pode resultar na interação atrativa entre dois elétrons dentro da rede cristalina...



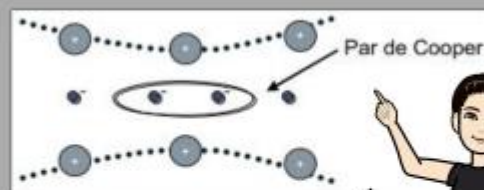
... com o deslocamento da rede cristalina mais um certo atraso temporal, resulta nas condições ideais para a formação de pares de elétrons. Posteriormente,...



... o físico Leon Cooper, demonstrou que, em certas condições, é possível a formação de pares de elétrons no interior de uma rede cristalina. Posteriormente, batizada de pares de Cooper.



Frisa-se que os pares de Cooper são a forma correta de interpretação dos superelétrons, definidos nas duas teorias anteriores.



Vejam o comportamento do par de Cooper na rede cristalina do metal.



Referência: (COSTA; PAVÃO, 2012, p.7)

Esses subsídios são unidos em uma formulação teórica batizada por : Teoria BCS.



O acrônimo BCS se refere as iniciais dos cientistas John Bardeen, Leon Cooper e John Schrieffer.



John Bardeen, Leon Cooper e John Schrieffer, respectivamente.



Devido a importância desta teoria, eles receberam o Prêmio Nobel de Física em 1972.



Diante do exposto, podemos concluir que ...



1º A luz das ideias da Mecânica Quântica, depreendemos que a supercondutividade é um fenômeno quântico em escala macroscópica;

Por quê? Professora!!

Em linhas gerais: Devido a um estado coletivo, como o Estado Supercondutor descrito pela teoria BCS, usa como base um acoplamento fraco, exibindo comportamentos quânticos que podem ser observados em toda a amostra.



2º A supercondutividade é, na verdade, uma maneira que a natureza tem para organizar as partículas no interior de um material condutor.

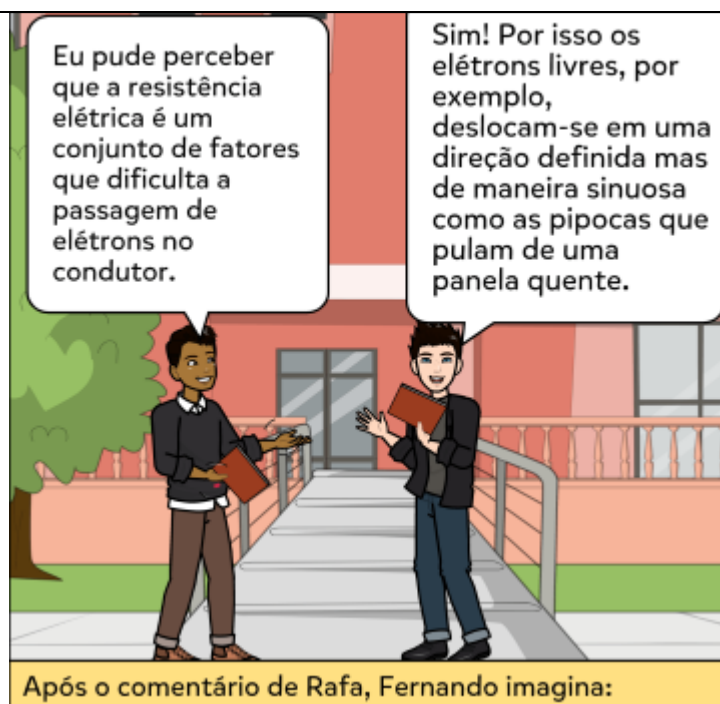
Tchau queridos. A partir da próxima aula teremos a presença da professora Maud Souza.

Tchau professora !!!



Fora da escola, Fernando e Rafael cometam sobre o que aprenderam na aula...







CAPÍTULO 4: Tipos de Supercondutores

Esta parte será apresentada pela professora de Física Experimental, Maud Souza.

A partir de agora, o foco das aulas será direcionado para uma abordagem prática...

Professora Maud chega à sala de aula.

Oi queridos !

Oi professora!

Professora Maud inicia a aula explicando a respeito de uma forma de classificar os supercondutores (SC).

Vamos falar sobre a classificação dos supercondutores do tipo I e II.

Existem outras classificações dos SC? Professora Maud!

Classificações dos SC:

Há a High Temperature Critical (HTS) e a Low Temperature Critical (LTS); Além da classificação dos Supercondutores Convencionais e Não-Convencionais.

Os supercondutores do Tipo I.

Começando com a evolução história da T_c e seus supercondutores correspondentes.

A partir de sua descoberta, a supercondutividade, foi objeto de pesquisa cuja finalidade era de encontrar materiais que apresentassem essa propriedade...

... Naturalmente, os metais foram os primeiros materiais a serem pesquisados, devido ao fato de serem bons condutores de eletricidade em temperatura ambiente.

ANO	T_c (K)	MATERIAL
1929	9,25	Nióbio
1941	16	Nióbio-Nitrogênio
1953	17,5	Vanádio-Silício
1986	23,2	Nióbio-Germânio

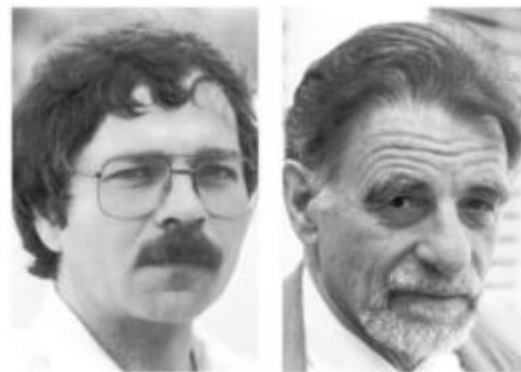
Vejamos a evolução de T_c e seus respectivos materiais supercondutores.

Adaptado de (BRANÍCIO, 2001, p.381)

Nos anos 80, os físicos descobrem que há cerâmicas com propriedades supercondutoras. Surge então a chamada: "supercondutividade em altas temperaturas".

Importante lembrar que para supercondutividade em altas temperaturas a teoria BCS é ineficaz para explicar seu comportamento !!

Os cientistas Alex Muller e Georg Bednorz descobrem a primeira cerâmica supercondutora: $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$, em 1986.



Devido a importância desta descoberta, eles foram laureados com o Prêmio Nobel em Física de 1987.



Fonte: (Unicentro)

Vejam a importância dessa descoberta: A existência da supercondutividade em materiais (cerâmica) que são isolantes elétricos.



Avançando no estudo das cerâmicas supercondutoras, os físicos descobrem o composto $\text{Hg}_{0.8}\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.3}$, com T_c de 138K. Outra vitória para ciência.

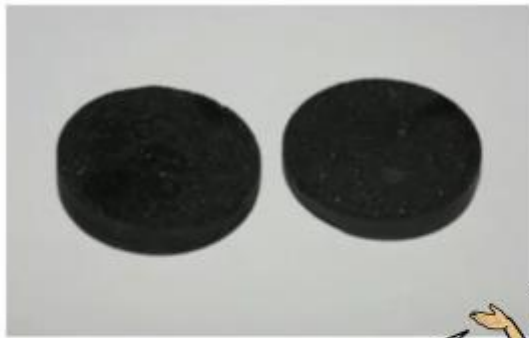


Uma verdadeira revolução na Física ocorreu com a descoberta, 1986, do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ou YBCO, pelos cientistas Paul Chu e Mang-Kang Wu.



