



## SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Nara Gracy Travessa Barbosa

Dissertação de Mestrado apresentada 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.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo  
Co-orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha

Manaus  
2016

SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA FUNDAMENTADA  
NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Nara Gracy Travessa Barbosa

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo

Co-orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha

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:

Profa. Dra. Rosa Oliveira Marins Azevedo (Presidente)  
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Prof. Dr. Fabian Cardoso Litaiff (Membro titular)  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Prof. Dr. José Anglada Rivera (Membro titular)  
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Prof. Dr. Jorge Megid Neto (Membro suplente)  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Prof. Dr. José Ricardo de Sousa (Membro suplente)  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Manaus  
2016

Dedico ao meu filho Yan Nicolás.

## **Agradecimentos**

A Deus, a quem tenho uma fé plena, por permitir ter força para me dedicar durante todo o curso do mestrado.

Aos meus pais, por me apoiarem nos momentos de cansaço e por vibrarem a cada conquista.

Ao meu esposo e filho, por suportarem minha ausência nos momentos de estudos e me apoiarem e incentivarem a cada semestre.

A minha avó, pelo incentivo e preocupação diária com minha saúde.

Aos professores do MNPEF polo 04 IFAM/UFAM, pela inspiração que me proporcionaram e pela confiança a mim depositada.

À minha orientadora Profa. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo e ao meu co-orientador Prof. Dr. Igor Tavares Padilha pelo incansável acompanhamento nesta dissertação e aplicação da proposta.

A CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que essa importante etapa da minha vida fosse concluída exatamente como eu esperava, com dedicação e muita aprendizagem.

## RESUMO

### SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA FUNDAMENTADA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Nara Gracy Travessa Barbosa

Orientador(es):

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo

Co-orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação e Inovação (PPGI) 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.

Este trabalho apresenta uma proposta de inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, tendo como fundamento a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). No contexto educacional, o ensino da Supercondutividade, um dos temas da Física Contemporânea, torna-se necessário por possuir uma série de aplicações ligadas ao cotidiano dos alunos, o que evidencia a importância de sua inserção no currículo de Física do Ensino Médio. Para essa inserção, utilizou-se a ABP, devido a suas características favorecerem à participação ativa dos alunos no processo ensino-aprendizagem. A metodologia da ABP tem como ponto central um problema a ser solucionado, e como meio de resolvê-lo apresenta sete passos em sua estrutura, nos quais os alunos são os sujeitos ativos e o professor realiza um papel de tutor. Com esse fundamento, a pesquisa tem como objetivo geral analisar a implementação de uma proposta para inserir supercondutividade no Ensino Médio, tendo como sustentação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problemas, em vista da necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilite aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida. Para tanto, utilizou-se a pesquisa de cunho qualitativo por apresentar características peculiares à condução da pesquisa e ao trato dos dados obtidos. A implementação da proposta, com 38 alunos do Ensino Médio de uma escola pública de Manaus – AM, localizada na zona oeste, foi organizada em três etapas: apresentação das aplicações dos supercondutores e do problema central a ser solucionado; aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos; abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central. Para esta última etapa, a abordagem da temática Supercondutividade, foi organizada seis blocos de conteúdos: Contexto histórico; Corrente e resistividade elétrica; Resistividade nula e efeito Meissner; supercondutor x condutor perfeito; teoria BCS; 6) tipos de supercondutores. A análise dos dados foi feita a partir das resoluções dos problemas específicos propostos em cada bloco e os resultados mostraram que a inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas, possibilitou um ensino de Física contextualizado e que permitiu aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida cotidiana.

**Palavras-chave:** Supercondutividade no Ensino Médio. Aprendizagem Baseada em Problemas. Proposta de Ensino.

## ABSTRACT

### SUPERCONDUCTIVITY IN HIGH SCHOOL: A PROPOSAL BASED ON PROBLEM-BASED LEARNING

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação e Inovação (PPGI) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This dissertation presents an insertion proposal of the Superconductivity in the Secondary Level Education, having as foundation the Learning Process Based on Problems (ABP). In the educational context, the teaching of Superconductivity, one of the Contemporary themes in Physics, turns out to be necessary for having a set of applications connected to the daily lives of students, what evidences the importance of its insertion in the Physics curriculum of the Secondary Level Education. For this insertion, it was used an ABP, due to its characteristics favoring the active participation of the students in the teaching and learning process. The ABP methodology has as central point a problem to be solved, and as a means of answering it presents seven ways in its structure, in which the students are the active subjects and the teacher accomplishes the role of tutor. With this foundation, the research has as general purpose to analyzes the implementation of a proposal to insert Superconductivity in the Secondary Level Education, having as methodological support the Learning Based on Problems, in view of the need to have the teaching of Physics more contextualized that allows students to list the scientific knowledge with the life. Therefore, it was used a qualitative nature research for presenting peculiar feature for the conduction of the research and for the obtained tract data. The implementation of the proposal, with 38 students of the Secondary Level Education from a public school in Manaus – AM, located in the West zone, it was organized in three stages: the presentation of superconductors application and the central problem to be solved; the application of a questionnaire to evaluate the previous knowledge of the students; the approach of each block of content and resolution of the central problem. For this last stage, the approach of the Superconductivity theme, was organized in six blocks of contents: Historical Context; Current and resistance; Zero Resistivity and effect Meissner; superconductor x perfect conductor; theory BCS; 6) types of superconductors. The analysis of its data started from the specifics problems resolution proposed in each block and the results showed that the insertion of Superconductivity in the Secondary Level Education, by means of the Learning Process Based on Problems, enabled the Physics teaching contextualized and that allowed students to list the scientific knowledge with the daily life.

**Keywords:** Superconductivity in the Secondary Level Education. Learning Based on Problems. Teaching Proposal.

# Sumário

<b>Introdução</b>	7
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Supercondutividade e Aprendizagem Baseada em Problemas</b>	10
1.1 Fenômeno da Supercondutividade no Ensino Médio	10
1.2 Supercondutividade no Ensino Médio	12
1.3 Aprendizagem Baseada em Problemas	17
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Metodologia da Pesquisa</b>	21
2.1 Tipo de pesquisa e técnica	21
2.2 Local e sujeitos da pesquisa	22
2.3 Desenvolvimento da pesquisa	23
2.3.1 Apresentação da proposta e do problema central a ser solucionado	24
2.3.2 Apresentação das aplicações dos supercondutores e aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos	25
2.3.3 Abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central	27
2.3.3.1 Descrição detalhada da implementação da pesquisa	28
2.4 Instrumentos de coleta de dados	43
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Apresentação e discussão dos resultados</b>	45
3.1 A Supercondutividade existe	46
3.2 A Supercondutividade está presente no cotidiano	46
3.3 O reconhecimento da Supercondutividade como um avanço para a tecnologia	47
<b>Considerações finais</b>	61
<b>Referências</b>	64
<b>Apêndice A - Questionário de Identificação e de verificação de conhecimentos sobre a temática Supercondutividade</b>	67
<b>Apêndice B - Atividade escrita sobre Supercondutividade</b>	69
<b>Apêndice C - Textos sobre os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica</b>	71
<b>Apêndice D - Passos para a elaboração dos esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor</b>	74
<b>Apêndice E – Questionário Final</b>	76
<b>Apêndice F - Problema Central</b>	79
<b>Apêndice G - Questionário de autoavaliação</b>	80
<b>Apêndice H - Produto</b>	81

## Introdução

No ensino há necessidade de se pensar o que realmente é substancial para o aprendizado e envolvimento de quem aprende. A intensa experiência como professora de Física do Ensino Médio possibilitou um olhar crítico voltado tanto para a insistente sequência de conteúdos abordados ao longo dessa etapa de ensino da Educação Básica, como a forma dessa abordagem. Em se tratando de processo ensino-aprendizagem, tornava-se cada vez mais visível o ensino por repetição e a aprendizagem por memorização, o que aumentava o anseio por uma mudança.

A necessidade de mudança no ensino de Física aumentou com o avanço da tecnologia, pois os alunos se faziam cada vez mais participativos e questionadores de aplicações atuais de diversas áreas da Física, despertando assim, um maior interesse em mostrar a Física como uma ciência inacabada, em construção e sujeita a transformações. Ficava mais clara a importância do ensino de tópicos da Física Contemporânea para o Ensino Médio, porém de uma forma diferente, onde o aluno pudesse usar sua curiosidade e criatividade para aprender. Acreditamos que para reverter essa situação era importante pensar na aprendizagem dos conteúdos como o enfrentamento de um problema e busca por sua resposta.

Dentre esses conteúdos, entendemos que os desafios envolvidos na descrição completa do fenômeno da Supercondutividade, um dos tópicos da Física Contemporânea, e a busca de sua compreensão, permitia pensar na ousadia de inserir esta temática no currículo de Física do Ensino Médio. O encanto pessoal pela Supercondutividade, por ser uma área da Física em constante estudo, com várias aplicações em diversas áreas do conhecimento e que ocasionou o ganho de cinco prêmios Nobel, e com a preocupação pela real aprendizagem dos alunos, fez-nos entender ser possível ensinar de uma forma mais ativa e participativa.

Nessa perspectiva, pensamos em inserir a Supercondutividade no Ensino Médio através de uma metodologia em que os alunos construíssem o conhecimento de forma ativa e colaborativa, que tivesse significado em sua vida, tendo como ponto de partida para a aprendizagem um problema – proposições estas que encontram sustentação na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

Com esse entendimento surge um questionamento, que se configura como problema de pesquisa: como elaborar uma proposta para inserir Supercondutividade no Ensino Médio, tendo como sustentação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problema, em vista da



necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilite aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida?

A partir desse problema, temos como objetivo geral desta pesquisa, o seguinte: analisar a implementação de uma proposta para inserir supercondutividade no Ensino Médio, tendo como sustentação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problemas, em vista da necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilite aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida. Os objetivos específicos, são: Elaborar uma proposta sobre supercondutividade, sustentada na Aprendizagem Baseada em Problemas; Implementar a proposta elaborada em sala de aula, com alunos do 3º ano do Ensino Médio; Descrever e avaliar a implementação da proposta elaborada, de modo a evidenciar as experiências do processo.

Para atingir a finalidade deste estudo realizamos uma pesquisa qualitativa, tendo como orientação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problemas e instrumentos de coletas de dados foram utilizados diário de campo, gravação em áudio, gravação em vídeo, fotografias e cartazes produzidos pelos participantes.

Na apresentação da pesquisa, a descrição detalhada da implementação da proposta deve-se ao fato de valorização das ações dos sujeitos em consonância com os sete passos da ABP, visando mostrar as possibilidades de inserção da Supercondutividade no Ensino Médio. Para essa apresentação, organizamos três capítulos, além da introdução e das considerações finais.

No primeiro capítulo tratamos brevemente do fenômeno da Supercondutividade e apresentamos uma literatura a respeito da temática no Ensino Médio, buscando fundamentos que tornem possíveis uma reestruturação no currículo de Física nesse nível de ensino e que possa sustentar uma proposta para a inserção da Supercondutividade. Em seguida, apresentamos a metodologia utilizada na implementação de nossa proposta, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), destacando suas características, o papel do aluno e do professor na ABP e os sete passos dessa metodologia.

No segundo capítulo expusemos a metodologia da pesquisa, relatando o tipo de pesquisa, técnica e instrumentos utilizados para as coletas de dados, sujeitos e local da pesquisa. Esta parte é finalizada com a descrição do desenvolvimento da pesquisa e da implementação da proposta da inserção da Supercondutividade no Ensino Médio através da ABP, cuja abordagem foi organizada em seis blocos de conteúdo.

No terceiro capítulo apresentamos os resultados da pesquisa, em duas partes: na primeira fizemos uma análise, a partir dos problemas específicos solucionados em cada bloco

de conteúdo abordado sobre a temática Supercondutividade; na segunda parte, realizamos a análise do problema central proposto, solucionado pelos participantes da pesquisa, individualmente. Para tais análises foram utilizados os procedimentos, segundo Creswell (2007), para interpretação de dados. As análises dos blocos de conteúdo foram realizadas separadamente. Nessas análises foram utilizadas passagens narrativas das colocações dos participantes, como sugere Creswell (2007), as quais permitem a percepção de boas resoluções para os problemas específicos propostos;

Esperamos que esta pesquisa colabore para que seja pensada a necessidade de inserir a temática Supercondutividade no Ensino Médio, e que esta ocorra por meio de um ensino que promova uma aprendizagem significativa para o aluno, possivelmente, com a utilização da ABP.

## Capítulo 1

### Supercondutividade e Aprendizagem Baseada em Problemas

No contexto educacional há vários desafios e alguns podem ser deixados de lado pela sua complexidade. O ensino da Física hoje passa por esta questão. Há uma gama de conteúdos importantes para a construção da aprendizagem e outros que por conta de sua contemporaneidade não são abordados, mas de suma importância.

A Física Moderna e Contemporânea é composta por diversos conteúdos que se encontram presentes no atual contexto dos avanços tecnológicos e se aproximam cada vez mais do cotidiano dos alunos. Tais conteúdos são raramente abordados no Ensino Médio devido ao aparato matemático que possuem, dentre eles está a Supercondutividade, temática do presente trabalho.

A seguir, será apresentado brevemente o fenômeno da Supercondutividade e, em seguida, uma literatura que mostra possibilidades de inserção da Supercondutividade no Ensino Médio e um tópico sobre o histórico e as características da ABP para discussão de como esta metodologia pode ser usada nesta inserção.

#### 1.1 O fenômeno da Supercondutividade<sup>1</sup>

A Supercondutividade foi descoberta, em 1911, pelo físico holandês Heike Kamerlingh Onnes. Pesquisando a resistividade elétrica do mercúrio, percebeu que este material perdia de forma completa e abrupta a sua resistividade ao ser resfriado abaixo de -269 °C (4K). Ele denominou de “supercondutividade” esse estado de resistividade zero. (OSTERMANN, 1998).

Após a demonstração de que o fenômeno da Supercondutividade não ocorria somente no mercúrio, em 1912, através da verificação que o estanho e o chumbo apresentariam características semelhantes quando submetidos a temperaturas de 3,7 K e 7,2 K, respectivamente, vem sendo ampliada a quantidade de sistemas supercondutores a serem analisados e aplicados. (OSTERMANN, 2006).

---

<sup>1</sup> A Supercondutividade é tratada de forma mais abrangente no produto (Apêndice H).

A essas temperaturas, as quais materiais supercondutores são submetidos e que provocam a queda da resistividade a zero de forma abrupta, dá-se o nome de temperatura crítica. Os valores das temperaturas críticas variam de material para material.

Outra característica relevante nos supercondutores é de serem diamagnetos perfeitos, isto é, possuem a habilidade de repelir um campo magnético exterior quando aplicado sobre eles. A esse fenômeno dá-se o nome de “Efeito Meissner”.

A partir de estudos sobre os materiais supercondutores, algumas teorias foram criadas, como: a teoria de London, formulada sobre as propriedades eletrodinâmicas dos supercondutores, com a proposta do modelo de dois fluidos (elétrons normais e superelétrons); a teoria de Ginzburg-Landau, a qual analisa as propriedades macroscópicas de um supercondutor com o auxílio de termodinâmica e conceitos da Mecânica Quântica; a teoria BCS, na qual o ponto chave é a formação de pares de elétrons, conhecidos como Pares de Cooper.

A teoria de London foi formulada em 1934, pelos irmãos F. e H. London. A teoria de London contribuiu para o estudo da Supercondutividade ao relacioná-la ao modelo de dois fluidos. Do ponto de vista teórico, foi a primeira formulação capaz de explicar o efeito Meissner-Ochsenfeld, tomando como base as equações de Maxwell do eletromagnetismo e fazendo-se algumas suposições adicionais. (PEREIRA; FÉLIX, 2013).

A teoria de Ginzburg-Landau foi desenvolvida pelos físicos L.D. Landau e V.L. Ginzburg, em 1950, dita teoria fenomenológica ou macroscópica da Supercondutividade. Essa teoria fenomenológica explica as propriedades termodinâmicas da transição do estado normal para o estado supercondutor. (OSTERMANN, 1998).

Já a teoria BCS foi desenvolvida em 1957 por John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer, consistindo na teoria microscópica da Supercondutividade. Seu domínio se restringe aos supercondutores do Tipo I<sup>2</sup>.

A teoria de BCS diz que os elétrons formam pares em um supercondutor, chamados de pares de Cooper. Enquanto o primeiro elétron no par corre através do supercondutor, atrai os núcleos dos átomos no supercondutor para ele. O segundo elétron move-se para a frente porque é atraído aos núcleos positivamente carregados na parte dianteira. Assim, os dois elétrons permanecem juntos em pares enquanto correm através do supercondutor. Esta

---

<sup>2</sup> Os supercondutores são divididos em dois tipos: tipo I e tipo II. Nos supercondutores Tipo I, o campo magnético  $H$  é nulo em seu interior até a Supercondutividade ser destruída e apresentam temperaturas críticas extremamente baixas; os supercondutores Tipo II, apresentam dois valores de campo crítico,  $H_{c1}$  e  $H_{c2}$ , e apresentam temperaturas críticas mais elevadas.

interação entre os dois elétrons ajuda-lhes a fluir sem resistência através do material de Supercondutividade. (MOREIRA et al., 2000). Em reconhecimento da importância de sua teoria, em 1972, receberam o prêmio Nobel de Física. (ROCHA, 2010).

Após o desenvolvimento da teoria BCS, outras descobertas foram realizadas e o estudo pela busca de avanços sobre a temática Supercondutividade continua. Portanto, os materiais supercondutores encontram-se cada vez mais presentes, diante o contínuo avanço tecnológico, tornando-se parte da vida dos alunos e fazendo necessária a abordagem da Supercondutividade no Ensino Médio.

## **1.2 Supercondutividade no Ensino Médio**

A Supercondutividade é um dos temas da Física Moderna e Contemporânea que possui uma série de aplicações presentes no cotidiano dos alunos, tornando-se cada vez mais perceptível a necessidade de atualizar o currículo de Física do Ensino Médio.

Essa situação evidencia que a desatualização do currículo e a forma de ensino tradicional da Física têm dificultado a aquisição do conhecimento pelo aluno, desmotivando-o quanto ao interesse pela disciplina de Física.

E como qualquer outra manifestação científica, a FMC no EM também não se justifica somente dentro das perspectivas de atualização curricular, mas porque entende-se que a Física é parte da cultura contemporânea. A Física Moderna não traz em seu âmbito apenas o conteúdo de Física ou de mais uma disciplina do currículo escolar. Ela carrega em sua essência, assim como qualquer outra área do conhecimento humano, as características de um momento histórico e social que permeia toda forma de manifestação com componentes de tradição e revolução. No sentido de uma atualização, as Ciências Naturais caracterizam-se não somente como um produto “da natureza”, mas sim uma elaboração humana, com história, portanto parte da cultura em contínua elaboração. (PERFOLL; JUNIOR, 2006, p.3-4).

Estudos mostram que o ensino de Física no nível médio enfrenta dificuldades quanto à motivação do aluno pela disciplina, em vista de um enfoque dirigido para memorização, um ensino descontextualizado e conseqüentemente fragmentado (GUIMARÃES, 2011). Esta realidade impede o alcance de um dos principais objetivos do processo ensino-aprendizagem, trabalhar o desenvolvimento social e cultural do aluno, bem como de sua autonomia, para que ele próprio possa ser autor de sua aprendizagem.