A supercondutividade é notada neste material à temperatura de 93K, acima da temperatura de liquefação do nitrogênio, que é de 77K.

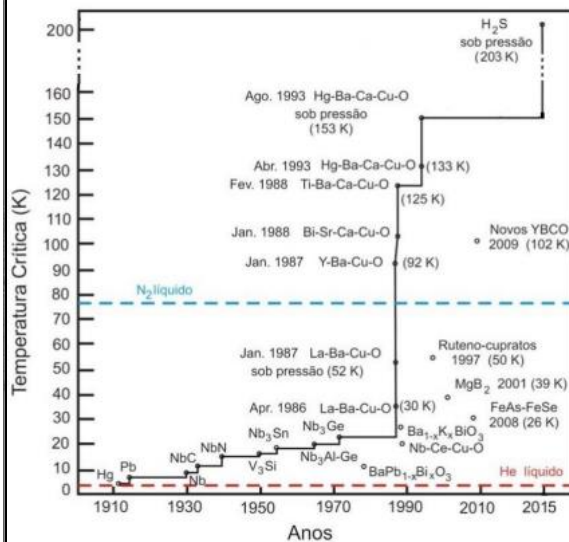




Estas são duas amostras de YBCO, utilizadas para experimentos de levitação magnética.

Fonte: (Onyxmet).

Apesar do estudo com ligas metálicas ser deixada de lado, a comunidade científica fica animada com a descoberta em 2001 do composto metálico MgB_2 e sua T_c de 39,2K.



Evolução da T_c !

Fonte: (Lepich, 2017).

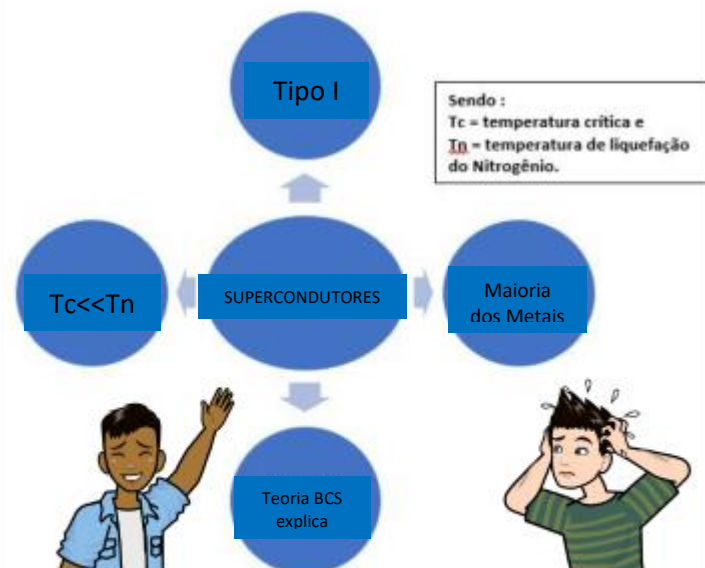
Neste momento, Nando e Rafa conversam...

Cada vez mais as pesquisas com supercondutores alcança valores de T_c mais próximos à temperatura ambiente !

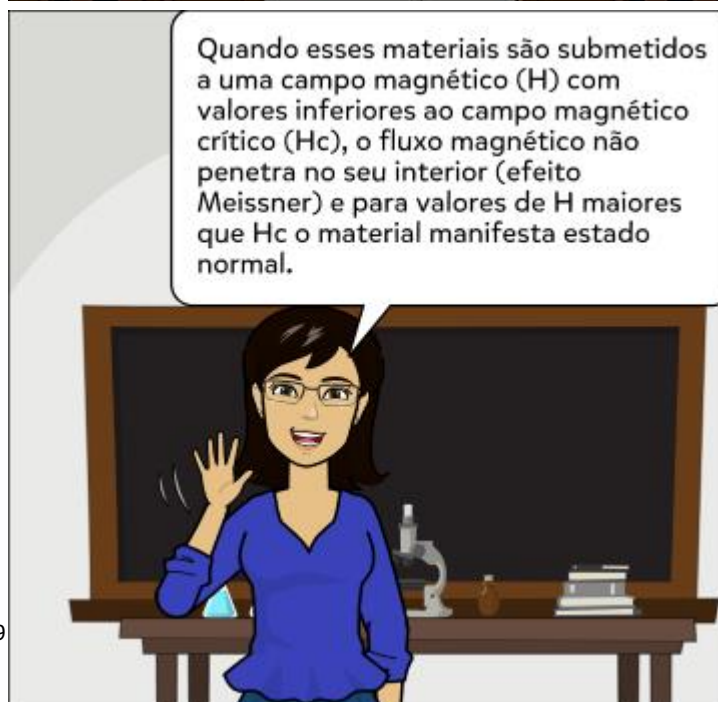
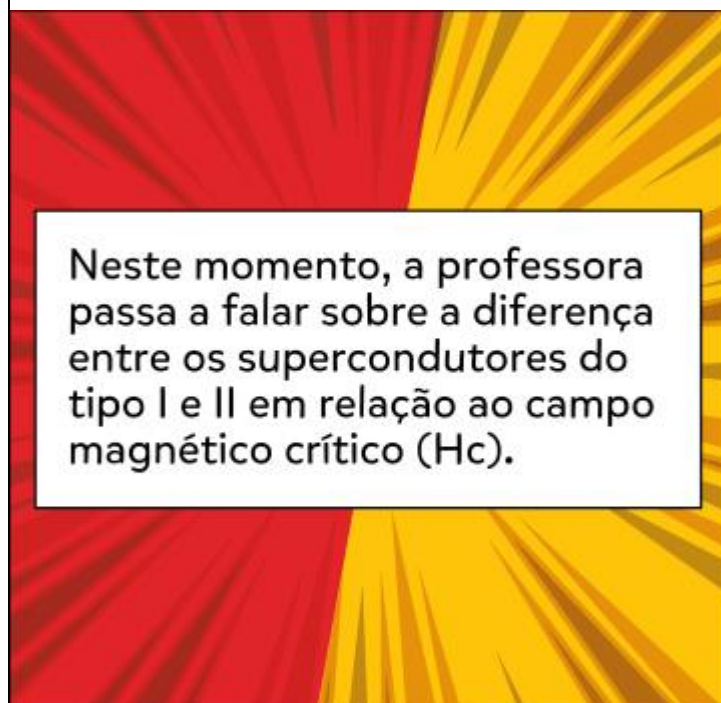
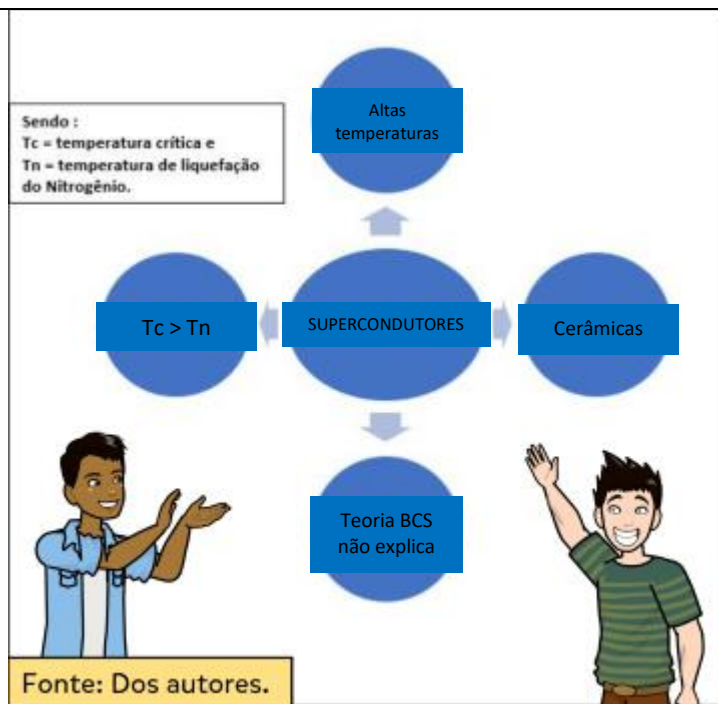
Que maravilha !!