Diante da necessidade de atualização do currículo de Física, inserindo a Física Moderna e Contemporânea, e da preocupação de se formar alunos com senso crítico e cada vez mais autônomos, a proposta da Inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, por

meio da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), demonstra possibilidades de atingir tais objetivos.

Dentre os trabalhos analisados sobre o tema Supercondutividade, alguns contribuíram para a formação e análise dos resultados do problema de pesquisa apresentado, por possibilitarem a abordagem no Ensino Médio, são eles: Ostermann (2006), Spohr (2008), Vieira (2014), Nóbrega e Mackedanz (2013), Paula e Vianna (2007), Luiz e Santos (2005).

Ostermann (2006) relata a ausência da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e justifica a importância do tema Supercondutividade através de sua relação com a revolução tecnológica vivenciada no século XX, somando à sua justificativa, a autora cita a Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional (1996) que sinaliza a necessidade de uma renovação curricular à Física do Ensino Médio. A autora apresenta como proposta de inserção da Supercondutividade no Ensino Médio um projeto que se inicia com a elaboração de uma página com recursos de hipermídia, onde serão abordados conceitos de Supercondutividade, tais como um modelo de metal, corrente elétrica, resistividade elétrica, supercondutor x condutor perfeito, materiais supercondutores, propriedades do estado supercondutor, transição do estado normal para o estado supercondutor como mudança de estado e teoria BCS.

Spohr (2008) apresenta em seu trabalho a utilização do material de hipermídia sobre supercondutores em uma turma de terceiro ano do Nível Médio. Relata que para a aplicação do projeto, primeiro procurou identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos da Física Clássica, necessário para a compreensão do tema Supercondutividade. Manteve o questionário durante o estudo com os alunos como forma de acompanhar a aprendizagem. Além dos questionários, menciona que foi realizado o experimento da levitação magnética em sala de aula para demonstrar uma das aplicações da Supercondutividade. O autor conclui seu trabalho afirmando que a utilização da página elaborada para o tema supercondutividade se mostrou capaz de envolver o aluno nas discussões e de contribuir para a motivação em aprender Física.

Vieira (2014) apresenta como proposta para contribuir para a inserção da FMC no Ensino Médio, o desenvolvimento de uma sequência didática sobre o tema Supercondutividade, fundamentada pela aprendizagem significativa de David Ausubel. Para sua construção menciona que foram empregadas regras de Transposição Didática, onde dá-se início com um cronograma de aulas para abordagem de conceitos base de Supercondutividade e Mapas Conceituais. Diz que a proposta foi aplicada em três turmas do terceiro ano do Ensino Médio. Além da utilização do cronograma voltado para a abordagem de conceitos base, a autora utilizou questionários sobre Tópicos de Física Moderna e Contemporânea e

apresentações de vídeos, finalizando com questionários sobre os recursos utilizados na sequência didática aplicada e de autoavaliação estudantil. Conclui indicando a ocorrência de aprendizagem significativa do tema Supercondutividade e acrescenta a sugestão para a melhoria da aplicação da proposta com inserção de mais experiência em sala de aula e, se possível, aula de campo.

Nóbrega e Mackedanz (2013) têm como objetivo de seu artigo introduzir conceitos físicos a partir da apresentação do maior colisor de partículas do mundo, o LHC - Large Hadron Collider (em português, Grande Colisor de Hádrons) e, ainda, demonstrar que o equipamento não oferece risco a Terra. Afirmam que o LHC parece ser um bom atrativo para inserir conceitos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio com naturalidade. Complementam que após discussão sobre o acelerador de partículas surgiram assuntos já inseridos no currículo como colisões, leis de conservação, eletromagnetismo, campos magnéticos, termodinâmica e comportamento dos gases, podendo relacioná-los com a relatividade especial, a Supercondutividade e a física de partículas carregadas. Os autores analisam o estudo do LHC como algo importante, pois fornece, além da possibilidade do ensino de Física, a análise de benefícios e malefícios que pode trazer ao meio ambiente e até as relações entre cientistas e a economia dos países que sediam o experimento. Além da importância da Supercondutividade presente no LHC, são apresentados, pelos autores, através do acelerador de partículas outros tópicos importantes da Física, como partículas de Higgs, raios cósmicos, buracos negros. Finalizam o trabalho com o esclarecimento de suas utilizações em temas atuais, despertando mais interesse, modificando assim, as aulas tradicionais.

Ostermann e Pureur (2005 apud PAULA; VIANNA, 2007) para apresentar os veículos levitados magneticamente, enfatizando o trem MAGLEV, como uma das mais charmosas aplicações da Supercondutividade, expõem uma proposta de trabalho didático que possibilita uma abordagem dos problemas ambientais, enfatizando a poluição do ar proveniente dos meios de transporte, e o ensino de Física. O trabalho é apresentado em unidades didáticas, com uma parte experimental do projeto. A Unidade 1 aborda a questão ambiental através de discussões sobre os problemas dessa categoria, direcionando-as ao tema poluição do ar, podendo identificar as fontes responsáveis, as medidas a serem tomadas para a diminuição desta poluição e a possível contribuição da utilização de novas tecnologias (destacando o trem MAGLEV). A Unidade 2, a partir de um aparato experimental simples sobre o fenômeno da levitação, este escolhido para esclarecer o fenômeno básico da levitação magnética empregado no MAGLEV, propõe a abordagem de conceitos do eletromagnetismo,

como repulsão magnética por dois ímãs, linhas de campo magnético, leis de Lenz e de Faraday, sem as ferramentas matemáticas. É adicionado ao trabalho o roteiro do experimento contendo seu procedimento de montagem com imagens e sua explicação.

Luiz e Santos (2005) apresentam um texto sobre Supercondutividade destinado a professores do Ensino Médio e alunos de Física interessados em tópicos de Física Moderna. No texto afirmam que embora a teoria da Supercondutividade exija conhecimentos de Mecânica Quântica, para compreender suas principais aplicações é suficiente uma compreensão qualitativa sobre as propriedades físicas mais relevantes dos supercondutores: a resistência nula, a quantização macroscópica do fluxo magnético, o diamagnetismo ideal (efeito Meissner) e o efeito Josephson, estes, portanto, inseridos no texto com suas respectivas explicações simplificadas e claras. Os autores incluíram, como tópico seguinte, as principais aplicações da Supercondutividade, realizando breves descrições de cada. Dentre as citadas encontram-se aplicações no armazenamento da energia elétrica, aplicações na física das altas energias, aplicações nos transportes, como a fabricação do trem MAGLEV, aplicações na Medicina e o uso de SQUIDS. Os autores sugerem ao fim do trabalho duas demonstrações possíveis de serem realizadas em sala de aula: a levitação magnética do ímã e um experimento que exemplifica o fenômeno da resistência nula.

Em uma análise dos trabalhos apresentados podemos observar que Ostermann (2006) e Spohr (2008) mostram que a inserção do tema Supercondutividade na 3ª série do Ensino Médio é possível, desde que realizada de acordo com o nível de conhecimento dos alunos, abrindo mão dos cálculos matemáticos avançados referentes ao assunto. Ambos utilizaram como proposta uma página de hipermídia sobre o tema e, a partir dela, ocorreu praticamente todo o processo de ensino. Além dessas observações, tais trabalhos mostram a eficácia de elaborar e aplicar questionários com a finalidade de se obter um diagnóstico da aprendizagem dos alunos.

O trabalho elaborado por Vieira (2014) reforça a ideia da aplicação de questionários e inclui a importância de organizar os dados obtidos nas atividades propostas como forma de identificar se ocorreu a aprendizagem. Tal organização se deu através de gráficos e tabelas, permitindo, embora as questões elaboradas tenham sido bem objetivas, a percepção de que a maioria dos alunos não tinha conhecimento sobre Supercondutividade e, ao fim do trabalho, de quão eficaz foi sua aplicação para reverter a situação. Esta análise reforça a importância de aplicar na sequência didática a Aprendizagem Baseada em problemas.

Para esta proposta de inserir o tema Supercondutividade por meio da ABP, partindo das aplicações dos supercondutores, os últimos trabalhos, Nóbrega e Mackedanz (2013),



Paula e Vianna (2007) e Luiz e Santos (2005), são de suma importância, pois explicam tais aplicações desde as mais presentes no mundo vivencial do aluno até o funcionamento do LHC e do trem MAGLEV, que despertam curiosidade e motivação para aprender Física, por serem inovações tecnológicas ousadas e importantes para a Ciência, permitindo maior interação dos alunos, perdendo a característica das aulas tradicionais cuja aprendizagem é mecânica e superficial.

Assim, os trabalhos analisados enfatizam, de formas diversas, a importância da inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, através de suas aplicações, podendo atuar sobre a curiosidade dos alunos e aguçar seus interesses para a tecnologia que os rodeia. Todavia, embora reconheçam que a temática Supercondutividade é composta por ferramentas matemáticas que tornam inviáveis uma abordagem completa no Ensino Médio; reconhecem a viabilidade de sua compreensão por meio dos conceitos e fenômenos físicos que a compõem.

Na figura 1 apresentamos uma síntese das propostas para inserção da temática Supercondutividade no Ensino Médio e suas respectivas conformações e reforços de ideias.

Figura 1 – Quadro da literatura relacionada à Supercondutividade no Ensino Médio

<b>LITERATURA RELACIONADA</b>		
<b>Autores</b>	<b>Proposta para a inserção da Supercondutividade no Ensino Médio</b>	<b>Conformação e reforço de ideias</b>
Ostermann (2006)	Uma página de hipermídia sobre Supercondutividade.	Importância de conhecimentos prévios. Aplicação de questionários.
Spohr (2008)		
Vieira (2014)	Desenvolvimento de uma sequência didática fundamentada pela aprendizagem significativa	Aplicação de questionário de auto avaliação. A organização dos dados obtidos nas atividades propostas.
Nóbrega e Mackedanz (2013)	Apresentação de aplicações diversas dos supercondutores.	Enfatizam a importância da inserção da supercondutividade no Ensino Médio através de suas aplicações.
Paula e Vianna (2007)		
Luiz e Santos (2005)		

Fonte: Elaboração própria, 2015.

A literatura apresentada amplia a possibilidade da inserção da Supercondutividade no Ensino Médio e enfatiza a importância de suas aplicações. Os trabalhos sintetizados afirmam que a aplicabilidade de materiais supercondutores atua sobre a curiosidade dos alunos,

permitindo que ajam de forma autônoma no processo ensino-aprendizagem, incentivando a pesquisa na busca de respostas. Essas características encontram-se presentes na metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas, mostrando-se eficaz na contribuição da inserção da Supercondutividade no Ensino Médio.

### **1.3 A Aprendizagem Baseada em Problemas**

A Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem Based Learning – PBL) foi consolidada na década de sessenta na escola de medicina de McMaster, na cidade de Hamilton, província de Ontário, no Canadá, após John Evans assumir a reitoria e selecionar quatro jovens médicos para o Comitê de Educação da McMaster, que compactuavam com o pensamento de mudar a forma como a medicina estava sendo ensinada. O intuito do Comitê era permitir que seus estudantes de medicina tivessem habilidades para resolver problemas e juntar, avaliar, interpretar e aplicar uma grande quantidade de informações que trouxessem melhores respostas aos pacientes. (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014).

No Brasil, a Aprendizagem Baseada em Problemas foi implantada na Escola de Saúde Pública do Ceará, em 1993; na Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA), em 1997; e no curso de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Londrina (UEL), em 1998. Atualmente, universidades em todo o mundo utilizam esse método de aprendizagem. (CARLINI, 2006).

Segundo Gentil e Furlanetto (2009), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) delineou um caminho novo a ser compreendido e traçado pelos docentes, pois muitos destes utilizavam (ainda utilizam) em suas práticas didáticas e no manejo de sala de aula a “pedagogia da transmissão”, entendida como método de ensino que privilegia a construção individual dos saberes e não estimula a compreensão articulada dos conteúdos.

A Aprendizagem Baseada em Problemas é uma metodologia de ensino-aprendizagem que pode se configurar como uma estratégia educacional e uma filosofia curricular, em que os discentes autodirigidos constroem o conhecimento de forma ativa e colaborativa e aprendem de forma contextualizada, apropriando-se de um saber com significado pessoal. (MAMEDE, 2001 apud BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014).

A ABP tem como atuante principal o aluno e o ponto de partida das aprendizagens dos alunos é o problema que lhes é apresentado. Frente às necessidades de se alcançar as características para produzir um aprendizado efetivo do aluno - uma base de conhecimento bem estruturada, um contexto motivacional apropriado, atividade por parte do estudante e

interação com seus colegas -, a Aprendizagem Baseada em Problemas é uma metodologia de trabalho que apresenta potencialidades e, em especial, que oportuniza a qualificação do processo ensino-aprendizagem. (SOUZA; VERDINELLI, 2014).

O problema é o ponto central da APB e também cumpre nela muitas funções. Além de ser usado para motivar, iniciar e focar a aprendizagem de conceitos de uma dada área de conhecimento, o problema nesta abordagem pode ajudar a informar aos alunos sobre como os conceitos se originaram. De forma geral, um problema na ABP deve ser entendido como um objeto cujo caminho correto para sua solução não é conhecido. (RIBEIRO, 2005).

O problema deve gerar o estímulo à pesquisa individual e ao debate entre os alunos do grupo. Deve ainda motivar a confrontação do conhecimento pesquisado com situações reais semelhantes àquela tratada no problema, incentivando o aluno a se colocar em permanente ação de pesquisa da realidade e busca de soluções. (CARLINI, 2006).

Para desenvolver um processo de ensino com sustentação na Aprendizagem Baseada em Problemas, os alunos devem ser organizados em pequenos grupos, chamado grupos tutoriais, onde analisarão o problema, suas metas de aprendizagem, e após a pesquisa individual, os estudantes obtêm, em grupo, uma resolução para o problema. (CAMPOS, 2012).

O desenvolvimento de uma proposta de ensino pela ABP é constituído de sete passos, conforme figura 2.

Figura 2 – Os sete passos da ABP.

	PASSOS	DESCRIÇÃO
1	Esclarecer termos e expressões no texto do problema	Analisa o problema com o grupo tutorial;
2	Definir o problema	Definição o problema e quais as soluções que devem ser tomadas;
3	Analisar o problema	Ativação dos conhecimentos prévios do aluno acerca do tema;
4	Sistematizar análise e hipóteses de explicação, ou solução, do problema	Estruturação dos passos 1, 2 e 3.
5	Formular objetivos de aprendizagem	Organização dos objetivos à serem traçados para melhor compreensão do problema sugerido;
6	Identificar fatores de informação e adquirir novos conhecimentos individualmente	Realiza um estudo individual para obter informações, referências bibliográficas, artigos, pesquisas, periódicos e etc, para ampliar seu conhecimento sobre o tema abordado;
7	Sintetizar conhecimentos e revisar hipóteses iniciais para o problema	Apresentação dos resultados deste estudo na tentativa de resolver o problema e justificar sua análise.

Fonte: Elaborado com base em Campos (2012).

Campos (2012) ainda afirma que as aplicações dos passos da ABP orientam todo o processo que deverá ser seguido pelas instituições de ensino que adotarem esta metodologia nos currículos.

Na busca por trabalhos relacionados à Aprendizagem Baseada em Problemas, seja em artigo, dissertações, teses ou livro, nada foi encontrado associado à Supercondutividade, mas alguns trabalhos se destacaram por estarem associados às áreas de Ciências ou até por mostrarem a importância da ABP no processo de ensino. Dentre eles estão: Lima; Milhomem; Fonseca (2015), Boesing et al (2008), Campos; Andrade (2007), Gomes (2011).

Lima, Milhomem e Fonseca (2015) apresentam em seu artigo os resultados da aplicação da metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos<sup>3</sup> como uma forma de estimular os discentes do curso de Ciência Naturais ao trabalho em equipe e eficiência na comunicação para a solução de problemas. As atividades aplicadas à metodologia deram-se a partir da realização de experimentos que abordam conceitos físicos e químicos, estes sendo auxiliados pelos professores tutores, havendo discussões sobre os princípios físicos observados. Dos resultados constataram a viabilidade da aplicação da metodologia para aprendizagem, no sentido de contribuir para uma postura proativa perante problemas a serem solucionados.

Boesing et al. (2008) apresentam os resultados do processo de aprendizagem de Física no Curso de Engenharia de Produção, no qual um dos princípios metodológicos utilizados foi a Aprendizagem Baseada em Problemas. Apesar da metodologia da ABP ser facilmente identificada nesse processo, através do trabalho realizado em grupos, do papel do professor como tutor e do uso de um problema a ser resolvido, os autores deixam claro que a proposta não segue rigidamente os passos ABP. De fato, pois não é dado aos alunos um problema a ser resolvido, ao invés disso, eles são estimulados a encontrar um problema real e solucioná-lo. No artigo, são apresentados três trabalhos desenvolvidos pelos alunos – experimentos elaborados de acordo com o conteúdo programático da disciplina-, mostrando que a metodologia mostrou-se eficaz. Vários resultados foram apontados, como uma maior interação entre os alunos e professores do curso, a possibilidade de identificar antecipadamente as potenciais habilidades cognitivas e conhecimentos dos alunos e a contribuição que a metodologia forneceu para o entendimento de que a ação pedagógica deve

---

<sup>3</sup> Embora a metodologia utilizada tenha sido a Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos só foi realizada a associação com as características da ABP, pois não se está abordando neste trabalho o que se refere à realização de projetos.

estar vinculada a geração de ideias inovadoras e experimentação e para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem no ensino de Física aplicado a Engenharia de Produção.

Campos e Andrade (2007) apresentam a Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Médio aplicada por uma professora de Biologia de uma Escola da Rede Pública Estadual da cidade de Bauru, no Estado de São Paulo. Os autores realizaram uma abordagem qualitativa na qual após a organização da coleta de dados estabeleceram categorias de análises que mostravam uma preocupação com a atuação da professora durante o desenvolvimento da proposta da ABP e as possibilidades da ABP no Ensino Médio. A análise de dados realizada revelou uma experiência positiva, mostrando que a ABP é uma proposta possível de ser adotada e adaptada no Ensino Médio e que o papel do professor é fundamental no desenvolvimento da ABP.

Gomes (2011), em sua tese de doutorado “Aplicação princípios de Aprendizagem Baseada em Problemas em mestrado profissional em ciência de tecnologia de alimentos, na modalidade a distância”<sup>4</sup>, faz uso da ABP e destaca que os resultados de alguns estudos, fora do Brasil, indicam que não há diferença significativa quanto à efetividade do aprendizado quando comparado ao processo presencial. Aponta algumas diferenças, no que se refere à comunicação síncrona e assíncrona, a programação para as atividades cooperativas, o relacionamento interpessoal, a motivação, a pontualidade e problemas técnicos com hardware, software ou infraestrutura. Ainda assim, enfatiza a importância das reuniões dos grupos de estudantes, bem como de que forma podem ocorrer no caso da modalidade à distância.

Para os grupos em ABP de cursos a distância, as reuniões acontecem de forma síncrona ou assíncrona, mas virtualmente. Estas reuniões podem acontecer de forma síncrona, por meio do chat, telefone, vídeo conferência, web conferência, ou outra tecnologia que permita comunicação em tempo real, ou podem acontecer de forma assíncrona, usando fóruns de discussão ou e-mail. (GOMES, 2011, p. 36).