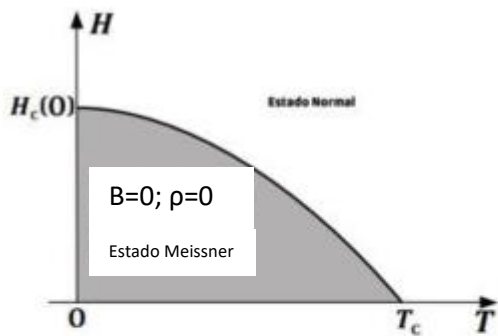


Rafa, eu consigo resumir o que vimos até aqui com o seguinte mapa mental:



Fonte: Dos autores.





Este gráfico nos mostra o comportamento do campo magnético (H) nos supercondutores do tipo I.

Fonte: (MORI, 2008, p.24).

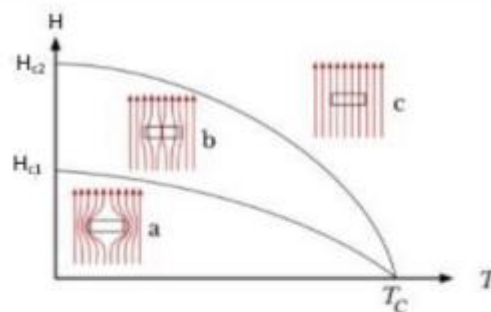
Devido essa característica, os supercondutores do tipo I não apresentam aplicação prática utilizável. Com exceção do MgB_2 .

... De fato, a exceção é a utilização do Diboreto de Magnésio (MgB_2). Muito utilizado na fabricação de fios e fitas supercondutoras.

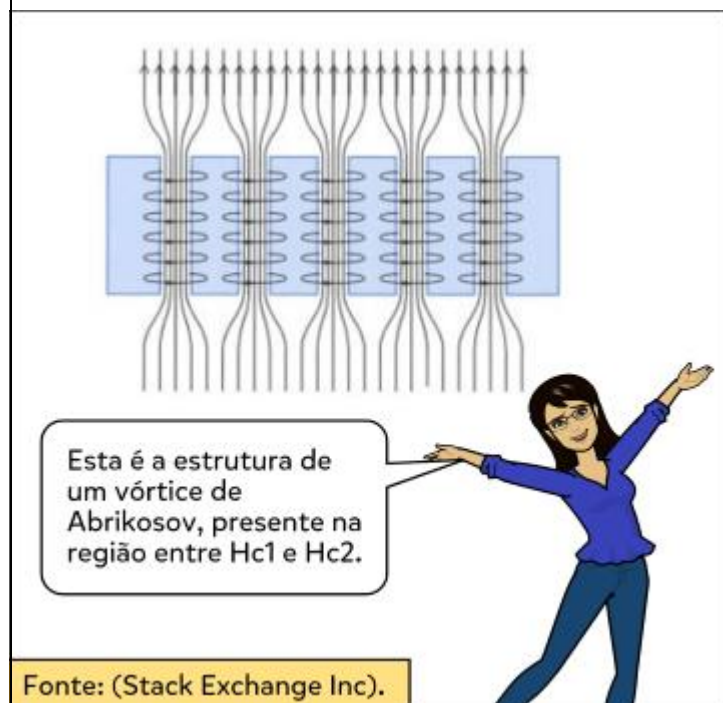
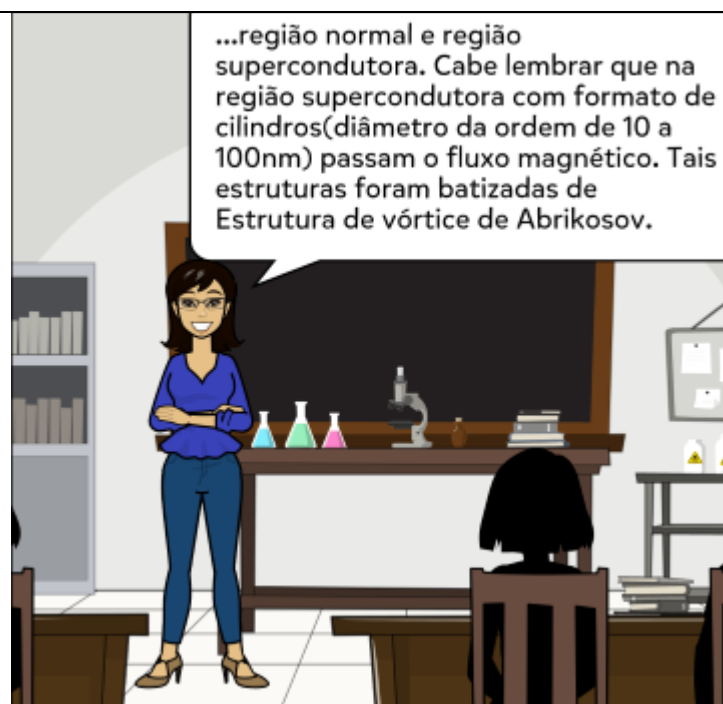
Falando agora dos supercondutores do Tipo II.

Na presença de H , os do tipo II apresentam dois tipos de campos críticos (H_{c1} e H_{c2}). H_{c1} é o campo abaixo da qual ocorre o efeito Meissner...

...Entre H_{c1} e H_{c2} , há uma penetração parcial do fluxo do campo magnético no interior do material, mas ainda há o estado supercondutor. Mas em valores acima de H_{c2} não há supercondutividade.