A abordagem dos trabalhos relacionados à Aprendizagem Baseada em Problemas mostra uma diversidade de situações nas quais a ABP pode ser utilizada como sustentação metodológica em processos de ensino-aprendizagem. Tal metodologia fundamenta nossa proposta de pesquisa para inserção da temática Supercondutividade no Ensino Médio.

---

<sup>4</sup> Embora o presente trabalho não aborde a educação à distância, o trabalho realizado por Gomes (2011) mostrou-se importante para apresentar as contribuições do uso da metodologia da ABP.

## Capítulo 2

### Metodologia da Pesquisa

Para responder ao problema desta pesquisa, ou seja, como elaborar uma proposta para inserir Supercondutividade no Ensino Médio, tendo como sustentação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problema, em vista da necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilite aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida, utilizamos a pesquisa de cunho qualitativo por apresentar características peculiares à condução da proposta e ao trato dos dados obtidos.

Na sequência, apresentamos o tipo de pesquisa, técnica utilizada, local e sujeitos da pesquisa. Finalizamos o capítulo com a descrição detalhada do desenvolvimento da pesquisa e apresentação dos instrumentos de coleta de dados.

#### 2.1 Tipo de pesquisa e técnica

A inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas, requereu uma investigação qualitativa por suas características que contribuem de forma significativa para a realização dos passos da ABP, bem como da análise dos resultados da pesquisa.

Destacamos de Bogdan e Biklen (1994), características da investigação qualitativa que se coadunam com esta pesquisa, a saber: a) tem como fonte direta de dados, o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal; b) é descritiva, onde os dados recolhidos são em forma de palavras ou imagens e não de números; c) apresenta maior interesse pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos; d) a análise dos dados ocorre de forma indutiva.

Dentro da investigação qualitativa a observação participante é uma técnica importante para o investigador, onde em alguns momentos deve ficar um pouco de fora e em outros participar um pouco mais. No nosso caso, tivemos participação intensa, pelo tipo de pesquisa realizada, ou seja, no contexto de Mestrado Profissional, sendo a pesquisadora, a implementadora da proposta.

Para o resultado bem sucedido de um estudo de observação participante, é importante o uso de notas de campo (diário de campo), detalhadas, precisas e extensivas. (BOGDAN; BIKLEN, 1994), como ocorreu nesta pesquisa.

Além, dos textos produzidos pelos alunos (atividades de aula), outros instrumentos de coleta de dados foram utilizados no presente trabalho, como: gravação em áudio, gravação em áudio e vídeo e cartazes produzidos pelos sujeitos da pesquisa, ou seja, os alunos participantes.

## 2.2 Local e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi realizada em 2015 com 38 alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública<sup>5</sup> localizada na Zona Oeste da cidade de Manaus.

Os alunos que participaram da pesquisa eram do 3º ano 01 do turno vespertino e possuíam idades entre 16 e 20. No quadro abaixo, cada participante da pesquisa é identificado e caracterizado de acordo com sua participação.

Figura 3 - Quadro com identificação, idade e característica dos participantes

Identificação	Idade	Característica
A1	17 anos	Assíduo
A2	17 anos	Assíduo
A3	19 anos	Repetente, assíduo
A4	18 anos	Repetente, assíduo
A5	18 anos	Assíduo
A6	17 anos	Assíduo
A7	17 anos	Assíduo
A8	18 anos	Repetente, assíduo
A9	18 anos	Repetente, introvertido e não assíduo
A10	18 anos	Assíduo
A11	17 anos	Não assíduo
A12	18 anos	Introvertido e não assíduo
A13	17 anos	Assíduo
A14	17 anos	Assíduo
A15	17 anos	Assíduo
A16	17 anos	Assíduo
A17	17 anos	Assíduo
A18	17 anos	Assíduo

<sup>5</sup> A pesquisadora é também a professora da turma.

A19	18 anos	Não assíduo
A20	17 anos	Assíduo
A21	18 anos	Introvertido e assíduo
A22	17 anos	Assíduo
A23	17 anos	Assídua
A24	16 anos	Assíduo
A25	19 anos	Repetente e assíduo
A26	18 anos	Repetente e não assíduo
A27	17 anos	Não assíduo
A28	18 anos	Repetente e não assíduo
A29	18 anos	Assíduo
A30	18 anos	Assíduo
A31	17 anos	Não assíduo
A32	17 anos	Assíduo
A33	18 anos	Não assíduo
A34	16 anos	Assíduo
A35	18 anos	Repetente e assíduo
A36	17 anos	Assíduo
A37	17anos	Assíduo
A38	17anos	Assíduo

Fonte: Elaborado a partir do questionário de identificação (Apêndice A), 2015.

### 2.3 Desenvolvimento da pesquisa

Para desenvolver a pesquisa, a proposta foi organizada para ser implementada em três etapas, que são: 1) apresentação das aplicações dos supercondutores e do problema central a ser solucionado; 2) aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos; 3) abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central. Para esta última etapa, a abordagem da temática Supercondutores, foi organizada seis blocos de conteúdos, a saber: 1) Contexto histórico; 2) Corrente e resistividade elétrica; 3) Resistividade nula e efeito Meissner; 4) supercondutor x condutor perfeito; 5) teoria BCS; 6) tipos de supercondutores.

As três etapas para a implementação da pesquisa, que se relacionam aos sete passos da ABP, estão apresentadas na figura abaixo.



Figura 4 - Quadro das etapas implementadas em relação aos passos da ABP

PASSOS DA ABP (CAMPOS, 2012)	ETAPAS IMPLEMENTADAS	AULAS
1 Esclarecer termos e expressões no texto do problema	2.3.1 Apresentação da proposta e do problema central a ser solucionado	Aula 1 - Apresentação da proposta, do problema central e dos objetivos.
2 Definir o problema		
3 Analisar o problema		
4 Sistematizar análise e hipóteses de explicação, ou solução, do problema		
5 Formular objetivos de aprendizagem		
6 Identificar fatores de informação e adquirir novos conhecimentos individualmente	2.3.2 Apresentação das aplicações dos supercondutores e aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos	Aula 2 - Apresentação das aplicações dos supercondutores e aplicação do questionário de identificação e de conhecimentos específicos sobre alguns conceitos da Física
7 Sintetizar conhecimentos e revisar hipóteses iniciais para o problema	2.3.3 Abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central	Aulas 3 a 11 – Blocos de conteúdo. Aula 12 - Aplicação do questionário final. Aula 13 - Resolução do problema central e auto avaliação.

Fonte: Elaborado com base em Campos (2012).

Na sequência, será descrito como ocorreu a implementação de cada etapa, conforme apresentada figura acima.

### 2.3.1 Apresentação da proposta e do problema central a ser solucionado

O início da implementação da pesquisa se deu com a apresentação aos alunos, sujeitos da pesquisa, da proposta para inserção da Supercondutividade no Ensino Médio, por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas. Por ser uma metodologia não conhecida pelos alunos, houve a necessidade de uma explanação, esclarecendo os passos que seriam utilizados para a aprendizagem.

Após a apresentação da proposta, foi apresentado o problema central a ser solucionado, ao fim da aprendizagem através da ABP, que, segundo Ribeiro (2005, p. 43),

Diferentemente dos problemas nas abordagens convencionais, um problema na ABP é de fim aberto, quer dizer, não comporta uma solução correta única, mas uma ou mais soluções adequadas, considerando-se as restrições impostas pelo problema em si e pelo contexto educacional em que está inserido.

A apresentação da proposta, do problema central e dos objetivos pretendidos na Aula 01, estão descritas abaixo.

### **Aula 1 - Apresentação da proposta e do problema central**

Através de apresentação no Power Point, foi apresentado o problema central a ser resolvido ao fim da total implementação do projeto: Uma nova tecnologia, a Supercondutividade, está sendo utilizada para melhorias nas mais diversas áreas. Sendo assim, o que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores?

Durante a discussão do problema central, o aluno A37 observou que havia uma afirmação e só depois o questionamento, percebendo que uma informação já estava sendo dada: a Supercondutividade estava sendo usada para a melhoria em várias áreas. Na verdade, o assunto já não é uma novidade no contexto social e a percepção desta informação já faz com que a turma se insira no processo, pois frente à questão temporal e usual já não é algo novo e sim cotidiano nas áreas onde a supercondutividade é usada. Após a apresentação da proposta e do problema central, foi perguntado aos alunos se estes já sabiam ou já ouviram falar algo sobre Supercondutividade, todos responderam que não.

A primeira aula foi terminada, com três pontos especificados aos alunos: apresentação inicial da temática será através de vídeos que demonstram as aplicações da Supercondutividade; destaque da importância desse primeiro momento antes de iniciar os blocos de conteúdo; apresentação dos objetivos pretendidos.

Objetivo 1: Reconhecer a existência da Supercondutividade no mundo, através de suas aplicações.

Objetivo 2: Conhecer os conteúdos da Supercondutividade inseridos nas aplicações apresentadas.

Nessa etapa o instrumento de coleta de dados foi a anotação de campo da pesquisadora.

#### **2.3.2 Apresentação das aplicações dos supercondutores e aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos**

Uma vez conhecido o problema central, na Aula 02, logo abaixo, foram apresentadas algumas aplicações dos materiais supercondutores aos alunos. Dentre as aplicações dos

supercondutores apresentadas pelo professor da turma aos alunos estavam aquelas presentes na realidade, tais como Imagens por Ressonância Magnética, SQUIDS e outros e as que se encontram em uma realidade distante – LHC, Lexus Hoverboard e trem MAGLEV-. A apresentação deu-se por meio de vídeos e imagens, a partir da qual foi proposto um debate em grupos pequenos.

Após as apresentações das aplicações dos supercondutores, foram apresentados os blocos de conteúdos que seriam trabalhados e, por fim, foi aplicado um questionário para verificar os conhecimentos dos alunos sobre situações semelhantes às aquelas apresentadas durante as aplicações dos supercondutores (APÊNDICE A). A aprendizagem Baseada em Problemas valoriza os conhecimentos prévios, uma vez que supõe que o estudante os aplica durante a aprendizagem.

## **Aula 2 - Apresentação de aplicações dos supercondutores**

No início da aula, foram reapresentados os objetivos pretendidos desse primeiro momento, que são: Reconhecer a existência da Supercondutividade no mundo, através de suas aplicações; Conhecer os conteúdos da Supercondutividade inseridos nas aplicações apresentadas. Foram exibidos os vídeos<sup>6</sup>: O skate voador da Lexus; LHC – Grande Colisor de Hadrons; LHC – experiência do colisor de partículas é um sucesso e não causa temido buraco negro; Trem de levitação magnética: Uma opção para centros urbanos - Maglev Cobra-, como exemplos de aplicações dos supercondutores e a importância de sua existência. Durante a apresentação dos vídeos, alguns alunos se manifestaram dizendo que já haviam lido ou visto algo na internet sobre o skate voador e sobre o acelerador de partículas, mas nenhum associava as duas aplicações com a Supercondutividade.

Após a exibição de cada vídeo, houve a interação entre classe e professor, através de algumas colocações e perguntas realizadas pelos alunos. Sobre o primeiro vídeo, referente ao skate voador, a principal curiosidade era sobre o que causava a fumaça que sai do skate e a outra era saber se o skate voaria sobre qualquer superfície ou sobre superfícies específicas. O segundo vídeo, sobre o trem MAGLEV, despertou interesse em utilizar o transporte e foi facilmente associado ao skate voador, pela capacidade de flutuação.

Os dois últimos vídeos foram os que causaram mais interesse e participação dos alunos após seus termos, sendo alguns pedidos de esclarecimento e perguntas realizadas por eles:

---

<sup>6</sup> A referência dos vídeos pode ser encontrada no plano de trabalho para desenvolvimento do conteúdo, na seção II do Apêndice H.

1. “Havia possibilidade do LHC causar o buraco negro?” (A3 e A22).
2. “O que impedia uma grande explosão que ultrapassasse o laboratório?” (A3).
3. Pediu-se explicação sobre as partículas em colisão no LHC. (A18).

A continuidade da aula se deu enriquecida pelas diversas contribuições surgidas. Um aluno (A22) fez a associação do buraco negro com o caminho de minhoca, estabelecendo uma relação distintiva entre os dois e, durante a discussão de um grupo de alunos sobre como funcionava o acelerador de partículas, conseguiu-se associar a uma série atual de TV Flash, que também apresenta um acelerador de partículas.

Após o término das colocações realizadas pelos alunos foi explicado que, uma vez familiarizado com a existência da Supercondutividade, seriam trabalhados seis blocos de conteúdos com a finalidade de contribuir para a resolução do problema central, através de uma aprendizagem cumulativa, como sugere a Aprendizagem Baseada em Problemas.

Os blocos apresentados foram:

Bloco 01 - Contexto histórico da Supercondutividade;

Bloco 02 - Corrente e resistividade elétrica;

Bloco 03 - Resistividade nula e efeito Meissner;

Bloco 04 - Supercondutor x condutor perfeito;

Bloco 05 - Tipos de supercondutores;

Bloco 06 - Teoria BCS.

Concluindo essa etapa inicial, foi aplicado um questionário de identificação e de conhecimentos específicos sobre alguns conceitos da Física (APÊNDICE A), necessários para a compreensão da Supercondutividade, para a verificação dos conhecimentos prévios já adquiridos pelos alunos. Durante o questionário, os alunos tentaram discutir entre eles os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica, sentindo-se inseguros e constrangidos de responder de forma errônea.

### 2.3.3 Abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central

A abordagem de cada bloco de conteúdo subdividiu-se em outras etapas: apresentação de um problema específico do bloco de conteúdo, o qual os alunos deviam ser capazes de resolver ao fim do bloco; apresentação e esclarecimento dos objetivos pretendidos; realização das atividades de ensino e aprendizagem, as quais consistiam em estudo individual, debates em grupos pequenos, questionários, pesquisa, elaboração de vídeo e produção de texto.

Ao se iniciar a abordagem dos conteúdos com a apresentação de um problema específico e após o esclarecimento dos objetivos pretendidos, foram realizadas atividades de ensino e aprendizagem. Como a ABP tem como centro da ação o aluno, o professor passa a ter um papel diferente do habitual. Esse novo papel de orientador, coaprendiz, facilitador na construção do conhecimento, é um dos grandes desafios que a ABP coloca aos docentes e instituições (RIBEIRO, 2005). Desse modo, o professor terá que articular atividades de aprendizagem de forma que o aluno seja um agente ativo e não passivo.

Tais atividades devem contribuir para a aprendizagem, conseqüentemente, para a resolução do problema central. Segundo Gijsselaers (1996 apud RIBEIRO, 2005, p. 35),

[...] a aprendizagem é mais rápida quando os alunos possuem habilidades de auto regulação, que são favorecidas na ABP quando do estabelecimento de objetivos (o que vou fazer?), escolha de estratégias (como vou fazê-lo?) e avaliação do problema e do processo educacional (funcionou?).

Para avaliar o problema foram realizados dois tipos de avaliação, tendo em vista os princípios da metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas, a avaliação final e a auto avaliação.

#### 1) Avaliação final

A realização da avaliação final implicou na produção de um material (em forma de texto) com o objetivo de apresentar a solução do problema central sobre a temática Supercondutividade apresentado no início de sua abordagem.

#### 2) Autoavaliação

A última etapa consistiu na aplicação de um questionário final de autoavaliação do aluno com o objetivo de refletir e analisar sua participação e envolvimento no processo de aprendizagem da temática Supercondutividade. A atividade de autoavaliação é essencial para uma aprendizagem autônoma eficaz. (RIBEIRO, 2005).

A descrição detalhada de como se deu esta etapa, ou seja, abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central, é apresentada a seguir.

### 2.3.3.1 Descrição detalhada da implementação da pesquisa

A descrição detalhada do desenvolvimento da pesquisa para mostrar como foi implementada a proposta para análise da inserção da supercondutividade no Ensino Médio, tendo como sustentação metodológica a Aprendizagem Baseada em Problemas, em vista da necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilitasse aos alunos

relacionar os conhecimentos científicos com a vida, ocorreu em seis blocos de conteúdos específicos para tratar da temática de supercondutividade e mais cinco aulas com atividades relacionadas à temática<sup>7</sup>, conforme a seguir:

Aula 3 - Bloco 01 – Contexto histórico.

Aula 4 - Pesquisa e produção do vídeo sobre a origem e avanço da Supercondutividade.

Aula 5 - Bloco 02 – Corrente e resistividade elétrica.

Aula 6 - Bloco 03 – Resistividade nula e efeito Meissner.

Aula 7 - Bloco 04 - Supercondutor x Condutor perfeito.

Aula 8 - Atividade de revisão.

Aula 9 – Discussão sobre as questões da atividade de revisão

Aula 10 - Bloco 05 – Tipos de supercondutores.

Aula 11 - Bloco 06 – teoria BCS.

Aula 12 - Aplicação do questionário final.

Aula 13 - Resolução do problema central e auto avaliação

Cada aula de 50 minutos, sendo a carga horária total de 10h50min, iniciada em 27 de outubro de 2015 e encerrada em 01 de dezembro de 2015, foi desenvolvida conforme apresentada a seguir.

### **Aula 3 - Bloco 01 – Contexto histórico**

Conforme acerto no final da aula anterior, foi apresentado o bloco 01 “Contexto histórico da Supercondutividade” e seu problema específico a ser solucionado: Quais os fatos que deram origem e avanço à supercondutividade?

No esclarecimento do problema específico, foi enfatizado o que eles deveriam solucionar – a identificação dos fatos que originaram e permitiram o avanço da Supercondutividade – e a forma utilizada que demonstrariam a solução - vídeo elaborado em grupo de três ou quatro alunos, como sugere a metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas.

Em seguida, vinculado com o problema específico, foi apresentado o objetivo do bloco de conteúdo: conhecer os principais fatos que contribuíram para a evolução da

---

<sup>7</sup> O plano de trabalho para desenvolvimento do conteúdo de todas as aulas encontra-se na seção II do Apêndice H.

Supercondutividade. Os alunos foram orientados a prestar atenção nos principais fatos contribuintes para o avanço da temática, expostos durante a aula.

A exposição do bloco 01 foi realizada através de apresentação de slides, composta por informações cronológicas quanto à descoberta da Supercondutividade (onde, quando e quem a realizou), as diversas contribuições de vários físicos para a temática, como a descoberta do efeito Meissner, a proposta do modelo de dois fluidos, a teoria BCS, a descoberta do fenômeno da Supercondutividade em diferentes materiais e compostos, em suas respectivas temperaturas críticas, a teoria dos supercondutores do tipo II e a descoberta da massa do Bóson de Higgs até os avanços mais atuais, como a descoberta de um material comum e malcheiroso capaz de superconduzir a apenas  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Durante a exposição, foi enfatizado que Heike Kamerlingh Onnes descobriu a origem da Supercondutividade, em 1911, quando pesquisava sobre os efeitos nas propriedades dos metais expostos a temperaturas extremamente frias. Esta informação fez-se necessária para o esclarecimento de que não se buscava a descoberta de materiais supercondutores, mas que diante tal verificação, surgiu um estudo voltado para eles.