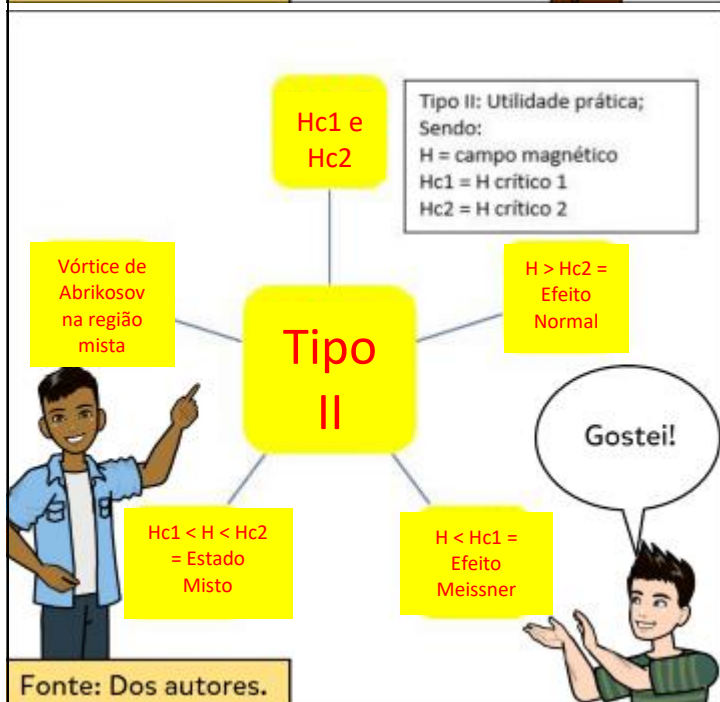
Fonte: (Stringfixer).



Fora da sala de aula, nossos protagonistas comentam:



Fonte: Dos autores.



Fonte: Dos autores.



CAPÍTULO 5: Criogenia e a Supercondutividade

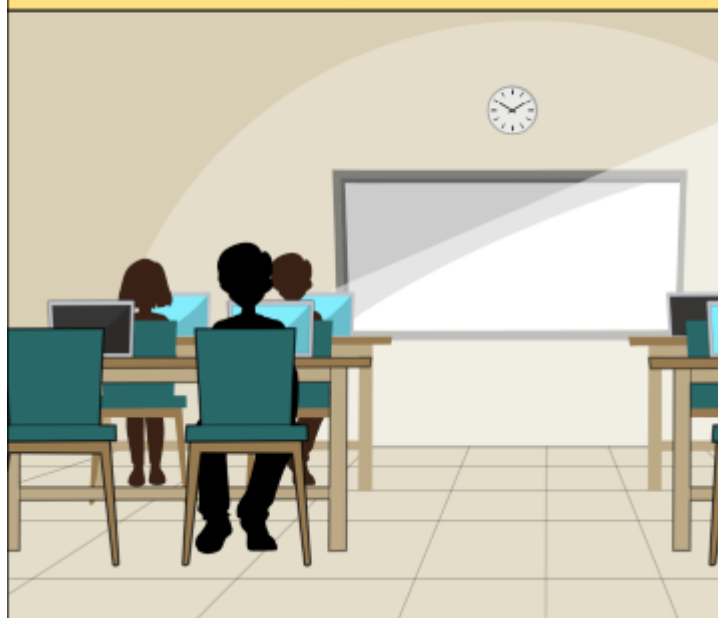
Nesta aula será apresentada uma breve visão sobre a Criogenia e sua implicação na descoberta do fenômeno da Supercondutividade. Posteriormente, os alunos terão a oportunidade de conhecer (visitação) o processo de fabricação do Nitrogênio líquido (NL).



Oi queridos !
Vamos retomar
nosso estudo?

Sim professora !

A etapa 1 da aula: Abordaremos a história da Física das baixas temperaturas e a liquefação do Hélio.



Queridos, o desenvolvimento tecnológico para liquefação do Hélio, no início do século XX, foi o primeiro passo para a descoberta da supercondutividade.

A Supercondutividade só foi possível com o desenvolvimento da Física de baixas temperaturas. Ela conectou uma diversidade de pesquisas de muitos cientistas de vários países, principalmente da Europa do século XIX e início do XX.

Enfatizarmos que a liquefação dos gases nobres, com destaque para o Hélio contribuiu para o progresso em diversidade de áreas como: medicina, eletrônica, geração de energia, comunicações, só para citarmos algumas.

A liquefação bem sucedida do Hélio foi realizada em 10 de junho de 1908, no laboratório criogênico da Universidade de Leiden, Holanda, pelo Dr Heike K. Onnes.

Veja a placa em alusão à primeira liquefação do Hélio:



Fonte: (Wikiwand).

Dr Onnes, reuniu a tecnologia, infraestrutura criogênica e teorias fundamentais que três anos mais tarde culminaram com a descoberta da Supercondutividade.

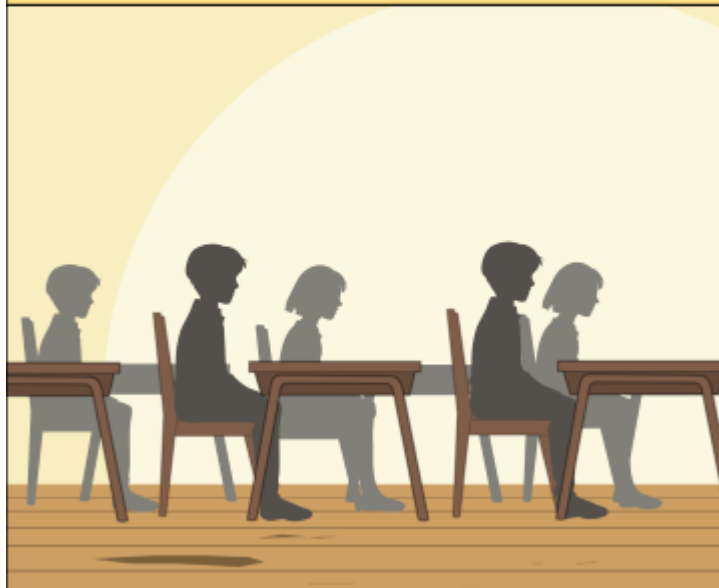
Doutor Onnes visava verificar experimentalmente a teoria dos gases ideais de Van der Waals. Essa foi a motivação que viabilizou o estudo da matéria em temperaturas cada vez mais baixas.

Dr Onnes tinha a sua disposição um dos mais modernos laboratórios criogênicos da época. Nele foi liquefeito primeiramente o Oxigênio (90,15 K), posteriormente o Nitrogênio (77,15 K) até a liquefação bem sucedida do Hélio (2,15 K).

Com a liquefação do Hélio foi possível chegar o mais próximo do zero absoluto (0 K).



Neste momento, a professora informa sobre a visita à empresa especializada na fabricação de gases e líquidos...



Agora vamos conhecer o processo de liquefação do Nitrogênio e pegar um pouco dessa substância para fazermos uma experiência ao término deste conteúdo.



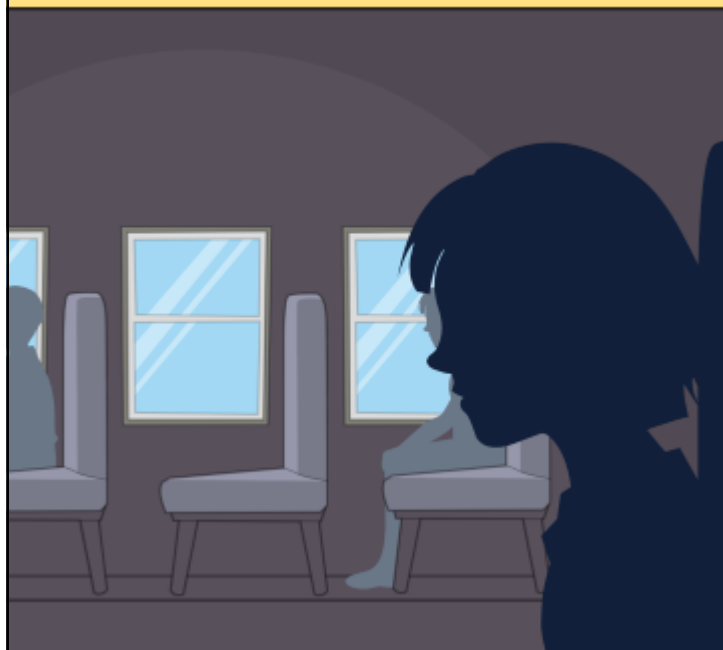
Oba !!!

Legal !!!

A turma se encaminha ao ônibus escolar.



Dentro do ônibus escolar, Nando e Rafa conversam...



Que legal !
Vamos ver na prática
como é a Física das
baixas temperaturas !

É mesmo
Rafa! Mas eu
tenho uma
dúvida!!!





O silêncio toma conta e os dois não falam mais nada até a chegada à empresa.



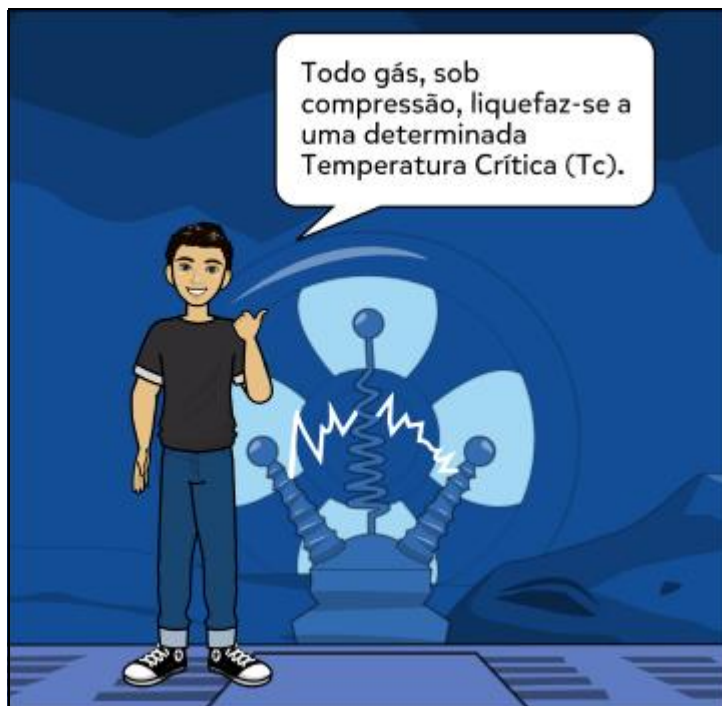
Prof. Márcio leva a turma para dentro da empresa.





Neste momento, Nando e Rafa lembram da conversa que tiveram no ônibus escolar.





Após o processo de produção, temos que distribuir o NL.



O NL segue para: Hospitais, clínicas e indústria alimentícia, principalmente.

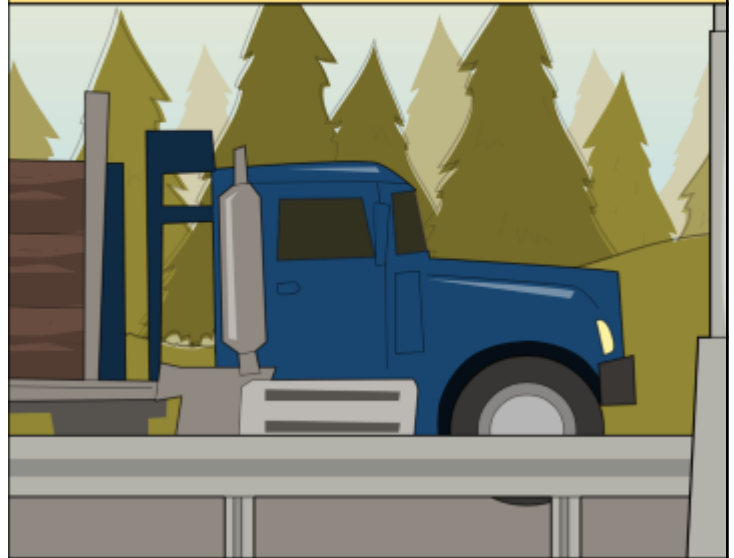
Em hospitais, ele é usado para preservar sangue e outros materiais biológicos. Ele é o criógeno usado para resfriamento no transporte de órgãos para transplante. Podendo ser usado em criocirurgias.



Na indústria de alimentos ele é a substância criogênica ideal no congelamento rápido de alimentos pois reduz a deterioração, preservando a sua coloração e o sabor.



Dependendo do volume de consumo, o NL pode ser transportados em tanques criogênicos até chegar ao local de consumo onde são transferidos para tanques criogênicos instalados nesses locais.



Nas clínicas especializadas, ele serve para controlar a temperatura em aplicações de resfriamento de reatores criogênicos e preservar amostras biológicas.



A visita é finalizada e a turma se despede do professor Márcio...



CAPÍTULO 6: Principais Aplicações Tecnológicas

Indo à escola, os protagonistas comentam:

Nando,
como é interessante
o Fenômeno da
Supercondutividade...

Verdade Rafa, me
chamou atenção a
descoberta, seus
conceitos e a
importância da Física das
baixas temperaturas para
o estudo dos
supercondutores.

Mas
onde podemos
ver a utilização
deles?

Quais tecnologias
do nosso dia a dia
são feitas a partir
de materiais
supercondutores?

Muito aprendizado sobre os SCs e mais dúvidas
surgindo...

Vamos
pra aula...

É melhor!

Profa. Maud fala das aplicações tecnológicas...

Vamos
distribuir as
aplicações
tecnológicas nos
seguintes grupos:

APLICAÇÕES

1-Sistema de Potência Supercondutora

2-Dispositivos Passivos Supercondutores

3-Aplicações em Metrologia Quântica

4-Detectores Supercondutores de Radiação e
Partículas

5-Dispositivos de Interferência Quântica (SQUIDS)

6-Eletrônica Digital Supercondutora

7-Outras aplicações

Frise-se que
este é um rol
não-exaustivo
de aplicações

Fonte: Adaptado de (SEIDEL, 2015).

Nando e Rafa ficam impressionados com a diversidade de aplicações.

Maravilha!!!

Nossa!!!

Meus queridos, vejam a quantidade de aplicações dos SCs. Estudar cada uma delas consistem em um curso extenso de Física. Dada a diversidade desse tema.

Balizados por tudo que já estudamos até agora, elencamos algumas aplicações para podermos falar com um pouco mais de substância.

Sistema de Potência Supercondutora

Dispositivos supercondutores de alta temperatura (HTS) apresentam uma diversidade de aplicações tecnológicas confiáveis e trazem inúmeras vantagens em relação aos dispositivos usuais neste segmento.

Nos últimos anos, foram produzidos inúmeros protótipos bem sucedidos baseados em HTS para energia elétrica, tais quais: cabo de transmissão, limitador de corrente de falha, transformadores, motores/geradores, ímãs para armazenamento de energia magnética supercondutora (SMES), reator de corrente contínua (CC), basicamente.

Fonte: (WANG, 2015).

Cabos Supercondutores. Fonte: (WANG, 2015, p.391).