Ao término da aula, um aluno se pronunciou sobre o que lhe chamou mais atenção, “a quantidade de prêmios Nobel recebidos e a data da última descoberta (2015), concluindo que se trata de um assunto da Física inacabado, com coisas ainda por descobrir.” (A 17).

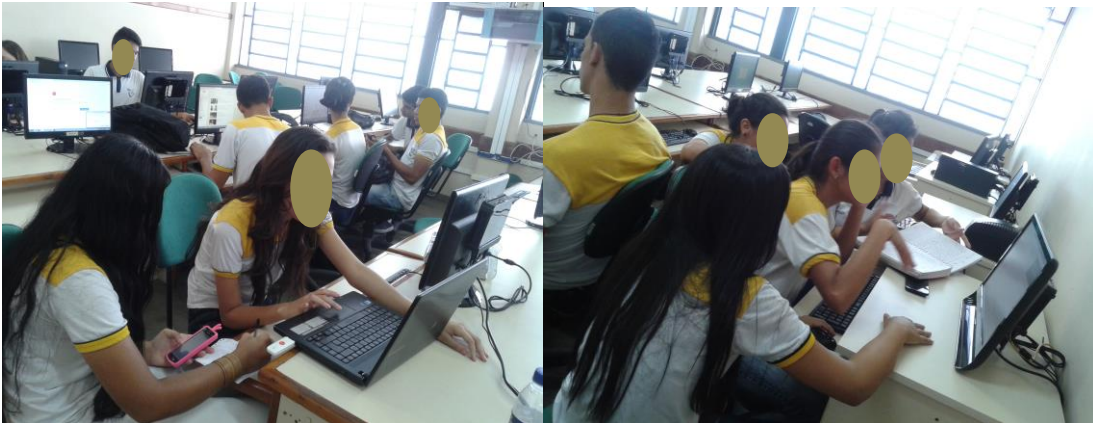
#### **Aula 4 - Pesquisa e produção do vídeo sobre a origem e avanço da Supercondutividade**

Nesta aula foi utilizado o laboratório de informática da escola para que os alunos pudessem trabalhar em grupos, pesquisando e produzindo o vídeo proposto na aula anterior.

Para que houvesse uma maior interação dos alunos e produtividade foram formados nove grupos e divididos em dois ambientes, a saber: quatro grupos permaneceram em sala de aula estruturando um roteiro para o vídeo, enquanto os outros foram ao laboratório desenvolver a pesquisa, conforme ilustra a Figura 5. Isto ocorreu durante 20min para que os grupos pudessem trocar de ambiente e finalizar suas atividades.

Os temas para produção do vídeo foram a critério dos grupos, mediante o exposto na aula anterior sobre a origem e o avanço da Supercondutividade. Em vista disso, os pontos em destaques abordados foram diversos; enquanto uns grupos enfatizaram as aplicações dos materiais supercondutores, outros deram ênfase às características da Supercondutividade.

Figura 5 – Pesquisa no laboratório de informática sobre Supercondutividade



Fonte: Arquivo de imagens da autora, 2015.

### **Aula 5 - Bloco 02 – Corrente e resistividade elétrica**

“Corrente e resistividade elétrica”, é iniciada com a apresentação do problema específico: como se comportam os elétrons livres de um fio metálico diante da presença de impurezas e vibrações térmicas? Para melhor entendimento do problema específico, foi esclarecida a ideia de elétrons livres e explicado que as impurezas e variações térmicas estavam relacionadas à estrutura cristalina dos corpos. O objetivo pretendido deste bloco de conteúdo é compreender a função da resistência elétrica e resistividade e suas diferenças, para contribuir na resolução do problema.

Foi aberto um diálogo com a turma, questionando-se sobre o conceito de corrente elétrica, obtendo as seguintes respostas:

1. “É o movimento dos elétrons por um fio ou condutor”. (A24).
2. “É o movimento de cargas elétricas quando ligado a um gerador”. (A29).
3. “É o movimento dos elétrons, mas de uma ponta a outra do fio, em ordem”.

(A18).

Sem finalizar o diálogo, com o objetivo de orientar a turma para um melhor entendimento sobre corrente elétrica, foram exibidos dois vídeos sobre as estruturas cristalinas e sobre os defeitos pontuais das redes cristalinas, já fazendo uma introdução para a compreensão da resistividade elétrica do material.

Como no Ensino Médio não se costuma ter uma preocupação com a análise microscópica, após a exibição, foi realizada uma breve explicação dos vídeos e feita a associação das imperfeições na rede cristalina e das vibrações térmicas com a resistividade do material.



Em seguida, a turma foi dividida em grupos de quatro alunos para uma discussão que contribuísse para a resolução do problema específico. Para direcionar a discussão, foram entregues aos alunos, textos (APÊNDICE C) sobre os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica, sendo orientados a sintetizar oralmente os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica, primeiramente em grupos pequenos e depois com a turma. Após realizadas as sínteses, os alunos elaboraram, por escrito, uma solução para o problema específico, a qual será analisada no capítulo 3.

### **Aula 6 - Bloco 03 – Resistividade nula e efeito Meissner**

Iniciando o terceiro bloco de conteúdo “Resistividade nula e efeito Meissner”, foi apresentado o problema específico: Como identificar que um material passou ao seu estado supercondutor?

Logo após a leitura do problema específico, uma pergunta foi realizada por um aluno: “Então um material que não é supercondutor, pode vir a se tornar um?” (A37).

O questionamento foi respondido afirmativamente pela professora, que complementou “um material pode se tornar um supercondutor, mas não qualquer material e nem em qualquer condição”, sendo acrescentado, que isso seria abordado ao longo da aula e que essas informações contribuiriam para a solução do problema.

O segundo passo da aula foi apresentar os objetivos pretendidos deste bloco: Objetivo 1: Compreender a função da temperatura crítica na Supercondutividade. Objetivo 2: Conhecer o comportamento das linhas de indução do Campo Magnético na presença de um supercondutor.

Para a abordagem sobre resistividade nula foi utilizado um gráfico composto por eixos representados por Resistividade elétrica x temperatura. Ele mostrava a perda da resistividade elétrica do estanho, assim como a resistividade finita de um metal normal, no zero absoluto. Sendo o gráfico autoexplicativo, foi facilmente verificado pelos alunos que o comportamento da curva que representava a resistividade elétrica do estanho, caía abruptamente a zero, deixando mais simples a explicação de que para isso acontecer, o material teve que atingir uma temperatura específica, denominada temperatura crítica, onde este valor varia de acordo com o material. Por fim, foi esclarecido que a resistividade elétrica depende do número de colisões entre as partículas, assim a resistividade aumenta com a temperatura e com a presença de impurezas e imperfeições. Tornando mais simples a compreensão de que se a temperatura é extremamente baixa, a resistividade tende a zero.

Antes de tratar sobre o efeito Meissner, foi explicado o fenômeno do diamagnetismo, termo utilizado para designar o comportamento dos materiais serem ligeiramente repelidos na presença de campos magnéticos fortes, sendo dito que é um tipo de magnetismo característico de alguns materiais que são capazes de diminuir o campo magnético em seu interior.

Iniciando a abordagem do efeito Meissner, foi relatado que os físicos alemães W. Meissner e R. Ochsenfiel constataram que os supercondutores são diamagnetos quase perfeitos (OSTERMANN, 1998). Como subsídio para tal abordagem foram utilizadas imagens representando a expulsão do campo magnético em materiais supercondutores.

Foi esclarecido aos alunos que, através desse comportamento do campo magnético em materiais supercondutores, ficou demonstrado que um supercondutor não é somente um metal com resistividade nula, por ela não provocar um diamagnetismo perfeito. Assim, o efeito Meissner passa a ser mais uma característica de materiais supercondutores.

A aula foi concluída com a resolução do problema específico proposto, onde, em grupo, os alunos discutiram sobre o efeito Meissner e elaboraram uma síntese dessa discussão, de forma a solucionar o problema específico. Foi ainda encaminhada uma atividade para casa, que consistiu em pesquisar materiais supercondutores e suas temperaturas críticas com a finalidade de conhecer novos materiais supercondutores em temperaturas críticas diversas. Tal atividade foi recolhida na aula seguinte, mas não houve discussão. No entanto, foi importante para a condução da aula sobre os tipos de supercondutores.

### **Aula 7 - Bloco 04 - Supercondutor x Condutor perfeito**

O quarto bloco “Supercondutor x Condutor perfeito” teve como problema específico: Como o condutor perfeito e o supercondutor reagem à ação de um campo magnético externo?

Foi apresentado juntamente com o problema específico, o objetivo: Compreender como a ordem dos procedimentos aplicados em um condutor e em um supercondutor afetam no resultado do comportamento magnético.

Foi esclarecido aos alunos que uma atividade seria realizada por eles como resolução do problema específico. Como orientação, utilizaram os passos para a elaboração dos esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor (APÊNDICE D), proposto por Ostermann (1998). Uma leitura foi realizada em sala de aula, sobre os passos dos dois esquemas.

Em seguida, a sala foi organizada em grupos de cinco alunos para a realização da tarefa. Foi entregue a cada grupo quatorze imagens, materiais para a construção dos esquemas

e uma cópia dos passos lidos em sala para que os alunos discutissem sobre a ordem dos procedimentos aplicados em um condutor e em um supercondutor.

Já em grupo, os alunos discutiram sobre cada imagem e, aos poucos, foram organizando os esquemas na ordem que acreditavam estar correta e construindo os cartazes (Figura 6). Todos os grupos conseguiram verificar facilmente, nas imagens, o efeito Meissner, trabalhado na aula anterior.

Houve uma grande preocupação dos grupos em não “errar”, o que proporcionou uma maior interação com a professora que auxiliou durante toda a atividade.

Figura 6 – Atividade para construção dos esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor.



Fonte: Arquivo de imagens da autora, 2015.

Durante o processo, foi sugerido, por um dos alunos, que se poderia ter uma atividade para revisar os tópicos já trabalhados, afirmando que muitas eram as informações novas. Grande parte da turma concordou com a proposta da atividade. Esta atitude demonstrou interesse e preocupação acerca da aprendizagem e construção do conhecimento.

### **Aula 8 - Atividade de revisão**

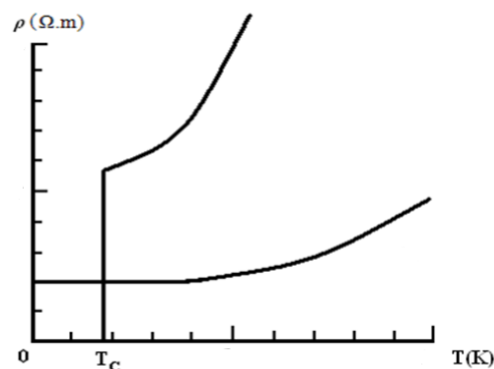
Esta aula foi específica para a aplicação da atividade sugerida pela turma (APÊNDICE B). A atividade era composta por nove questões referentes aos quatro primeiros blocos: Contexto histórico da Supercondutividade; Corrente e resistividade elétrica; Resistividade nula e efeito Meissner e Supercondutor x condutor perfeito.

A atividade consistiu nas seguintes questões:

1. O que é corrente elétrica?

2. Explique o que a resistividade elétrica representa e por que ela varia a cada material.
3. O que seria um condutor perfeito? Ele realmente existe?
4. Cite possíveis defeitos na estrutura cristalina de um condutor.
5. A Supercondutividade foi descoberta pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, quando pesquisava sobre os efeitos nas propriedades dos metais expostos a temperaturas extremamente frias. Em que consiste o fenômeno da Supercondutividade?
6. Sabendo que a resistividade está relacionada com a temperatura do condutor, explique em que consiste a temperatura crítica.
7. Explique o que representa o gráfico abaixo indicando as a indicação de cada curva como condutor ou supercondutor.

Figura 7 - Gráfico Resistividade x Temperatura



Fonte: adaptado de Ostermann (2005 apud VAZ, 2009).

8. O que seria o diamagnetismo perfeito?
9. Várias são as aplicações dos materiais supercondutores. Entre elas está o Trem Maglev utilizando o fenômeno da levitação magnética. Como você explica esse fenômeno?

Em consonância com todo o trabalho desenvolvido e explanação sobre o tema até o dado momento, a atividade foi aplicada para ser desenvolvida individualmente, com o objetivo de verificar se as informações adquiridas sobre o fenômeno da Supercondutividade tinham sido, de fato, compreendidas ou se encontravam confusas no cognitivo dos alunos, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Realização da atividade de revisão dos quatro primeiros blocos de conteúdo



Fonte: Arquivo de imagens da autora, 2015.

### **Aula 9 - Discussão sobre as questões da atividade de revisão**

Nessa aula, cujo objetivo, foi feita uma discussão sobre as questões trabalhadas na atividade da aula anterior, devido à insegurança dos alunos no momento de sua realização.

Durante a discussão cada questão foi retomada, de forma que os alunos pudessem esclarecer suas dúvidas e interagir com colocações e questionamentos para uma melhor orientação às respostas.

Da questão 1 - O que é corrente elétrica? -, os alunos responderam corretamente e acrescentaram na discussão que na existência de corrente elétrica, há uma diferença de potencial (ddp) entre as extremidades do condutor onde se encontram os elétrons em movimento ordenado. Disseram ainda que, no caso de um circuito elétrico, essa ddp é criada pelo gerador elétrico (vários alunos).

Da questão 2 - Explique o que a resistividade elétrica representa e por que ela varia a cada material. -, uma aluna (A23) questionou a diferença entre resistividade e resistência elétrica, afirmando que, para ela, não havia ficado claro. Outro aluno (A18) respondeu ao questionamento da colega, associando a palavra resistência elétrica à oposição, indicando que então a palavra resistência, que vem do verbo resistir, representa uma oposição à passagem dos elétrons. Assim, o termo resistividade indicaria uma espécie de capacidade que o material tem de se opor à corrente elétrica. Concluiu dizendo que se o corpo possui um valor alto para

sua resistividade, significa que ela se opõe à passagem dos elétrons, mas se possui um baixo valor, significa que ela permite a passagem da corrente elétrica.

A professora complementou que a diferença entre resistência e resistividade elétrica é explicada pelo que alude: quando se fala resistência elétrica, fala-se da forma, da geometria do corpo (característica macroscópica), mas resistividade, não depende do corpo, e sim do que ele é formado (característica microscópica). Assim, o termo resistividade é relacionado à substância que forma aquele corpo.

Da segunda parte da questão 2, que se tratava da variação da resistividade a cada material, o aluno A24 fez, rapidamente, a associação com a estrutura cristalina de cada material. A professora complementou que por isso então que a resistividade está associada à sua característica microscópica, pois a estrutura cristalina difere de acordo com o que o corpo é formado. Concluindo que, então, essa resistividade depende de como os átomos estão se comportando, como estão distribuídos, onde estão localizados.

A professora lembrou a turma que é importante o fato de que a resistividade também depende da temperatura, variando conforme há uma variação na temperatura do corpo.

Da questão 3 - O que seria um condutor perfeito? Ele realmente existe? -, a turma descreveu um condutor perfeito como sendo um condutor que não apresenta impurezas, imperfeições, defeitos. Todos os alunos afirmaram que um condutor perfeito de fato, não existe.

Da questão 4 - Cite possíveis defeitos na estrutura cristalina de um condutor. -, o aluno Alexsandro citou a presença de um átomo a mais na estrutura cristalina do condutor, sendo complementado pela aluna A37, que poderia ser um átomo a menos. Foi ainda explicado pelo aluno que a presença de um átomo a mais ou a ausência de um átomo modificaria a estrutura cristalina do condutor.

O aluno A18 afirmou lembrar-se de o nome de um defeito, mas que não sabia explicar, seria o defeito da substituição. A professora esclareceu que este caso seria a troca de um átomo por outro maior ou menor que o inicial, impedindo a uniformidade da estrutura cristalina do condutor, completando que qualquer imperfeição que impeça a uniformidade da rede cristalina é denominada um defeito nesta estrutura.

Da questão 5 - A supercondutividade foi descoberta pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, quando pesquisava sobre os efeitos nas propriedades dos metais expostos a temperaturas extremamente frias. Em que consiste o fenômeno da Supercondutividade? -, a turma demonstrou-se segura em suas colocações.

O aluno A24 afirmou que o fenômeno da Supercondutividade se dá a partir do resfriamento de certos materiais, que ao atingir uma temperatura crítica, perde sua resistividade. A aluna A37 enfatizou que o valor desta resistividade cai abruptamente a zero ao atingir a temperatura crítica específica para o material.

Além da perda abrupta da resistividade, foi citado pelo mesmo aluno o efeito Meissner como outra característica da Supercondutividade. O efeito Meissner foi explicado pelo aluno A22, como sendo o comportamento das linhas de indução do campo magnético ao serem expelidas pelo condutor.

Para concluir a discussão sobre a questão 5, foi adicionada, pela professora, a informação de que outros parâmetros termodinâmicos além da temperatura, como a pressão, também são relevantes para a observação do fenômeno.

Da questão 6 - Sabendo que a resistividade está relacionada com a temperatura do condutor, explique em que consiste a temperatura crítica. -, a turma respondeu sem dúvidas, que a temperatura crítica é um valor da temperatura, no qual a resistividade vai a zero de forma abrupta. A aluna A23 complementou que tal temperatura crítica varia a cada material. Foi finalizada a abordagem da temperatura crítica, pelo aluno A34, como sendo uma temperatura que, um condutor, ao atingi-la, tem a sua resistividade nula de forma abrupta, passando a ser um supercondutor. Tais informações foram concluídas pela professora, que apontou o comportamento da resistividade se anular como sendo característica apenas dos materiais supercondutores.

Da questão 7 - Explique o que representa o gráfico abaixo nomeando cada curva como condutor ou supercondutor. -, a professora perguntou se os alunos conseguiram perceber de imediato, na representação gráfica, qual curva representava o condutor e qual curva representava o supercondutor. Os alunos responderam afirmativamente, dizendo não apresentar mais dúvidas quanto à diferença do comportamento da resistividade mediante a uma temperatura crítica nos condutores e em materiais supercondutores.

Portanto, a resposta dada a esta questão foi que o gráfico representa o comportamento da resistividade durante um resfriamento de um material condutor e de um supercondutor. Assim, mediante a diminuição da temperatura, o condutor tem a sua resistividade diminuída gradativamente, enquanto o supercondutor tem sua resistividade levada a zero abruptamente.

Da questão 8 - O que seria o diamagnetismo perfeito? -, o aluno A24 respondeu que é o que ocorre no efeito Meissner, onde as linhas de indução do campo magnético não passam pelo condutor, contornando este condutor. O aluno A3 reafirmou que o diamagnetismo

perfeito é quando as linhas de indução desviam completamente do condutor, não penetrando nele.

Da questão 9 - Várias são as aplicações dos materiais supercondutores. Entre elas está o Trem Maglev utilizando o fenômeno da levitação magnética. Como você explica esse fenômeno? - Os alunos demonstraram-se inseguros a respondê-la, afirmando não saber explicar com palavras, mas que sabiam como funcionava, pois se lembravam das imagens vistas no vídeo.

O aluno A22 respondeu que a levitação magnética se dá ao fato da existência do efeito Meissner, onde as linhas de indução do campo magnético contornam o material supercondutor, criando um espaço entre o trem e o trilho, no caso do Trem Maglev.