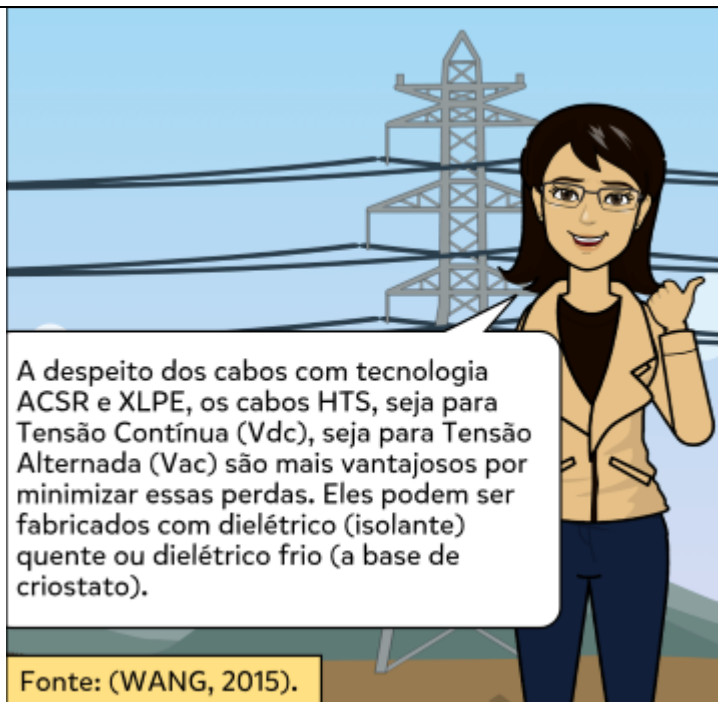
Duas considerações: 1º Os cabos de transmissão são baseados em alumínio reforçado com aço (ACSR) nas linhas aéreas e cabos subterrâneos com polietileno reticulado (XLPE). 2º Em cidades com grande densidade populacional, fica praticamente inviável a construção de novos sistemas de fornecimento de energia.

Na seara da viabilidade técnica destes cabos ...

...Os cabos HTS apresentam capacidade de transferência de energia em torno de 3 a 5 vezes maior em relação os cabos XLPE. (Fonte: WANG, 2015, p.391)

$$P = E \times I$$

O sistema entrega energia a uma taxa de Potência (P)=Tensão (E)x Corrente (I). Nesse sentido, quanto maior (I) mais perdas por efeito Joule teremos.



A despeito dos cabos com tecnologia ACSR e XLPE, os cabos HTS, seja para Tensão Contínua (Vdc), seja para Tensão Alternada (Vac) são mais vantajosos por minimizar essas perdas. Eles podem ser fabricados com dielétrico (isolante) quente ou dielétrico frio (a base de criostato).

Fonte: (WANG, 2015).



Fonte: Adaptado de (WANG, 2015, p.392)

o SMES e o FESS ou o (SFES). Fonte:(SEIDEL, 2015, p.715; WANG, 2015).

Nesse escopo, duas tecnologias com SC se destacam: a superconducting magnetic energy storage (SMES) e a flywheel energy storage system (FESS). Elas são baseadas em rolamentos magnéticos supercondutores ou SMBs, do inglês (superconducting magnetic bearings).



Armazenamento de Energia

Há diversas tecnologias neste segmento apresentando vários níveis de desempenhos, relacionados à capacidade de energia e potência, tempo de resposta, número de ciclos de carga/descarga e eficiência. Fonte: (SEIDEL, 2015, p.660).



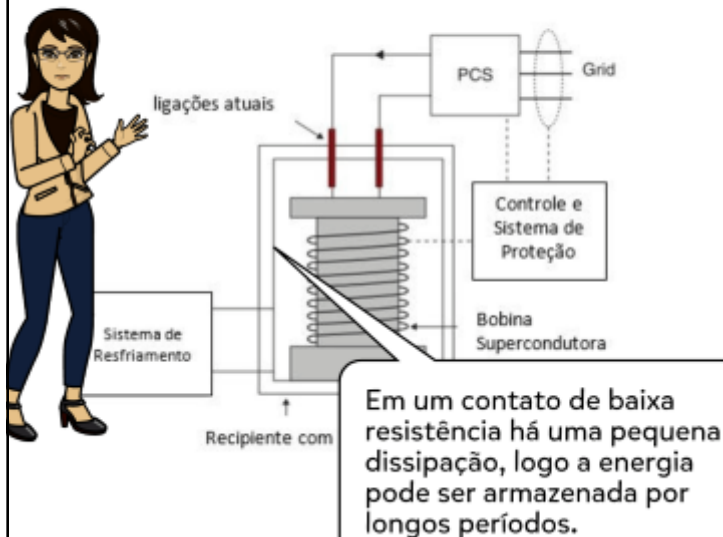
Densidade de energia magnética. Fonte: (KNIGHT, 2009, p.311)

$$U_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

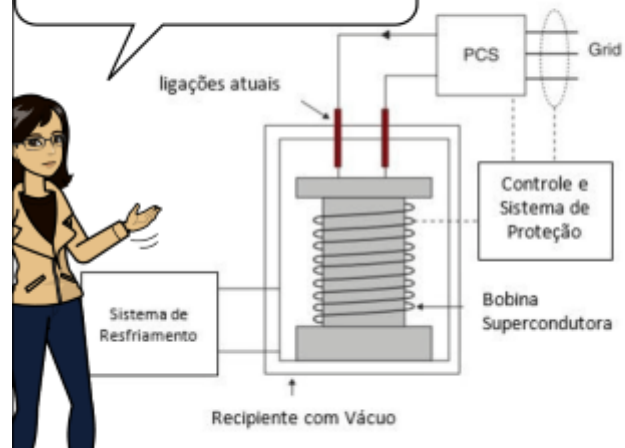


Quando uma corrente é forçada em um indutor, um campo magnético (B) é gerado. Uma energia total (UB) é associada a (B). Se este indutor for supercondutor, não há resistência elétrica nele e supondo a criação de um curto-circuito perfeito em seus terminais, a energia magnética pode ser armazenada indefinidamente.

A superconducting magnetic energy storage (SMES)

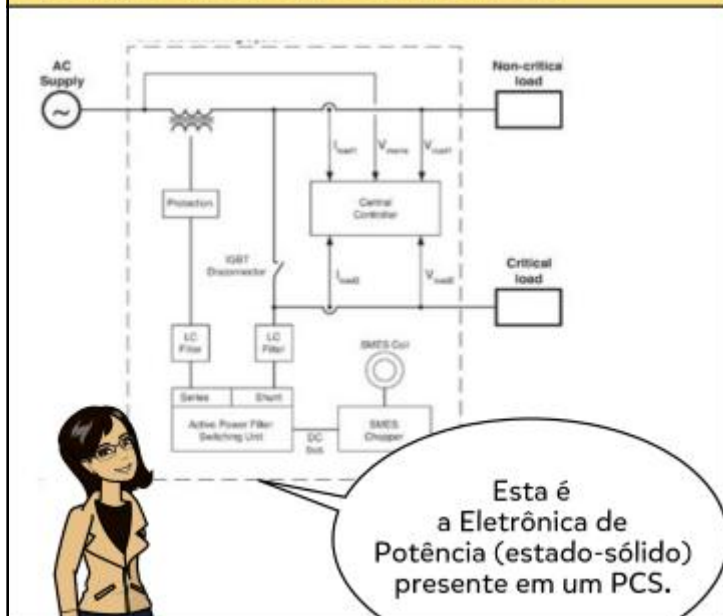


Nele há uma bobina supercondutora conectada ao sistema de energia trifásico a partir de um PCS de estado sólido.