A partir da resposta do aluno A22, outros alunos se sentiram mais seguros em fazer contribuições para a questão, como a presença de um ímã que gera esse campo magnético, o local onde se encontra o material supercondutor no Trem Maglev e muitos disseram que expressaram melhor o efeito Meissner existente na levitação magnética, através de desenhos do que em palavras.

### **Aula 10 - Bloco 05 – Tipos de supercondutores**

Iniciando o quinto bloco “Tipos de supercondutores”, foi apresentado o problema específico: Qual tipo de supercondutor tem mais valor em utilidade tecnológica? Quais características explicitam isso?

O passo seguinte foi apresentar o objetivo da aula: Conhecer os tipos de supercondutores e compreender suas características.

Como introdução da aula, foi explicado que pode haver um campo magnético suficientemente fraco, onde pode ser observado o efeito Meissner em todos os supercondutores e um campo magnético mais intenso, onde não se observa o efeito Meissner em alguns materiais.

Partindo desta informação, os supercondutores passam a ser diferenciados em dois tipos, Supercondutores do tipo I e Supercondutores do tipo II, tendo suas características apresentadas.

Como características dos Supercondutores do tipo I, foi explicado que se nota apenas o efeito Meissner e que, se o campo aplicado for inferior ao valor crítico, não ocorre nenhuma penetração do campo magnético. Já se tratando dos Supercondutores do tipo II, foi dito que apresentam dois campos críticos, sendo um inferior e um superior.



Foi apresentado através de uma representação gráfica que, nos Supercondutores do tipo II, até um campo crítico inferior, o estado Meissner persiste, com exclusão total do campo magnético. Acima deste campo crítico inferior o campo magnético penetra parcialmente na amostra, tendo a Supercondutividade mantida até o campo crítico superior.

Algumas outras características foram exibidas através de tabela, dentre elas estão: para o Supercondutor do tipo I: apresenta temperaturas críticas extremamente baixas, entra no estado supercondutor abruptamente, expulsa o campo magnético aplicado (efeito Meissner), apresenta baixo valor do campo magnético crítico; para o Supercondutor do tipo II: apresenta temperaturas críticas mais elevadas, entra no estado supercondutor gradativamente, permitem a penetração de parte do campo magnético, apresenta dois valores de campo crítico.

Esta aula foi concluída com o encaminhamento da resolução do problema específico para casa, de forma que eles pudessem ampliar seus conhecimentos sobre tipos de supercondutores através de pesquisa, além da investigação de materiais supercondutores dos tipos I e II, que pudessem contribuir para a resolução do problema específico, bem como do problema central. Tal resolução teve que ser entregue na aula seguinte. A atividade foi entregue na aula seguinte e está sendo analisado no capítulo 3, no bloco 05.

### **Aula 11 - Bloco 06 – teoria BCS**

O sexto bloco “Teoria BCS” teve como problema específico: Existe alguma teoria que procura descrever o mecanismo de formação da Supercondutividade? Ela é geral ou se limita a uma classe de supercondutores?

Após a apresentação do problema específico, foram exibidos os objetivos deste bloco: Objetivo 1 - Conhecer a Teoria BCS da Supercondutividade; Objetivo 2 - Compreender a interação elétron-rede-elétron prevista por Leon Cooper.

A exposição da Teoria BCS, desenvolvida em 1957, deu-se início com a apresentação de seus criadores Bardeen, Cooper e Schrieffer, seguindo com a apresentação da interação elétron-rede-elétron prevista por Leon Cooper.

Da interação elétron-rede foi explicado que no processo de espalhamento de um elétron, um modo de vibração da rede deve ser excitado e, sendo este movimento quantizado, um fônon é emitido ou absorvido, passando a ser chamada interação elétron-fônon. Como não é comum no Ensino Médio falar-se de fônon, uma analogia entre fônon e fóton foi apresentada, a fim de esclarecer aos alunos, o que seria um fônon: Assim como um fóton é uma partícula resultante da quantização de uma onda eletromagnética, um fônon pode ser

considerado uma partícula resultante da quantização de uma onda sonora oriunda das vibrações de uma rede cristalina. (OSTERMANN, 1998).

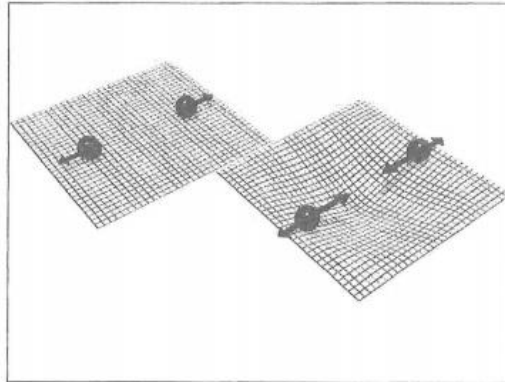
Em seguida, foi exibida uma tabela especificando as contribuições dos físicos Frohlich, Bardeen e Cooper para a teoria BCS. Frohlich deu o primeiro passo para o estudo microscópico da Supercondutividade e demonstrou que a interação elétron-fônon poderia ocasionar uma ligação atrativa entre dois elétrons; Bardeen desenvolveu uma teoria semelhante, mostrando que o elétron muda seu comportamento em decorrência da sua interação com os fônons da rede cristalina; e Cooper demonstrou que, sob certas condições, o gás de Fermi (formado pelos elétrons normais) torna-se instável possibilitando a formação de pares de elétrons ligados (hoje conhecidos como pares de Cooper). Tal instabilidade é denominada Instabilidade do Mar de Fermi, onde o estado metálico é menos estável que o estado ligado supercondutor.

Para uma maior compreensão da contribuição de Cooper, foi realizada uma explicação sobre a importância da descoberta dos pares de Cooper para a Supercondutividade. Iniciou-se com a diferença do comportamento dos elétrons em um metal comum - onde os elétrons formam um gás (gás de Fermi) - e nos supercondutores - onde os elétrons formam um conjunto de pares.

Sobre os pares de Cooper, foi dito que se movem coerentemente com a mesma velocidade e que para deter uma corrente formada por pares de Cooper deve-se então deter simultaneamente todos os pares de Cooper que se movimentam com uma dada velocidade. Assim, se a energia térmica não for suficiente para destruir os pares, a corrente flui indefinidamente. O material apresenta então resistividade nula. (OSTERMANN, 1998).

Para concluir a abordagem sobre a teoria BCS, com a explanação sobre os pares de Cooper, foi apresentada uma analogia: o Efeito “Colchão”. Esta analogia compara a estrutura cristalina a um colchão e os dois elétrons como duas esferas pesadas e carregadas negativamente. Assim, duas situações são analisadas: primeiro, a situação onde as duas esferas não deformam o colchão, obtendo somente a repulsão coulombiana; e a segunda onde o colchão sofre uma deformação, permitindo a existência de uma atração entre as esferas, que pode superar a repulsão coulombiana. (OSTERMANN, 1998).

Figura 9: Efeito “Colchão”



Fonte: Ostermann (1998).

A resolução do problema específico deste bloco ocorreu em sala de aula, em grupo, através de documento escrito.

### **Aula 12 - Aplicação do questionário final**

Nesta aula, realizou-se a aplicação do questionário final para a verificação da aprendizagem referente à temática Supercondutividade. Este questionário está associado aos seis blocos de conteúdos trabalhados nas aulas anteriores, sendo mais uma contribuição para a resolução do problema central.

O questionário final consistiu em dez questões: cinco subjetivas e cinco objetivas. As questões subjetivas tiveram por objetivo conhecer a opinião dos alunos acerca da inserção da Supercondutividade no Ensino Médio e da real aprendizagem referente a esta temática; já as questões objetivas tiveram a finalidade de obter resultados quanto à aprendizagem adquirida nas aulas implementadas para a realização do projeto, sendo específicas dos blocos de conteúdos abordados (Apêndice E).

### **Aula 13 - Resolução do problema central e autoavaliação**

Esta aula foi específica para a resolução do problema central: como uma nova tecnologia, a Supercondutividade está sendo utilizada para melhorias nas mais diversas áreas. Sendo assim, o que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores?

Após o tratamento de todos os blocos de conteúdos referentes à temática Supercondutividade, alunos, individualmente, puderam resolver o problema central proposto, por meio da resposta livre – texto escrito (Apêndice F). Durante a realização da atividade houve concentração da turma (Figura 10) e nenhum questionamento foi feito à professora.

Figura 10 – Realização da resolução do problema central



Fonte: Arquivo de imagens da autora, 2015

Após a realização da atividade pelos alunos, de resposta ao problema central, houve a aplicação do questionário de autoavaliação (Apêndice G), com o objetivo de o aluno analisar seu próprio desenvolvimento e desempenho durante as aulas sobre Supercondutividade.

## 2.4 Instrumentos de coleta de dados

Na pesquisa realizada os instrumentos de coleta de dados foram utilizados em consonância com cada aula desenvolvida, como mostra a figura abaixo.

Figura 11 – Quadro dos instrumentos de coleta de dados

Aulas	Tipo de atividade	Instrumentos de coleta de dados
Aula 01 – Apresentação da proposta e do problema central	Apresentação do problema central	Anotações de campo da pesquisadora
Aula 02 – Apresentação de aplicações dos supercondutores	Aplicação do questionário de identificação e de conhecimentos prévios	Questionário
Aula 03 - Bloco 01 - Contexto histórico da Supercondutividade	Exposição de informações cronológicas quanto à descoberta da Supercondutividade	Anotações de campo da pesquisadora
Aula 04 - Pesquisa e produção do vídeo.	Elaboração de vídeo pelos alunos, em grupo	Gravação em Vídeo
Aula 05 - Bloco 02 - Corrente e resistividade elétrica	Resolução do problema específico, por escrito, em grupo.	Atividade escrita
Aula 06 - Bloco 03 - Resistividade nula e efeito Meissner	Resolução do problema específico, por escrito, em grupo.	Atividade escrita

Aula 07 - Bloco 04 - Supercondutor x condutor perfeito	Criação de cartazes, em grupo	Cartazes
Aula 08 - Blocos 01, 02, 03 e 04	Atividade escrita de revisão individual	Atividade escrita
Aula 09 - Blocos 01, 02, 03 e 04	Gravação de áudio das discussões realizadas sobre a atividade de revisão	Áudio
Aula 10 - Bloco 05 - Tipos de supercondutores	Resolução do problema específico, por escrito, em dupla	Atividade escrita
Aula 11 - Bloco 06 - Teoria BCS	Resolução do problema específico, por escrito, em grupo	Atividade escrita
Aula 12 - Blocos 01, 02, 03, 04, 05 e 06	Aplicação do questionário final	Questionário
Aula 13 - Blocos 01, 02, 03, 04, 05 e 06	Resolução do problema central, individual	Atividade escrita

Fonte: Elaboração própria, 2016

Uma vez organizados os dados, procedeu-se à sua análise, com sustentação no referencial teórico construído, conforme apresentação a seguir.

## Capítulo 3

### Apresentação e discussão dos resultados

Para analisar a proposta implementada, tendo como sustentação a Aprendizagem Baseada em Problemas, para a inserção da temática Supercondutividade no Ensino Médio, em vista da necessidade de um ensino de Física mais contextualizado que possibilitasse aos alunos relacionar os conhecimentos científicos com a vida, seguimos os procedimentos de Creswell (2007) para análise e interpretação dos dados.

Tais procedimentos consistiram em seis passos: 1) Organizar e preparar os dados para análise; 2) Ler todos os dados; 3) Começar a análise detalhada com um processo de codificação; 4) Usar o processo de codificação para gerar uma descrição do cenário ou das pessoas além das categorias ou dos temas para análise; 5) Prever como a descrição e os temas serão representados na narrativa qualitativa; 6) Analisar os dados envolvidos e fazer uma interpretação ou extrair significado dos dados.

Concluídos os passos 1 e 2, realizamos o processo de codificação (Passo 3), organizando em grupos os blocos de conteúdo e em subgrupos, as atividades realizadas em cada um deles para iniciar a análise. Os passos 4 e 5 tornaram a análise mais bem elaborada, a partir da descrição dos alunos e dos fatos ocorridos durante a pesquisa e a previsão de como seriam expostos para mostrar os resultados alcançados. As categorias criadas seguiram as etapas implementadas para o desenvolvimento da pesquisa, apresentadas no Capítulo 2 (em 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3), em vista dos objetivos propostos, como mostra a figura 12.

Figura 12 – Quadro das categorias

Etapas de análise	Objetivo	Categorias
2.3.1 - Apresentação das aplicações dos supercondutores e do problema central a ser solucionado	Reconhecer a existência da supercondutividade no mundo.	A supercondutividade existe
2.3.2 - Aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos	Conhecer os conteúdos da Supercondutividade inseridos nas aplicações apresentadas.	A supercondutividade está presente no cotidiano
2.3.3 – Abordagem de cada bloco de conteúdo e resolução do problema central	Relacionar os conhecimentos científicos durante as aulas de supercondutividade com a vida	A supercondutividade é necessária e contribui para o avanço da tecnologia

Fonte: Elaboração própria, 2016

Referente à etapa de análise 2.3.3, decidimos fazer a análise por blocos de conteúdo, tendo em vista os problemas específicos contribuir de forma significativa para a resolução do problema central.

Por fim, o Passo 6 permitiu interpretar para extrair significado dos dados que mostraram que a proposta possibilitou um ensino de Física contextualizado, que permitiu aos alunos relacionar os conhecimentos científicos sobre Supercondutividade com a vida cotidiana, conforme passamos a apresentar, a seguir, a partir das categorias elencadas na figura 12, acima.

Ressaltamos que a terceira categoria (3.3) reúne a maior parte dos dados extraídos, que permitiram apresentar os resultados da pesquisa, porque é nela que se encontram os problemas específicos solucionados pelos alunos, contribuindo para a resolução do problema central, ou seja, essa categoria representa a análise da implementação da proposta para inserir a temática Supercondutividade no ensino Médio, como detalhada em 2.3.3.1.

### **3.1 A Supercondutividade existe**

A categoria “A Supercondutividade existe” está presente na análise de dados da aula 01, onde foram apresentados a proposta e o problema central a ser solucionado.

A aula 01 apresentou como objetivo reconhecer a existência da Supercondutividade no mundo. Através do esclarecimento do problema central, a observação realizada pelo aluno A37 de que, no próprio problema, havia a afirmação que a Supercondutividade estava sendo usada para melhoria em várias áreas, fez com que a turma também percebesse a afirmação existente e reconhecesse a existência da Supercondutividade, despertando um interesse por esse fenômeno até então não estudado.

### **3.2 A Supercondutividade está presente no cotidiano**

A categoria “A Supercondutividade está presente no cotidiano” surgiu a partir da apresentação de vídeos sobre algumas aplicações dos materiais supercondutores: O skate voador da Lexus; LHC – Grande Colisor de Hadrons; LHC – experiência do colisor de partículas é um sucesso e não causa temido buraco negro; Trem de levitação magnética: Uma opção para centros urbanos - Maglev Cobra-.

A análise realizada se deu através das discussões sobre os vídeos, nas quais os alunos demonstraram compreender a função do fenômeno da Supercondutividade nas aplicações

apresentadas. Além de tal compreensão, o alcance do objetivo dessa aula foi demonstrado pelas associações das aplicações, realizadas pelos alunos, às suas dúvidas existentes (até então, não esclarecidas) e a outras apresentadas semelhantes vistas em seu cotidiano, como colocado por um grupo de alunos, que conseguiu associar à série atual de TV Flash, a qual também apresenta um acelerador de partículas.

As falas dos alunos A3 e A22 representam interesse e associações condizentes com as aplicações: “Na série de TV Flash, também há um acelerador de partículas parecido com o apresentado no vídeo do LHC.” (A3); “Há possibilidade do LHC causar o buraco negro?” (A3 e A22).

### **3.3 O reconhecimento da Supercondutividade como um avanço para a tecnologia**

Esta análise é realizada a partir dos seis blocos de conteúdos trabalhados, a saber bloco 01 - Origem e avanço da Supercondutividade; bloco 02 - Corrente e Resistividade elétrica; bloco 03 - Resistividade nula e efeito Meissner; bloco 04 - Supercondutor x Condutor perfeito; bloco 05 - Tipos de supercondutores; bloco 06 - Teoria BCS.

#### **Bloco 01: Origem e avanço da Supercondutividade**

O bloco 01, ao qual se refere à origem e avanço da Supercondutividade, teve como objetivo Conhecer os principais fatos que contribuíram para a evolução da Supercondutividade.

Esse bloco foi trabalhado com os alunos através de vídeos produzidos pelos próprios alunos. O uso da elaboração dos vídeos como resolução do problema específico mostrou-se eficaz tanto para o envolvimento com a temática Supercondutividade, como também um grande elemento motivador, já que os alunos estão constantemente exercitando sua habilidade visual.

Os recursos audiovisuais no ensino da Supercondutividade deram certo, pois foram estrategicamente ligados com a apresentação do bloco em sala de aula, bem como com o problema específico a ser solucionado, apresentando uma função pré-estabelecida no plano de desenvolvimento elaborado pela professora.

Foram elaborados seis vídeos, onde todos foram assistidos e analisados de acordo com o empenho, interação entre os componentes dos grupos e pesquisa realizada sobre o tema proposto – Origem e avanço da Supercondutividade -.



Analisando os vídeos elaborados como resolução do problema específico “Quais os fatos que deram origem e avanço à Supercondutividade?”, dois vídeos se destacaram, o primeiro pela maturidade de englobar os principais fatos do avanço da Supercondutividade, elaborado pelo grupo formado pelos alunos A5, A24 e A35, com duração de 05:35 minutos; e o segundo pela demonstração de um grande interesse pela pesquisa da temática, realizada através da fala e dos vídeos e imagens pesquisadas na internet, este elaborado pelos alunos A10, A13, A16 e A17, com duração de 06:15 minutos.

O primeiro vídeo citado, deu início com a apresentação da data da descoberta da Supercondutividade, abril de 1911, e de quem a realizou, o físico holandês Heike Onnes. Foi enfatizado que a tal descoberta se deu durante à observação do mercúrio.

Em seguida, foi apresentada a contribuição de Walther Meissner, o efeito Meissner, em 1933, como sendo uma das propriedades dos supercondutores, que consistia na expulsão do campo magnético em materiais supercondutores, quando resfriado abaixo de sua temperatura crítica.

Sem serem apresentadas a teoria sobre as propriedades eletrodinâmicas dos supercondutores de London e a teoria fenomenológica desenvolvida pelos físicos Ginzburg e Landau, foi apresentada a teoria BCS, formulada pelos americanos Bardeen, Cooper e Schrieffer, em 1957. Foi enfatizado pelo grupo que os físicos receberam um prêmio Nobel de Física, em 1972, por essa teoria. A exposição da teoria, foi realizada como sendo uma teoria microscópica que afirma principalmente que os elétrons em um material no estado supercondutor se agrupam em pares, chamados pares de Cooper. Estes pares são formados por elétrons considerados de menor energia e sua formação depende da microestrutura do material, da forma da rede cristalina, já que os pares de elétrons se movimentam de forma acoplada com a rede.

Como uma grande contribuição e, agora, mais atual, o grupo apresentou a descoberta da massa do Bóson de Higgs, em 2008, através do LHC, o maior acelerador de partículas do mundo. Tal acelerador apresenta uma estrutura supercondutora de 27 km de extensão, onde são usados campo magnéticos muito intensos para manter o feixe de partículas coeso. O grupo finalizou enfatizando que essa não é a única função do material supercondutor no LHC, mas que já é possível compreender a extrema importância de tais materiais no acelerador de partículas.