Descrevendo o SMES. Fonte: Adaptado de (SEIDEL, 2015, p.665).

Diagrama elétrico simplificado do Power Conditioning System (PCS). Fonte: (researchgate, 2022)



Vantagens do SMES. Fonte: (SEIDEL, 2015).

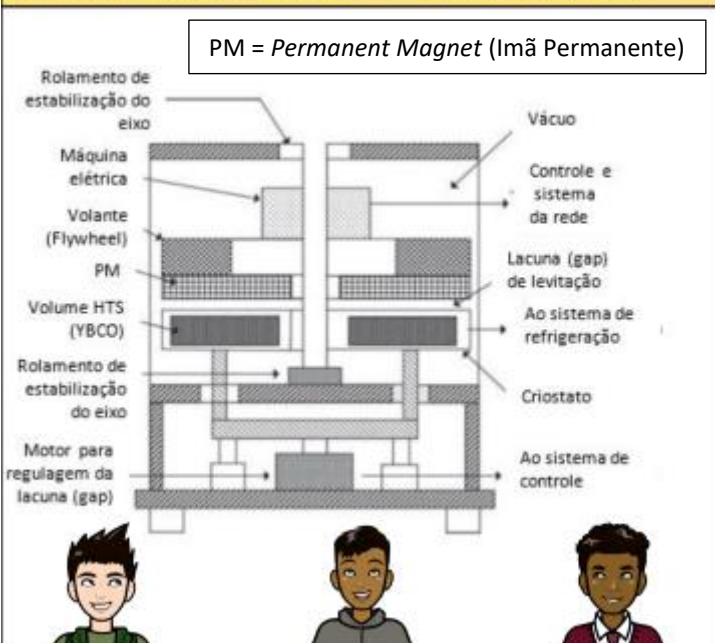
- Tempo de resposta rápido do modo de espera à potência total;
- Alta potência de entrega;
- Número (teoricamente) infinito de ciclos de carga-descarga sem perdas;
- Baixas perdas durante as fases de carga e descarga.



Superconducting Flywheel Energy Storage (SFES) ou Flywheel Energy Storage System (FESS)



Estrutura conceitual do SFES. (WANG, 2015, p.411)



Sistemas que compõem o SFES. Fonte: Adaptado de (WANG, 2015, p.411)



Flywheel (Volante). Adaptado de (WANG, 2015, p.412)

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Esta equação mostra a energia armazenada (E). Ela pode ser aumentada com o aumento do Momento de Inércia (I) ou com o aumento da velocidade angular (ω).



Sistema de Levitação Magnética. Fonte (WANG, 2015)

PM = *Permanent Magnet* (Ímã Permanente)



Devido ao efeito Meissner, uma força repulsiva eletromagnética é criada entre o supercondutor (YBCO) e o PM, resultando na levitação de forma estável no campo magnético gerado pelo PM.

Sistema da máquina elétrica (WANG, 2015)



A máquina elétrica deve ser capaz de atuar como motor ou gerador em condições de direção de rotação fixa. Durante o armazenamento de energia, a velocidade de rotação do flywheel aumenta continuamente; no entanto, diminui gradativamente durante a liberação de energia.

Sistema Criostático e Vácuo. (WANG, 2015. p.412)



O supercondutor no SFES funciona em ambiente criogênico. Um ambiente de vácuo também é necessário para reduzir o atrito entre as moléculas de ar e as peças rotativas.

Aplicações. (WANG, 2015, p.412)



O SFES é um dos sistemas eletromecânicos de armazenamento de energia com as vantagens de longa vida útil, alta densidade de energia e baixa perda rotacional devido aos rolamentos supercondutores. No campo aeroespacial, o SFES tem aplicações potenciais, pois pode substituir baterias e controlar o desempenho de naves espaciais.

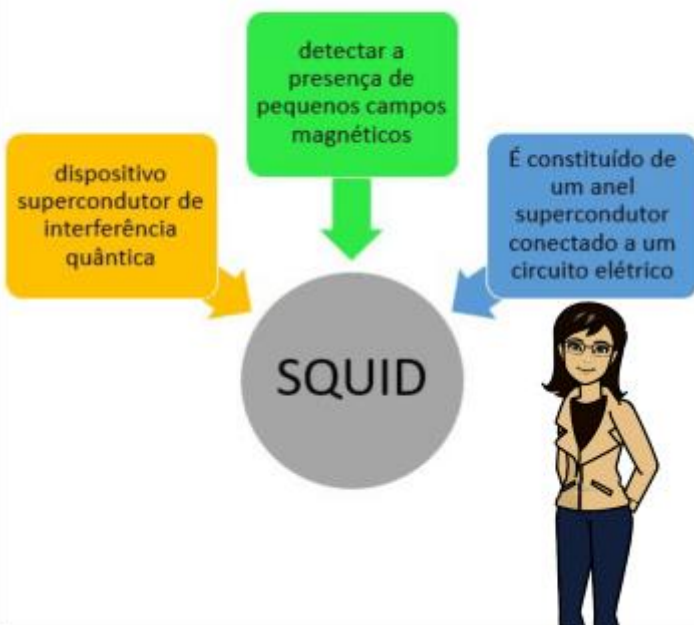
Dispositivos Supercondutor de Interferência Quântica

O SQUID é fundamental em aplicações de sistemas de medição elétrica e magnética ultrasensíveis. Em muitos casos, o SQUID oferece a capacidade de fazer medições onde nenhuma outra metodologia é possível. Fonte: (SEIDEL, 2015, p.949)

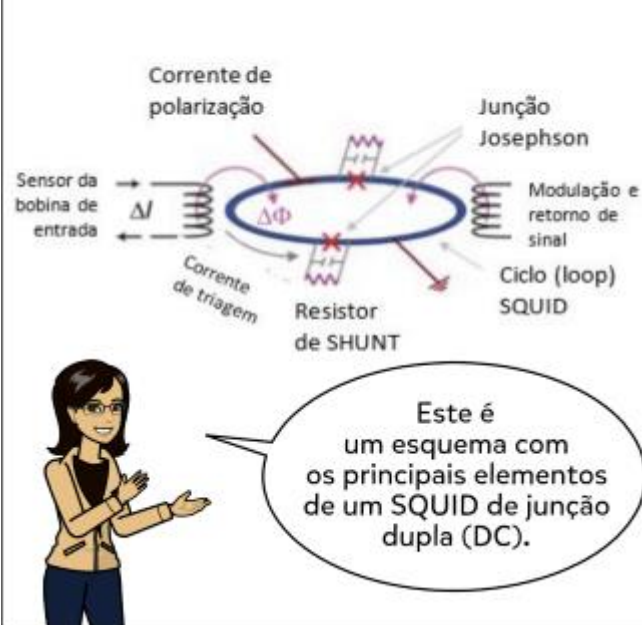


A capacidade de um sensor SQUID para medir mudanças em campos magnéticos e correntes é baseada em quatro efeitos. Fonte: (SEIDEL, 2015, p.949)

Características gerais. Fonte: dos autores (2021).