O segundo vídeo em destaque, foi iniciado com o fato de, embora a Supercondutividade ser considerado um tópico da Física Contemporânea, em 2011 comemorou-se 100 anos de sua descoberta. O grupo demonstrou-se interessado em divulgar

que alguns desafios ainda não foram superados, citando uma teoria unificada capaz de explicar a ocorrência para diferentes tipos de materiais, em qualquer intervalo de temperatura crítica e a obtenção de um material supercondutor a uma temperatura ambiente ou maior.

Antes de o grupo começar a abordagem da temática, caracterizou o campo da Supercondutividade como produtivo pela quantidade de prêmios Nobel em Física que foram outorgados até o momento.

Iniciou sua abordagem com a descoberta da Supercondutividade em 1911 pelo físico holandês Heike Onnes, no qual recebeu o prêmio Nobel, dois anos depois. Onnes observou que certas substâncias quando em temperaturas muito baixas, apresentavam resistência elétrica quase nula, onde os elétrons livres da corrente elétrica de condução podiam transitar livremente na rede cristalina. A temperatura na qual o material passa a ser um supercondutor é denominada temperatura de transição, variando de material para material.

Com as imagens de um curto vídeo retirado da internet sobre o efeito Meissner, foram narradas algumas informações sobre as características do material supercondutor. Entre eles o próprio efeito Meissner, sendo explicada sua capacidade de excluir um campo magnético do interior do supercondutor; e o desaparecimento de resistividade elétrica, sendo tendo sido modelada em termos de emparelhamento de elétrons na rede cristalina por Bardeen, Cooper e Schrieffer, chamada de teoria BCS.

Para explicar a resistividade, o grupo falou sobre o espalhamento dos elétrons de condução em diferentes direções causado por dois efeitos que destroem a perfeita ligação da rede cristalina. Foi dito que a movimentação dos elétrons livres sofre oposição devido a presença de impurezas e imperfeições na rede cristalina e também pelas vibrações térmicas que deslocam os íons de sua posição de equilíbrio. A resistividade elétrica de um metal diminui à medida que o material é resfriado, isso ocorre por que quando a temperatura diminui as vibrações térmicas dos íons também diminuem e assim os elétrons de condução sofrem um menor número de espalhamentos. A temperatura que o material perde sua resistividade é chamada de temperatura de transição ou temperatura crítica.

A descrição destes dois vídeos mostra a eficácia da elaboração tanto para a interação entre os alunos, técnica utilizada também nos demais blocos por ser característica da ABP, como para o envolvimento e familiarização com a temática Supercondutividade. A análise dessa atividade elaborada pelos próprios alunos indica resolução do problema específico deste bloco.

## Bloco 02: Corrente e Resistividade elétrica

O segundo bloco de conteúdo “Corrente e resistividade elétrica”, apresentou como problema específico: Como se comportam os elétrons livres de um fio metálico diante a presença de impurezas e vibrações térmicas?; tendo como objetivo da aula compreender a função da resistência elétrica e resistividade e suas diferenças.

Nove grupos foram formados e a apresentação da resolução do problema específico deu-se por escrito, mediante as discussões dos grupos. Das resoluções elaboradas pelos grupos foram analisadas a interação entre os componentes durante o debate para a resolução do problema e a resolução para o problema apresentado como incompleta ou eficaz, conforme o Quadro I indicado na Figura 12.

Figura 12 – Quadro I: Análise da resolução do problema específico do Bloco 02

GRUPOS	Interação entre os componentes durante as discussões para a resolução do problema	Resolução incompleta para o problema apresentado	Resolução eficaz para o problema apresentado
A3, A10, A18, A38	X		X
A13, A26, A30, A36	X	X	
A7, A27, A29, A32	X	X	
A5, A15, A17, A35	X		X
A1, A8, A9, A14	X		X
A4, A6, A19, A33	X	X	
A12, A21, A25, A31	X		X
A2, A20, A23, A37	X		X
A16, A22, A24, A34	X	X	

Fonte: Elaborado a partir do texto dos alunos de resolução do problema específico 02 (2016)

Da análise realizada, o debate em grupo após um estudo individual sobre os conceitos de corrente, resistência e resistividade elétrica, mostrou-se extremamente importante para a elaboração das resoluções do problema específico.

Das resoluções para o problema apresentado, quatro grupos elaboraram uma resolução incompleta e cinco elaboraram uma resolução eficaz.

Como exemplo das incompletas, temos a resposta elaborada pelo grupo composto pelos alunos A13, A26, A30, A36: “Eles se comportam de forma contrária à corrente elétrica,

sendo esta oposição caracterizada como resistividade elétrica. As vibrações térmicas deslocam os íons de sua posição de equilíbrio”.

Como exemplo das resoluções eficazes, temos a resposta elaborada pelo grupo formado pelos alunos A7, A27, A29, A32: “Os elétrons livres, movimentam-se ordenadamente em um fio condutor, indo de um pólo de menor potencial para o de maior potencial, na presença de vibrações térmicas e impurezas (resistividade elétrica) nesse material, os elétrons livres passam com maior dificuldade. A resistividade é um parâmetro relacionado com as propriedades atômicas do material”.

Os alunos A5, A15, A17, A35, tiveram sua resolução classificada como eficaz, abordando-a da seguinte forma: “Em um fio metálico desconectado de uma fonte de energia elétrica, os elétrons livres movem-se desordenadamente e de forma aleatória no interior da rede cristalina. O movimento dos elétrons livres sofre oposição à presença de impurezas ou imperfeições na rede cristalina e às vibrações térmicas que deslocam os íons de sua posição de equilíbrio”.

Desse modo, sobre o bloco 02 pode ser dito que o objetivo da aula foi alcançado e o problema específico solucionado pela turma, embora de forma incompleta para alguns alunos.

### **Bloco 03: Resistividade nula e efeito Meissner**

O terceiro bloco de conteúdo “Resistividade nula e efeito Meissner”, apresentou o seguinte problema específico: Como identificar que um material passou ao seu estado supercondutor?

Através da leitura do problema, foi compreendido e mencionado por um aluno (A29), que um material que não é supercondutor, pode vir a se tornar um. Após a colocação do aluno, seguindo os passos da ABP, foram apresentados os dois objetivos da aula: Compreender a função da temperatura crítica na Supercondutividade; e Conhecer o comportamento das linhas de indução do campo magnético na presença de um supercondutor.

Os objetivos foram elaborados estrategicamente de forma que, sendo alcançados, as características principais de um material supercondutor eram compreendidas e, conseqüentemente, o problema específico solucionado. Para colaborar com essa compreensão, a professora apresentou tais características separadamente.

A primeira, que se tratava da resistividade nula, foi exibida através de um gráfico, onde nitidamente encontrava-se a função da temperatura crítica. A finalidade do uso do gráfico foi permitir uma leitura imediata de cada aluno, fazendo-os compreender que sendo

atingida a temperatura crítica, a resistividade cai abruptamente a zero. A segunda característica trata-se do efeito Meissner. Sua abordagem deu-se início com a explicação do termo diamagnetismo, termo utilizado para designar o comportamento dos materiais serem ligeiramente repelidos na presença de campos magnéticos fortes. Assim foram apresentados os físicos que constataram que os supercondutores eram diamagnetos quase perfeitos, sendo utilizadas imagens representando a expulsão do campo magnético em materiais supercondutores.

Após a apresentação das principais características de um material supercondutor, foi orientado pela professora a organização da turma em grupos, os quais foram formados nove grupos, onde discutiram sobre a apresentação e elaboraram uma síntese da discussão a fim de solucionar o problema específico deste bloco.

De forma análoga ao bloco anterior, foram analisadas, das sínteses elaboradas pelos grupos, a interação entre os componentes durante a discussão para a resolução do problema e a resolução para o problema apresentado como incompleta ou eficaz. Tal análise encontra-se no Quadro II (Figura 13).

Figura 13 – Quadro II: Análise da resolução do problema específico do Bloco 03

GRUPOS	Interação entre os componentes durante a discussão para a resolução do problema	Resolução incompleta para o problema apresentado	Resolução eficaz para o problema apresentado
A3, A15, A18, A38	X	X	
A11, 13, A17, A36	X		X
A7, A27, A29, A32	X		X
A1, A5, A8, A9, A35	X		X
A14, A23, A26, A30	X		X
A4, A6, A19, A33	X		X
A12, A21, A25, A31	X		X
A2, A16, A20, A37		X	
A10, A22, A24, A34	X		x

Fonte: Elaborado a partir do texto dos alunos de resolução do problema específico 03 (2016).

Dos dois grupos a apresentarem uma resolução incompleta para o problema apresentado, o grupo formado pelos alunos A2, A16, A20 e A37, chamou mais atenção por apresentarem uma resposta confusa e incoerente ao que foi dito em sala de aula: “Quando ele atingir a 0 °C na sua temperatura e quando chegar na sua temperatura crítica. O efeito

Meissner no interior do supercondutor é constante, mas que ao mesmo tempo ele não se limita a ser constante e sim nulo também, vai ter um momento em que ele não vai ser um supercondutor por permitir um campo magnético em seu interior”. Percebemos que durante a elaboração da síntese, praticamente não houve interação entre os alunos do grupo e, da resposta apresentada, o único evento que pareceu ter sido compreendido foi a ausência do campo magnético no interior do material supercondutor.

O outro grupo que foi analisado por apresentar também uma resolução incompleta, interagiu muito bem, mas explicou somente o efeito Meissner, sem ao menos citar a função da temperatura crítica e a queda abrupta da resistividade a zero: ”Se identifica quando há uma expulsão de um campo magnético do interior de um supercondutor, efeito Meissner”. (A3, A15, A18, A38)

Como exemplo de uma resolução eficaz para o problema específico, temos a apresentada pelo grupo composto pelos alunos A11, 13, A17, A36: “Um material passa ao seu estado supercondutor quando atinge sua temperatura crítica, perdendo totalmente sua resistividade, dita resistividade nula. Outra característica do supercondutor é o efeito Meissner, onde os supercondutores repelem o campo magnético do seu interior, permitindo que ele flutue”.

Além deste, outros seis grupos apresentaram uma resolução eficaz para o problema apresentado, mostrando terem sido alcançados os objetivos propostos e ter sido solucionado o problema específico deste bloco.

#### **Bloco 04: Supercondutor x Condutor perfeito**

O quarto bloco de conteúdo “Supercondutor x Condutor perfeito” teve como problema específico: Como o condutor perfeito e o supercondutor reagem à ação de um campo magnético externo?

Os alunos foram separados em grupos novamente, mas agora com uma tarefa diferente a cumprir. A tarefa a ser realizada seria organizar em um cartaz, a montagem dos passos do esquema elaborado por Ostermann (1998) tanto para um condutor quanto para um supercondutor, com o objetivo de compreender como a ordem dos procedimentos aplicados em um condutor e em um supercondutor afetam no resultado do comportamento magnético.

Após a leitura dos passos do esquema de Ostermann e a entrega das figuras que os grupos deveriam organizar na ordem que julgavam corretas de acordo com a leitura realizada, os alunos começaram a realizar as montagens. Durante a realização da tarefa foi perceptível a

unanimidade no reconhecimento do efeito Meissner como sendo característica de um supercondutor e a possibilidade da penetração de um campo magnético no interior do material, como sendo característica de um condutor.

Para contribuir com a análise feita sobre a atividade realizada pelos alunos, consideramos os quesitos: 1) interação entre os componentes; 2) demonstração de interesse na realização da atividade; e 3) o resultado eficaz da realização da tarefa; como indicado no Quadro III (Figura 14).

Figura 14 – Quadro III: Análise da resolução do problema específico do Bloco 04

GRUPOS	Interação entre os componentes para a realização da tarefa	Demonstração de interesse na realização da atividade	Resultado eficaz da realização da tarefa
A2, A30, A37, A38	X	X	X
A1, A5, A9, A35	X	X	X
A12, A20, A21, A25	X	X	X
A3, A4, A6, A24	X	X	X
A11, A15, A23, A32	X	X	X
A7, A13, A17, A27, A29	X	X	X
A10, A16, A18, A22, A34	X	X	
A14, A19, A33, A36	X		

Fonte: Elaborado a partir dos cartazes feitos pelos alunos na aula 07 (2016)

De acordo com a análise demonstrada no Quadro III, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados e o problema específico devidamente solucionado.

Cabe salientar que os grupos que não alcançaram um resultado da atividade completamente eficaz, obtiveram um resultado positivo parcial, apresentando dificuldade na interpretação das imagens, tendo um dos grupos apresentado também pouco interesse na realização da atividade.

### **Bloco 05: Tipos de supercondutores**

O quinto bloco de conteúdo “Tipos de supercondutores” apresentou como problema específico: Qual tipo de supercondutor tem mais valor em utilidade tecnológica? Quais características explicitam isso?

Seguindo os passos da ABP, foi apresentado um estudo dos tipos de supercondutores I e II, onde suas características foram enfatizadas, com a finalidade de ficar clara a diferença entre eles. Do Supercondutor do tipo I, foi explicado que é notado apenas o efeito Meissner e, sendo o campo aplicado inferior ao valor crítico, não ocorre nenhuma penetração do campo magnético. Já do Supercondutor do tipo II, foram apresentados dois campos críticos, sendo um inferior e um superior. Dentre outras características, foi também exposto que o Supercondutor do tipo I apresenta temperatura crítica extremamente baixa, enquanto o Supercondutor do tipo II apresenta temperaturas críticas mais elevadas.

Após conhecer os tipos de supercondutores e suas características, objetivo da aula em questão, a resolução do problema específico foi encaminhada para casa, de forma a ser possível a realização de uma pesquisa sobre os tipos de supercondutores e a ser realizado em duplas, para a abertura de um diálogo sobre a pesquisa e o resultado obtido.

Das apresentações das resoluções do problema específico apresentado, todas as duplas identificaram o supercondutor do Tipo II, como tendo mais valor em utilidade tecnológica, bem como a importância de apresentarem temperaturas críticas mais elevadas, sendo mais fácil atingir o estado supercondutor.

Dentre tais resoluções, algumas se destacaram por apresentarem as características dos supercondutores do tipo II de uma forma mais completa: a dupla A5 e 35 concluíram “O supercondutor que tem mais valor tecnológico é o supercondutor do tipo II, pois são formados por ligas metálicas e outros compostos e pelos metais puros Vanádio (V), Tecnécio (Tc) e Nióbio (Nb), apresentam temperaturas críticas mais elevadas, entram no estado supercondutor gradativamente, permitem a penetração de parte do campo magnético e apresentam dois valores de campo crítico”; a dupla A11 e A36 apresentaram uma resolução similar, mas sem citar os metais puros que formam o supercondutor do II “Supercondutores do tipo II têm mais valor tecnológico. Eles apresentam temperaturas críticas mais elevadas, permitem a penetração de parte do campo magnético, entram no estado supercondutor gradativamente e apresentam dois valores de campo crítico. São formados por ligas metálicas e outros compostos”.

Diante os resultados dos debates entre as duplas e das resoluções apresentadas, foi analisado o alcance do objetivo proposto e o problema específico do bloco solucionado com êxito.



### **Bloco 06: Teoria BCS**

O sexto bloco de conteúdo “Teoria BCS” apresentou como problema específico: Existe alguma teoria que procura descrever o mecanismo de formação da Supercondutividade? Ela é geral ou se limita a uma classe de supercondutores?

Esse bloco exigiu um cuidado maior durante a apresentação da Teoria BCS para a obtenção dos objetivos da aula: Conhecer a Teoria BCS da Supercondutividade; e Compreender a interação elétron–rede–elétron prevista por Leon Cooper. Tal cuidado se fez necessário devido esta teoria ter servido como base da teoria microscópica da Supercondutividade, apresentando uma análise microscópica dos materiais supercondutores, análise esta não comum no Ensino Médio, uma vez que é, num geral, habitualmente realizada apenas em uma dimensão macroscópica.

Para uma melhor compreensão da Teoria BCS, fez-se o uso de duas analogias. A primeira, para a apresentação da interação elétron-rede-elétron, foi a analogia entre fônon e fóton, com a finalidade de esclarecer o que seria um fônon, sendo posteriormente apresentado como uma partícula resultante da quantização de uma onda sonora oriunda das vibrações de uma rede cristalina. A segunda foi a analogia do “efeito Colchão”, para uma melhor explanação sobre os pares de Cooper, permitindo aos alunos o conhecimento da existência da atração entre os elétrons e não somente a conhecida repulsão coulombiana, vista na Eletrostática.

A resolução do problema específico foi realizada por escrito, em grupos, sendo sugerida uma discussão interna nos grupos sobre o que foi apresentado sobre a teoria BCS. Dos sete grupos formados nesta aula, todos apresentaram no problema específico, a Teoria BCS como sendo a teoria que procura descrever o mecanismo de formação da Supercondutividade. O grupo formado pelos alunos A18, A19, A33 e A34, embora também tenha identificado a teoria BCS como sendo a resposta para o problema específico apresentado neste bloco, considerou-a, erroneamente, como sendo geral, sem nenhuma justificativa. Fora o grupo citado, todos os outros afirmaram que a Teoria BCS se limita aos supercondutores do Tipo I, por ser válida apenas para supercondutores de baixas temperaturas críticas.

Este bloco demonstrou-se concluído com êxito, tendo apresentado uma solução para o problema específico proposto, mas principalmente por alcançar os dois objetivos apresentados - Conhecer a teoria BCS e compreender a interação elétron–rede–elétron – que são pontos importantes para o entendimento da Supercondutividade e não tão simples de serem abordados no Ensino Médio, devido se tratar de uma análise microscópica.

## **Problema Central**

Do problema central proposto, “Como uma nova tecnologia, a Supercondutividade está sendo utilizada para melhorias nas mais diversas áreas. Sendo assim, o que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores?”, foram analisadas as 37 resoluções apresentadas pelos alunos.

Antes da análise referente ao problema central, vale ressaltar que tais resoluções só foram possíveis após a abordagem e resoluções dos problemas específicos trabalhados. As abordagens dos blocos de conteúdo paralelas à pesquisa individual e às resoluções dos problemas específicos, tornaram a maioria dos alunos mais seguros quanto ao conteúdo e mais confiantes em suas colocações.

A apresentação do problema central deu-se de forma escrita e individual. Em um documento pré-elaborado, os alunos foram orientados a apresentar a solução de tal problema de forma clara e coesa.

Durante a análise do material percebeu-se que grande foi a aprendizagem sobre a temática Supercondutividade, mas nem todos os alunos conseguiram expressar, de fato, o que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores, como questionado no problema central.

Ao perceber isso, encontrou-se algumas semelhanças em determinadas respostas, verificando que se relacionavam de três formas: Boa resolução; apresentação das características da Supercondutividade, mas sem apresentar a necessidade do uso de materiais supercondutores; e Resposta vaga, sem apresentar resolução.

Das 37 respostas analisadas, 19 foram consideradas como boa resolução, 11 como boa compreensão das características do fenômeno e 7 como resposta vaga.