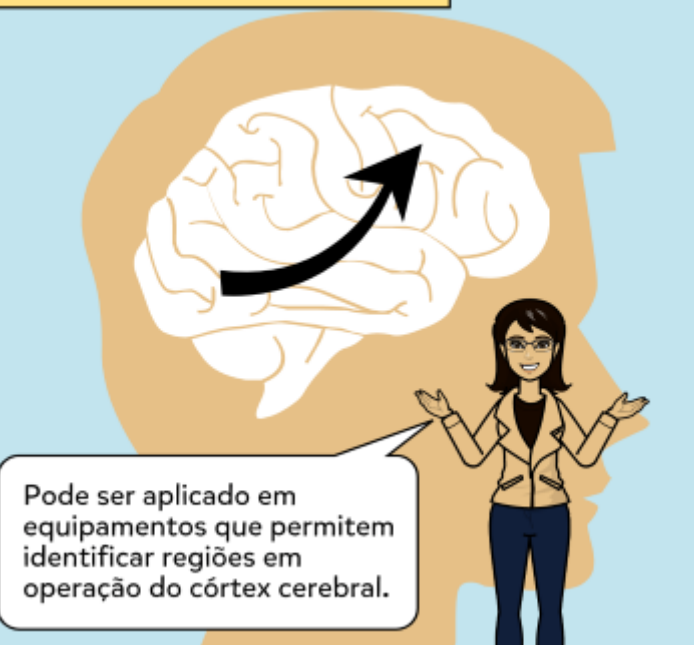


SQUID de junção dupla. Fonte: (SEIDEL, 2015, p.950)

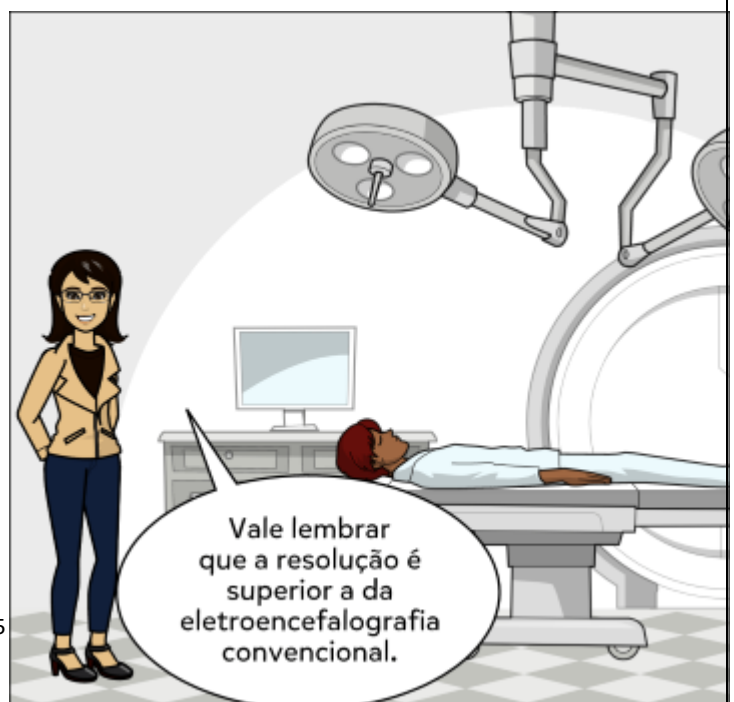


Este é um esquema com os principais elementos de um SQUID de junção dupla (DC).

Algumas aplicações dos SQUIDs:



Pode ser aplicado em equipamentos que permitem identificar regiões em operação do córtex cerebral.



Vale lembrar que a resolução é superior a da eletroencefalografia convencional.



Após a aula, Rafa e Nando comentam:

Nando,
gostei muito
desse
conteúdo...

Eu
também
Rafa!

O Fenômeno
da
Supercondutividade
é fascinante!!!

FIM

Agradecimentos: Dra. Maud Souza, Dr Márcio Gomes, Dra Luciana, Dr Igor Padilha e MsC José Estanislau Cunha e a todos que contribuíram para criação deste Produto Educacional.

REFERÊNCIAS

BRANÍCIO, Paulo S. Gráfico adaptado. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11172001000400004>. Acesso em: 16 nov. 2020.

Bobek Ltd. Efeito dominó. 2007. Disponível em: <https://www.publicdomainpictures.net/pt/view-image.php?image=34179&picture=o-principio-da-domino-queda>. Acesso em: 10 ago. 2021.

COSTA, Marconi B.S.; PAVÃO, Antonio C. Supercondutividade: Um século de desafios e superação. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000200017>. Acesso em: 16 nov. 2020.

Eng Agr Ruy Gripp. Milho de Pipoca. 2018. Disponível em: <https://ruygripp.com.br/2018/11/09/milho-pipoca-por-que-explode-e-pula-na-panela/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Imagens: 3,4 e 5. OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Leticie Mendonca; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. **Tópicos de física contemporânea no ensino médio : um texto para professores sobre supercondutividade**. 1998. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116764/000215873.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 nov. 2020.

LEPICH, Rodolpho Santos. **CARACTERIZAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE PÓ CERÂMICO SUPERCONDUTOR DE $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ EM AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX**. 90f. Dissertação (Mestrado). Vitória, 2017. Disponível: http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/9751/1/tese_11191_RODOLPHO%20SANTOS%20LEPICH.pdf . Acesso 10 de mar. 2021

MORI, Thiago José de Almeida. Gráfico do campo magnético. 2008. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2640/Mori_Thiago_Jose_de_Almeida.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 29 mar. 2021.

Nobel prize a. Heike Kamerlingh Onnes. 2021. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1913/onnes/facts/> . Acesso em: 10 ago. 2021.

Nobel prize b. The Nobel Prize in Physics 1972. 2021. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1972/summary/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Nobel Prize c. The Nobel Prize in Physics 2003. 2021. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2003/summary/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Onyxmet. YBCO - Yttrium barium copper oxide. 2021. Disponível em: https://onyxmet.com/index.php?route=product/product&product_id=2012. Acesso em: 10 ago. 2021.

P&R automação industrial. Por que um supercondutor precisa estar em baixa ou alta temperatura? 2019. Disponível em: <http://blog.perautomacao.com.br/por-que-um-supercondutor-precisa-estar-em-baixa-ou-alta-temperatura/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SOUZA, Daniel Fonseca de. Gráfico obtido por K. Onnes, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3468>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SEIDEL, Paul. **Applied Superconductivity**. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

Stringfixer. Supercondutor tipo II. 2021. Disponível em: https://stringfixer.com/pt/Type-II_superconductor. Acesso em: 10 ago. 2021.

Stackexchange. Magnetic flux ropes. 2021. Disponível em: <https://physics.stackexchange.com/questions/398279/magnetic-flux-ropes-are-they-stable-for-topological-reasons-like-fluxon-abriko>. Acesso em 10 ago. 2021

Unicentro. Prêmio Nobel em Física - 1987. 2021. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2016/11/13/premio-nobel-em-fisica-1987/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Wikiwand. Commemorative plaque in Leiden. 2021. Disponível em: https://www.wikiwand.com/en/Heike_Kamerlingh_Onnes. Acesso em: 10 ago. 2021.

WANG, Yinshun. **Fundamental Elements of Applied Superconductivity in Electrical Engineering**. [S. l.: s. n.], 2015. v. 3