Das resoluções do problema central consideradas como boas resoluções, encontrava-se o reconhecimento do fenômeno da Supercondutividade como um avanço para a tecnologia através de suas aplicações em diversas áreas. Durante essas análises, percebeu-se que houve pesquisa individual dos alunos, como sugerido pelo sexto passo da ABP, demonstrando interesse e envolvimento com a temática. Essa pesquisa foi percebida, devido em algumas resoluções apresentadas, encontrarem-se informações não abordadas em sala de aula pela professora, como a utilização do fenômeno da Supercondutividade no armazenamento, distribuição e transmissão de energia elétrica e até na engenharia biomédica.

Seguem alguns destaques dessas resoluções.

Resolução apresentada pelo aluno A13:

Tendo em vista que os materiais supercondutores são diferentes dos outros materiais, suas promissoras aplicações futuras incluem redes inteligentes de alta performance, a transmissão de energia elétrica, dispositivos de armazenamento de energia, levitação magnética, dentre outras. A supercondutividade é um fenômeno muito utilizado nas mais diversas áreas, desde a sua descoberta.

[...].

Suas aplicações mais conhecidas são Lexus Hoverboard (skate voador), o trem Maglev, e o LHC – o acelerador de partículas. Contudo, a supercondutividade é caracterizada como uma necessidade, justamente por ser um fenômeno diferente dos outros e ser algo capaz de trazer melhorias para a sociedade com suas futuras aplicações.

Resolução apresentada pelo aluno A36:

Tendo como conclusão que a supercondutividade desde a sua descoberta vem trazendo melhorias e inovações para o ser humano, vale ressaltar que várias são as áreas que possuem aplicações desse fenômeno, como a medicina, com a obtenção de imagens por ressonância magnética, a área dos transportes, como o Trem Maglev, a área de armazenamento e distribuição de energia elétrica e outros. Os armazenadores supercondutores são ótimos para resolver os problemas de armazenamento de energia elétrica, sendo capazes de transportar elevadas correntes com perdas resistivas próximas de zero, sendo uma aplicação vantajosa ao que se refere à qualidade da energia e por terem baixos impactos ambientais.

Um ponto de interesse da análise foi que das 19 resoluções que foram consideradas como boa resolução, nove destacaram a aplicação do fenômeno da Supercondutividade no Trem Maglev, demonstrando a compreensão da existência do efeito Meissner e uma grande preocupação com o meio ambiente, salientando a importância que tem esse transporte para a diminuição da distribuição de gases tóxicos. Seguem alguns trechos que demonstram tal preocupação:

“Tendo em vista a necessidade da implantação de algo que seja ecologicamente correto, o Trem Maglev seria de grande ajuda para a população e para a natureza. Ele levita sobre os trilhos e evita a distribuição de gases tóxicos no meio ambiente. [...]” (A7).

“[...] Os supercondutores em meios de transportes alternativos como o Trem Maglev, além de ser uma tecnologia inovadora, por levitar sobre os trilhos, funcionam como fonte limpa de poluição, por não queimar combustíveis fósseis. [...]” (A29).

“[...] Com a descoberta dos materiais supercondutores será possível o uso deles em diversas áreas, como no transporte, que descarta o uso de combustível, diminuindo a poluição do meio ambiente.” (A24).

Nas resoluções do problema central as quais apresentaram as características da Supercondutividade, mas sem apresentar a necessidade do uso de materiais supercondutores, ficou claro a aprendizagem sobre o fenômeno ao que se refere à transformação do material condutor ao supercondutor. Dos 11 alunos que apresentaram essa forma de resolução, todos definiram os materiais supercondutores como sendo materiais que apresentam uma perda abrupta da resistividade elétrica (resistividade nula) quando atingem sua temperatura crítica. Alguns alunos demonstraram ainda ter compreendido o efeito Meissner, apresentando-o na maioria dos casos como a expulsão do campo magnético do material supercondutor como sendo responsável pela levitação.

Além dessas duas características, em seis resoluções foram apresentados os dois tipos de supercondutores, o tipo I e o tipo II, tendo a maioria associado o tipo I a uma baixa temperatura crítica e o tipo II a altas temperaturas críticas. Ainda assim três resoluções foram um pouco além:

#### Resolução do aluno A6:

A supercondutividade foi descoberta pelo físico holandês Heike Onnes. O que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores é que eles apresentam resistividade elétrica zero e a expulsão de campos magnéticos quando são resfriados abaixo de uma temperatura crítica. Uma de suas principais propriedades é a expulsão do campo magnético, conhecida pelo efeito Meissner. Existem dois tipos de materiais supercondutores: o tipo I, que se caracteriza pelas baixas temperaturas e o tipo II pelas altas temperaturas. Os supercondutores do tipo I entram no estado supercondutor abruptamente e repelem o campo magnético aplicado, já os supercondutores do tipo II, entram no estado supercondutor gradativamente e permitem a penetração de parte do campo magnético.

#### Resolução do aluno A21:

Tendo em vista que nem todos os materiais alcançam a supercondutividade, é preciso definir as principais características dos materiais supercondutores. Tais características são a presença de temperaturas críticas que anulam a resistividade e o efeito Meissner, que repele o campo magnético do supercondutor. Há também dois tipos de supercondutores. No caso do tipo I, apresenta apenas o efeito Meissner e não ocorre penetração nenhuma se o campo aplicado for abaixo do valor crítico. Já no supercondutor do tipo II, apresenta dois campos críticos e temperaturas críticas mais elevadas e a resistividade não cai abruptamente e sim gradativamente, diante disso, permitem a penetração de parte do campo magnético diferente do tipo I que repele totalmente.

Das respostas vagas apresentadas, embora os alunos não terem gerado uma resolução para o problema central e nem apresentado segurança sobre a aprendizagem da temática Supercondutividade, os mesmos traziam trechos com informações corretas sobre o fenômeno. Seguem alguns desses trechos:

Resolução do aluno A8:

“Caracteriza a necessidade de atingir baixas temperaturas. Ao longo do tempo foram descobertos alguns materiais, cerâmicas, que tinham temperaturas críticas mais elevadas. Os supercondutores de altas temperaturas são interessantes nos estudos, tendo novas melhorias em materiais existentes e no potencial de engenharia na criação de novos materiais supercondutores próximos a temperatura ambiente.”

Resolução do aluno A21:

“Os supercondutores além de serem materiais que conduzem energia elétrica, está sendo muito utilizado em diversas áreas atualmente, tanto na indústria como no transporte, com sua tecnologia inovadora e futurística.”

As análises realizadas demonstraram que embora nem todos os alunos tenham apresentado uma boa resolução para o problema central, existiu a obtenção de uma aprendizagem significativa sobre o fenômeno da Supercondutividade.

Sob um ponto de vista geral, os passos da ABP também foram seguidos e adaptados ao contexto da pesquisa: foi apresentado e esclarecido o problema central, definido e analisado o problema, foi sistematizada a análise e hipóteses de solução do problema a partir das resoluções dos problemas específicos, sendo apresentados os objetivos de aprendizagem de cada bloco de conteúdo e, após identificados alguns fatores de informação, os alunos foram em busca de adquirir novos conhecimentos individualmente. Por fim, sintetizaram os conhecimentos adquiridos e apresentaram possíveis resoluções para o problema central.

A elaboração e implementação da proposta, bem como sua análise serviram de diretrizes para a confecção de um material, visando a divulgação do que foi realizado, constituindo-se em produto desta pesquisa (Apêndice H).

## Considerações Finais

Pensar em uma proposta para inserir um conteúdo de Física Contemporânea no Ensino Médio, tornou-se um desafio. Percebemos que para introduzir a temática Supercondutividade de forma significativa era necessário não só uma inserção, mas uma abordagem que relacionasse o conhecimento científico à vida cotidiana dos alunos. Tal abordagem ocorreu através da Aprendizagem Baseada em Problemas, que leva o aluno a pensar, desafiando-o a partir de questionamentos e incentivando a uma postura investigativa.

A aplicação da ABP gerou um desconforto tanto para os alunos quanto para o professor, devido à modificação que faz no papel do professor, o qual deve agir como tutor; e o aluno que não atua mais como um receptor de informações em sala de aula e passa a ser ativo na busca de informações e mais crítico no momento em que procura resolver os problemas sugeridos. Este desconforto agiu como ponto incentivador, gerando entusiasmo em trabalhar com o diferente e verificar seu resultado.

A ABP é uma metodologia com procedimentos variados, objetivando promover a aprendizagem dos alunos. Dentre os procedimentos, fizemos modificações no problema e o objetivo de aprendizagem, pois estes partiram do professor e não dos alunos, como recomenda a ABP, por se tratar de uma temática desconhecida, a Supercondutividade, no contexto em que foi aplicada.

A proposta da abordagem da Supercondutividade no Ensino Médio fundamentada na ABP obteve êxito devido a vários fatores. Dentre eles está a extensa pesquisa prévia relacionada à metodologia da ABP, fazendo com que a pesquisadora se familiarizasse e a acolhesse de fato em seu trabalho, aplicando-a de acordo com o contexto. Outro fator determinante foi a temática trabalhada se fazer tão presente diante das novas tecnologias, e a forma com que isso foi exposto aos alunos gerou interesse na compreensão do fenômeno. Uma vez despertado esse interesse, uma atitude investigativa pôde ser provocada e a aprendizagem se tornou significativa.

A forma com que a proposta foi aplicada obteve vantagens e desvantagens para a pesquisa. Das desvantagens corremos o risco de a metodologia não ser acolhida pelos alunos e não contar com sua participação, de não haver conhecimentos prévios coesivos com a temática abordada, de depender da assiduidade dos alunos. Dentre as vantagens temos a interação entre os alunos – prática comum da ABP-, contribuindo para a busca do conhecimento através da pesquisa e da resolução de problemas, paralelo ao conhecimento de um conteúdo da Física Contemporânea, dificilmente visto no Ensino Médio.

Um aspecto importante da pesquisa foi a rica análise de resultados obtidos, por meio da forma organizada em blocos de conteúdos e da criação, em cada bloco, de um problema específico, além do problema central da pesquisa.

Na aplicação da pesquisa houve a preocupação de apresentar a proposta da inserção da Supercondutividade através da ABP, bem como de seu problema central, assim como apresentar o fenômeno da Supercondutividade aos alunos através de suas aplicações para, então, iniciar os trabalhos com os blocos de conteúdo.

As resoluções dos problemas específicos dos seis blocos de conteúdo trabalhados tinham a finalidade de contribuir para a resolução do problema central proposto: “Como uma nova tecnologia, a Supercondutividade está sendo utilizada para melhorias nas mais diversas áreas. Sendo assim, o que caracteriza a necessidade de materiais supercondutores?”. Cada aluno apresentou uma possível resolução, por escrito, a partir das aulas e do estudo individual que fizeram nos momentos dedicados à pesquisa.

As resoluções apresentadas mostraram uma significativa aprendizagem sobre a temática Supercondutividade. Muitas informações sobre materiais supercondutores foram utilizadas, tais como as suas principais características, a presença do efeito Meissner, os tipos de supercondutores existentes e algumas de suas aplicações.

Da abordagem das aplicações, percebeu-se a associação do fenômeno da Supercondutividade com a vida, a qual permitiu a demonstração de preocupação com o meio ambiente, assim como a compreensão do uso dos materiais supercondutores apresentarem vantagens para a economia e contexto social.

Portanto, é possível afirmar que este trabalho pode contribuir para inserir Supercondutividade no Ensino Médio de forma contextualizada, pois:

- foi direcionado a 3ª série do Ensino Médio, com a finalidade de apresentar o fenômeno da Supercondutividade, contemplando suas características, suas descobertas mais atuais e suas teorias, incentivando a pesquisa e o interesse pela Física Contemporânea;
- foi aplicado de uma forma diferente do ensino tradicional, sendo fundamentado na ABP - essa metodologia incentivou a constante participação dos alunos, facilitando o processo de contextualização;
- iniciou com as aplicações do fenômeno da Supercondutividade, as quais possibilitam verificar sua importância em meio ao avanço tecnológico.

Essa inserção da temática Supercondutividade no Ensino Médio poderá ser ampliada nas escolas de Manaus, e além delas, pois a pesquisa disponibiliza um material de apoio (produto) formado por duas seções, que contemplam: um texto de apoio para o professor; um

plano de trabalho para desenvolvimento da temática; considerações sobre a proposta; referências utilizadas.

E, principalmente, é possível inferir que a proposta implementada contribuiu para que os alunos do Ensino Médio relacionassem os conhecimentos científicos com a vida cotidiana, à medida que possibilitou:

- associar o fenômeno da Supercondutividade a fenômenos físicos, por meio das aplicações;
- espaço para discussões sobre a temática da Supercondutividade, relacionando-a com algo que já conheciam, percebendo a presença do fenômeno da Supercondutividade;
- o reconhecimento da importância e os benefícios do uso de materiais supercondutores em diversas áreas, como armazenamento, distribuição e transmissão de energia elétrica, na engenharia biomédica, no transporte e outros.

Assim, é possível afirmar, pelos resultados obtidos nas análises, que a metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas, da forma que foi utilizada, contribuiu para um ensino de Física contextualizado, o que favoreceu aos alunos relacionar, no estudo da temática Supercondutividade, os conhecimentos científicos com a vida cotidiana.

Tal resultado proporciona mais uma reflexão sobre o ensino de Física, sugerindo mudanças nas funções dos alunos e do professor, bem como sobre a necessidade de abordagem de temas da Física Contemporânea, já que estes estão presentes no cotidiano dos alunos, que por sua vez apresentam grande interesse, como foi constatado nesta pesquisa.



## Referências

- BOESING, I. J.; da ROSA, J. A.; JUNG, C. F.; SPORKET, F. Desenvolvimento de competências na formação do engenheiro de produção: uma contribuição a partir do ensino de física. **Revista GEPROS** - Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 3, nº 4, Out-Dez/2008, p. 89-100. Rio Grande do Sul. 2008.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto Editora, 1994.
- BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J. C. B. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**. Rio de Janeiro, v.22, n. 83, p. 263-294, abr./jun. 2014.
- BRASIL, Ministério da Educação. **PCN+ - Ensino Médio**: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília, DF, MEC/SEB, 2000.
- BRASIL. Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica/Diretoria de Currículos e Educação Integral. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica**: Ensino Médio. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.
- CAMPOS, B. C. O. **A aprendizagem baseada em problemas no processo de formação docente do curso de engenharia biomédica da PUC-SP**. 2012. 133 f. Tese de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo.
- CAMPOS, L. M. L.; ANDRADE, M. A. B. S. A Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Médio: o professor como tutor. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis.
- CARLINI, A. L. **Aprendizagem baseada em problemas aplicada ao ensino de direito**: Projeto exploratório na área de relações de consumo. 2006. 295 f. Tese (Doutorado em Educação), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2006.
- GENTIL, R. M.; FURLANETTO, E. C. Aprendizagem baseada em problemas: educação e saúde numa tessitura interdisciplinar. In: CONGRESSO INTERNACIONAL GALEGO PORTUGUÊS DE PSICOPEDAGOGIA, 10. Braga: Universidade do Minho, 2009. p. 2689-2704, 2009.
- GOMES, S. G. S. **Aplicação princípios de Aprendizagem Baseada em Problemas em mestrado profissional em ciência de tecnologia de alimentos, na modalidade a distância**. 178 f. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2011.
- GUIMARÃES, A. V. **Uma análise sobre a Física Moderna no Ensino Médio**. 2011. 63 f. Monografia (Curso de Graduação m Licenciatura m Física), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011.
- LIMA, D. S.; MILHOMEM, P. M.; FONSECA, W. S. Estratégia de aprendizagem ativa para formação de docentes em Ciências Naturais. **Latin American Journal of Science Education**. 1, 12110/12110-8, 2015.
- LOCH, J.; GARCIA, N. M. Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis.

- LUIZ, A. M.; SANTOS, W. M. S. A Supercondutividade e suas Aplicações: Um Tema para Aulas de Física Moderna no Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA O ENSINO NO ANO MUNDIAL DA FÍSICA, 16. Rio de Janeiro, 2005.
- MELLO, C. C. B.; ALVES, R. O.; LEMOS, S. M. A. Metodologias de ensino e formação na área da saúde: revisão de literatura. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. **Rev. CEFAC**. 2014 Nov-Dez; n. 16, v.6, p. 2015-2028.
- MOREIRA, A. et al. Materiais Supercondutores. Trabalho da disciplina Teoria de materiais. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Física, 2010.
- MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o Ensino de Física na Educação Contemporânea**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Física, 2014.
- MOURA, S. R.; BRITO, L. P. de. Ensino de física através de temas contemporâneos com enfoque CTS: uma discussão teórico-metodológica. In: ENCONTRO INTER-REGIONAL NORTE, NORDESTE E CENTRO-OESTE SOBRE FORMAÇÃO DOCENTE PARA EDUCAÇÃO BÁSICA E SUPERIOR, 6. **Anais... INTERFOR**. Brasília, 2015.
- NOBREGA, F. K.; MACKEDANZ, L. F. O LHC. (LARGE HADRON COLLIDER) e a nossa física de cada dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, p. 1301-11, 2013.
- OSTERMANN, F. A Inserção da Física Moderna no Nível Médio: um projeto que visa à introdução do tema da supercondutividade em escolas brasileiras. **Caderno de Física da UEFS**, n. 4, v. 1 e 2, p. 81-88, 2006.
- OSTERMANN, F.; PEREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.
- PAULA, A. G; VIANNA, D.M. Levitação eletrodinâmica: o ensino de física, baseado no enfoque CTS, na discussão para melhoria da qualidade do nosso ar, **FÍSICA NA ESCOLA**, v. 8, n° 1 - p.35-39, 2007.
- PEREIRA, S. H.; FÉLIX, M. G. **100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau**. Revista Brasileira do Ensino de Física, v. 35, n. 1, 1313. 2013.
- PERFOLL, A. P.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea e o Ensino de Engenharia: Contexto e Perspectivas. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 34., **Anais...** Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, p.11.55-11.68, 2006.
- RIBEIRO, L. R. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior**. São Carlos: EdUFSCar, 2008.
- RIBEIRO, L. R. de C. **A Aprendizagem Baseada Em Problemas (PBL): Uma Implementação na Educação em Engenharia na Voz dos Atores**. 236 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- ROCHA, M. F. G. **Estudo sobre supercondutividade e suas aplicações**. 2010. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física). Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2010.
- SOUZA, N. R. **Aprendizagem ativa em administração: um estudo da aprendizagem baseada em problemas (PBL) na graduação**. 95 f. Tese (Mestrado em Administração), Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Biguaçu, SC, 2012.

SOUZA, N. R.; VERDINELLI, M. A. Aprendizagem ativa em administração: um estudo da aprendizagem baseada em problemas (PBL) na graduação. **Pretexto**, Belo Horizonte, v. 15, p. 29, 2014.

SPOHR, C. B. O **tema da supercondutividade no nível médio**: desenvolvimento de material hiperfíndia fundamentado em epistemologias contemporâneas. 2008. 160 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

VIEIRA, D. M. **Supercondutividade**: uma proposta de inserção no Ensino Médio. 2014. 151 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

**APÊNDICE A - Questionário de Identificação e de verificação de conhecimentos sobre a temática Supercondutividade**

### Dados de Identificação

1. Nome: \_\_\_\_\_
2. Sexo:
- ( ) Masculino
- ( ) Feminino
3. Idade: \_\_\_\_\_

#### Informações gerais

4. Quanto tempo (por dia) você disponibiliza para estudar?
- ( ) 0h
- ( ) 1h
- ( ) 2h
- ( ) 3h
- ( ) 4h ou mais
5. Qual(is) tipo(s) de aula(s) lhe agrada?
- ( ) Expositiva
- ( ) Com uso de dinâmicas
- ( ) Com exercícios
- ( ) Apresentação de trabalho
- ( ) Debates
- Outra. Qual? \_\_\_\_\_
6. Você tem afinidade com a disciplina de Física?
- ( ) Não tenho
- ( ) Sou indiferente
- ( ) Tenho, mas pouca
- ( ) Sim, tenho afinidade
7. Você tem curiosidade por assuntos relacionados à tecnologia e seus avanços?
- ( ) Não tenho
- ( ) Tenho, mas pouca
- ( ) Sim, tenho curiosidade

### Conhecimentos da Temática

8. Explique o que você entende por Corrente elétrica.

---



---

9. Explique o que você entende por resistência e resistividade elétrica.

---



---

10. Você sabe o que são condutores elétricos? Se sim, cite exemplos.

- ( ) Sim
- ( ) Não

Não lembro

---

11. Explique o que você sabe sobre Campo Magnético.

---

---

---

12. Você já ouviu falar em Supercondutividade? Se sim, especifique.

Sim

Não

---

13. Você gostaria de estudar a temática Supercondutividade? Se sim, justifique o porquê.

Sim

Não

Sou indiferente

---

## **APÊNDICE B - Atividade escrita sobre Supercondutividade**

Prezado Aluno, solicito a sua contribuição para a realização desta atividade. Esta atividade tem o objetivo de averiguar o seu aprendizado da temática Supercondutividade. Por favor, procure ser objetivo e claro em suas respostas.

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ .

1. O que é corrente elétrica?

---

---

---

---

2. Explique o que a resistividade elétrica representa e por que ela varia a cada material.

---

---

---

---

3. O que seria um condutor perfeito? Ele realmente existe?

---

---

---

---

4. Cite possíveis defeitos na estrutura cristalina de um condutor.

---

---

---

---

5. A supercondutividade foi descoberta pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, quando pesquisava sobre os efeitos nas propriedades dos metais expostos a temperaturas extremamente baixas. Em que consiste o fenômeno da supercondutividade?

---

---

---

---

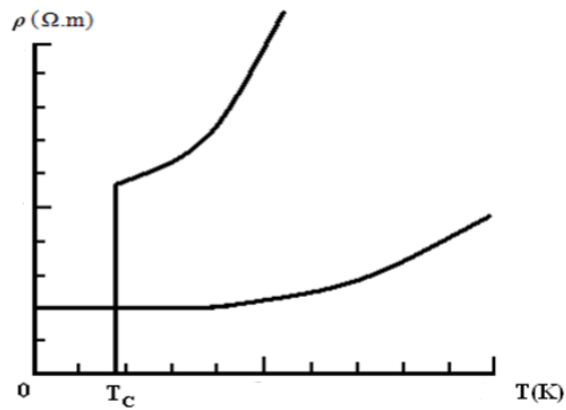
6. Sabendo que a resistividade está relacionada com a temperatura do condutor, explique em que consiste a temperatura crítica.

---

---

---

7. Explique o que representa o gráfico abaixo indicando as a indicação de cada curva como condutor ou supercondutor.



---

---

---

8. O que seria o diamagnetismo perfeito?

---

---

---

9. Várias são as aplicações dos materiais supercondutores. Entre elas está o Trem Maglev utilizando o fenômeno da levitação magnética. Como você explica esse fenômeno?

---

---

---

---

## **APÊNDICE C - Textos sobre os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica**

### Corrente elétrica

“Em um fio metálico desconectado de uma fonte de energia elétrica, os elétrons livres movem-se desordenadamente no interior da rede cristalina. Tal movimento não constitui a corrente elétrica. Ao ser submetido o fio a uma diferença de potencial elétrico, surge uma força de origem elétrica que atua sobre cada um dos elétrons livres, dando origem a um movimento ordenado com uma direção preferencial. Este movimento ordenado de cargas constitui a chamada corrente elétrica (ou corrente de transporte)”. (OSTERMANN, 1998, p.272).

### Resistividade elétrica

“O movimento dos elétrons livres (a corrente elétrica) sofre oposição devido à presença de impurezas ou imperfeições na rede cristalina e as vibrações térmicas que deslocam os íons de suas posições de equilíbrio. Estes dois efeitos que destroem a perfeita periodicidade da rede cristalina causam espalhamento dos elétrons de condução (livres) em outras direções diferentes daquela da corrente elétrica. Esta oposição à corrente elétrica é conhecida como resistividade elétrica.” (OSTERMANN, 1998, p.272-273).

### Referência:

OSTERMANN, F.; PEREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

### Corrente elétrica

A corrente elétrica é o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica, ou também, é o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades. O sentido real da corrente elétrica é o sentido do movimento de deriva das cargas elétricas livres (portadores). Esse movimento se dá no sentido contrário ao campo elétrico se os portadores forem negativos, caso dos condutores metálicos e no mesmo sentido do campo se os portadores forem positivos. Os bons condutores são aqueles que possuem muitos elétrons livres.



### Resistividade elétrica

A resistividade é um parâmetro relacionado com as propriedades atômicas do material, ou seja, a resistividade é um parâmetro que depende da qualidade do material, especialmente a sua pureza e estrutura cristalina.

### Referência:

Prof. Cláudio Graça. Aula 5.1 - Corrente Elétrica (Eletrodinâmica): Física Geral e Experimental III. Universidade de Santa Maria.

Disponível: [http://coral.ufsm.br/cograca/graca5\\_1.pdf](http://coral.ufsm.br/cograca/graca5_1.pdf). Acesso em: 02 out. 2015.

### III. Notas de aula

#### Corrente elétrica

Corrente elétrica é o movimento ordenado de cargas elétricas pelo condutor, ou seja, é o movimento dos elétrons livres através do condutor quando conectado a uma bateria (gerador) quando conecta-se um fio condutor a uma bateria (gerador) - indo do polo de menor potencial (-) para o de maior potencial (+).

#### Resistividade elétrica

A resistividade elétrica é uma propriedade que define o quanto um material opõe-se à passagem de corrente elétrica, de forma que: quanto maior for a resistividade elétrica de um material, mais difícil será a passagem da corrente elétrica, e quanto menor a resistividade, mais ele permitirá a passagem da corrente elétrica.

### Bibliografia

**BRASIL ESCOLA.** Corrente Elétrica - Física. Disponível em:

<http://www.brasilecola.com/fisica/corrente-eletrica.htm>. Acesso em: 02 out. 2015.

#### Corrente elétrica

Partículas carregadas eletricamente, como os elétrons, sofrem ação de forças elétricas quando submetidas a campos elétricos. Nos circuitos elétricos, a pilha, a bateria ou o gerador possuem dupla função. Além de fornecerem energia, submetem o circuito a uma diferença de potencial (tensão elétrica) e, conseqüentemente, a um campo elétrico que atua sobre os elétrons livres impondo-lhes uma força elétrica, que faz com que o movimento dessas partículas carregadas

deixe de ser aleatório e passe a ser orientado. A esse movimento orientado de cargas elétricas dá-se o nome de corrente elétrica.

### Resistividade elétrica

A corrente elétrica que se estabelece ao longo da rede cristalina do condutor depende das propriedades elétricas do material. Materiais com maior quantidade de elétrons livres como os metais (condutores) oferecem as melhores condições para a ocorrência de correntes elétricas. Além disso, o estado de maior ou menor vibração dos átomos da rede, associado à temperatura em que o material se encontra, pode dificultar (mais ou menos) a passagem dos elétrons. Assim, a deficiência de elétrons livres e/ou as temperaturas elevadas são fatores determinantes para o aumento da resistência à passagem da corrente elétrica, efeito denominado resistência elétrica ( $R$ ). O parâmetro físico que traduz essa relação entre a resistência elétrica, e a natureza do material e sua temperatura, chama-se resistividade elétrica ( $\rho$ ) e influencia diretamente no valor da resistência elétrica.

### Bibliografia

**REDE CEJA.** Aprendendo sobre as correntes elétricas - Física. Disponível em: [cejarj.cecierj.edu.br/pdf\\_mod3/CN/Unid02\\_Mod03\\_Fis.pdf](http://cejarj.cecierj.edu.br/pdf_mod3/CN/Unid02_Mod03_Fis.pdf). Acesso em: 02 out. 2015.

## **APÊNDICE D – Passos para a elaboração dos esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor**

Esses passos foram elaborados com base em Ostermann, Pereira e Cavalcanti (1998).

1 Passos para elaboração de um esquema para o condutor perfeito:

- 1.1 (a) Um condutor perfeito encontra-se à temperatura ambiente em campo nulo.
- (b) Resfria-se o condutor até que ele atinja uma resistividade desprezível.
- (c) A seguir, a uma baixa temperatura (na qual a resistividade é desprezível), aplica-se um campo magnético.
- (d) Finalmente, o campo é retirado.

Vê-se que, ao final do processo, o material não fica magnetizado. Para compensar a nova variação de fluxo, desaparecem as correntes de blindagem e  $B$  é, então, nulo.

Considerando, agora, uma outra sequência de eventos para um condutor perfeito.

- (e) Um campo magnético é aplicado à amostra enquanto ela está à temperatura ambiente. A maioria dos metais (exceto ferromagnéticos, ferro, cobalto e níquel) tem seu valor de densidade de fluxo interno praticamente igual ao do campo aplicado.
- (f) A amostra é agora resfriada a uma baixa temperatura na qual sua resistividade elétrica vai a zero. Este desaparecimento da resistividade não tem efeito sobre a magnetização e, portanto, a distribuição de fluxo permanece inalterada.
- (g) Reduz-se, então, o campo magnético a zero. Conforme a Lei de Faraday-Lenz, correntes persistentes são induzidas na amostra, de forma a manter o fluxo no seu interior, resultando em uma magnetização permanente do material.

2 Passos para elaboração de um esquema para um supercondutor.

- 2.1 (a) Um condutor perfeito encontra-se à temperatura ambiente em campo nulo.
- (b) Resfria-se o condutor até que ele atinja uma resistividade desprezível.
- (c) A seguir, a uma baixa temperatura (na qual a resistividade é desprezível), aplica-se um campo magnético.
- (d) Finalmente, o campo é retirado.

Vê-se que, ao final do processo, o material não fica magnetizado. Para compensar a nova variação de fluxo, desaparecem as correntes de blindagem e  $E$ ; é, então, nulo.

Considerando, agora, uma outra sequência de eventos para o supercondutor.

(e) Um campo magnético é aplicado à amostra enquanto ela está à temperatura ambiente. A maioria dos metais (exceto ferromagnéticos, ferro, cobalto e níquel) tem seu valor de densidade de fluxo interno praticamente igual ao do campo aplicado.

(f) A amostra é agora resfriada a uma baixa temperatura na qual sua resistividade elétrica vai a zero. Neste caso, o fluxo total dentro das amostras cancelava-se, isto é, elas espontaneamente transformavam-se em diamagnetos perfeitos.

(g) Os supercondutores têm uma propriedade adicional em relação aos condutores perfeitos: além de possuírem resistividade nula, os materiais supercondutores expulsam as linhas de fluxo do seu interior.

#### Referência

OSTERMANN, F.; PEREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

## APÊNDICE E – Questionário Final

Prezado Aluno, este questionário final tem como objetivo a verificação de seu aprendizado referente à temática Supercondutividade.

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_.

1. Comente o que você aprendeu sobre o fenômeno da Supercondutividade.

---

---

---

---

---

2. A Supercondutividade é um conteúdo da Física Contemporânea que ainda se encontra em um momento de descobertas. Você acha que seria interessante a inserção da Supercondutividade no currículo de Física do Ensino Médio? Apresente sua justificativa.

---

---

---

---

---

---

3. Quais aplicações do fenômeno da Supercondutividade você consegue reconhecer e verificar suas características? Explique.

---

---

---

---

---

4. Você acha que, em algum momento da apresentação e/ou pesquisa da temática Supercondutividade, poderia ser mais aprofundado ou esclarecido? Apresente esse(s) momento(s).

---

---

---

---

---

---

5. A teoria BCS foi desenvolvida em 1957 por Bardeen, Cooper e Schrieffer. Ela serviu como base da teoria microscópica da supercondutividade. Comente o que você aprendeu sobre esta teoria.

---

---

---

---

---

6) A supercondutividade:

- a) foi descoberta pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, depois de se dedicar durante anos a essa pesquisa.
- b) foi descoberta pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, durante uma pesquisa sobre os efeitos nas propriedades elétricas dos metais expostos a temperaturas extremamente baixas.
- c) foi descoberta pelo físico alemão Walther Meissner, em 1933, depois de se dedicar durante anos a essa pesquisa.
- d) foi descoberta pelo físico alemão Walther Meissner, em 1933, durante uma pesquisa sobre os efeitos nas propriedades elétricas dos metais expostos a temperaturas extremamente baixas.
- e) foi descoberta pelo físico alemão Walther Meissner, em 1933, e chamada primeiro de efeito Meissner.

7) A resistividade elétrica consiste em:

- a) uma concordância à corrente elétrica devido à presença de uma rede cristalina perfeita.
- b) uma concordância à corrente elétrica devido à presença de impurezas ou imperfeições na rede cristalina e a vibrações térmicas que deslocam os íons de suas posições de equilíbrio.
- c) uma oposição à corrente elétrica devido à presença de impurezas ou imperfeições na rede cristalina e a vibrações térmicas que deslocam os íons de suas posições de equilíbrio.
- d) uma oposição à corrente elétrica devido à presença uma rede cristalina perfeita.
- e) uma oposição à corrente elétrica devido à permanência dos íons em suas posições de equilíbrio.

8) Em todos os sólidos cristalinos existe uma quase perfeita ordem dos átomos, portanto essa ordem pode ser quebrada por uma série de defeitos e imperfeições aonde as características da forma cristalina, uma vez modificada podem contribuir negativamente ou positivamente para o material. Sendo assim, defeitos pontuais são:

- a) discrepâncias nos arranjos atômicos de uma estrutura cristalina, como os defeitos por lacuna, os de átomos intersticiais e os substitucionais.
- b) discrepâncias nos arranjos atômicos de uma estrutura cristalina, tendo como principal defeito o da rede cristalina não ser composta por átomos.
- c) discrepâncias nas temperaturas dos arranjos atômicos de uma estrutura cristalina, como um alto aquecimento ou alto resfriamento em pontos diferentes da rede.
- d) concordância nos arranjos atômicos de uma estrutura cristalina.
- e) concordância em todos os átomos que compõem a estrutura cristalina e em seus possíveis movimentos.

9) As principais características da passagem de um material para o seu estado supercondutor são:

- a) a resistividade nula adquirida ao atingir a temperatura crítica e a apresentação de dois campos magnéticos críticos, formando o estado misto entre eles.
- b) o efeito Meissner, onde os supercondutores repelem o campo magnético do seu interior e a levitação magnética realizada pelo material supercondutor.
- c) a apresentação de dois campos magnéticos críticos, formando o estado misto entre eles e a levitação magnética realizada pelo material supercondutor.
- d) a apresentação de dois campos magnéticos críticos, formando o estado misto entre eles e a levitação magnética realizada pelo material supercondutor.
- e) a resistividade nula adquirida ao atingir a temperatura crítica e o efeito Meissner, onde os supercondutores repelem o campo magnético do seu interior.

10) De acordo com as características dos tipos de supercondutores, marque a alternativa correta:

I – Supercondutores do tipo I apresentam temperaturas críticas extremamente baixas, enquanto Supercondutores do tipo II apresentam temperaturas críticas mais elevadas.

II - Supercondutores do tipo I apresentam baixo valor do campo magnético crítico, enquanto Supercondutores do tipo II apresentam dois valores de campo crítico.

III – Tanto Supercondutores do tipo I quanto Supercondutores do tipo II permitem a penetração de parte do campo magnético.

- a) Somente a I é verdadeira
- b) Somente a II é verdadeira
- c) As alternativas I e II são verdadeiras
- d) As alternativas I e III são verdadeiras
- e) As alternativas I, II e III são verdadeiras





## APÊNDICE G - Questionário de Autoavaliação

Prezado Aluno, este é um questionário de auto avaliação que tem como objetivo a tomada de consciência de seu próprio desenvolvimento durante as aulas sobre a temática Supercondutividade, responsabilidade pelo seu desempenho e melhoria da autoestima.

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_.

Valores/ Atitudes/ Capacidade	RARAME NTE	ÀS VEZES	QUASE SEMPRE	SEMPRE
1. Fui pontual				
2. Fui assíduo				
3. Estive atento e concentrado durante as aulas				
4. Fiz as atividades de casa				
5. Fui organizado, faço registro dos assuntos que considero relevantes para a minha aprendizagem				
6. Respeitei compromissos assumidos e cumpri prazos				
7. Demonstrei interesse pelos assuntos tratados				
8. Colaborei, positivamente, no trabalho da turma e do grupo				
9. Dei a minha opinião e respeitei a dos outros				
10. Fui capaz de contextualizar o conteúdo visto em diferentes situações				
11. Participei corretamente, nas atividades desenvolvidas				
12. Participei nas aulas de forma adequada				
13. Tomei iniciativa de apresentar novas ideias/propostas				
14. Aceitei críticas ao meu trabalho e comportamento				
15. Respeitei meus colegas e minha professora				
16. Adquirit conhecimentos				
17. Fui capaz de aplicar esses conhecimentos nas atividades e avaliações				
18. Fui capaz de relacionar o tema do trabalho com assuntos vistos na disciplina				
19. Escrevo com clareza e coesão sobre a temática abordada				
20. Utilizei materiais suplementares				
21. Demonstrei iniciativa para a resolução dos problemas apresentados				

Acho que o meu desempenho durante o trabalho pode ser traduzido pelo seguinte conceito: \_\_\_\_\_

<p>Gostaria ainda de dizer que:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
--

**APÊNDICE H - Produto**

**PROPOSTA PARA O ENSINO DE SUPERCONDUTIVIDADE  
NO ENSINO MÉDIO**

Mestranda: Nara Gracy Travessa Barbosa  
Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo  
Co-orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha

**Manaus  
2016**

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	83
<b>I TEXTO DE APOIO PARA O PROFESSOR: SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO</b>	84
<b>1. Contexto histórico</b>	84
<b>2. Corrente e resistividade elétrica</b>	87
2.1 Corrente elétrica	87
2.2 Resistividade elétrica	89
<b>3. Resistividade nula e efeito Meissner</b>	90
3.1 Modelo de Drude	91
3.2 Condutividade elétrica nos metais	91
3.3 Resistividade Nula	93
3.4 Efeito Meissner	93
3.5 Teoria de London	94
3.6 Teoria de Ginzburg-Landau	95
<b>4. Supercondutor x condutor perfeito</b>	95
4.1 Comportamento magnético em um Condutor Perfeito	96
4.2 Comportamento magnético em um Supercondutor	97
<b>5. Tipos de supercondutores</b>	98
5.1 Supercondutores Tipo I	98
5.2 Supercondutores Tipo II	99
<b>6. Teoria BCS</b>	100
<b>II PLANO DE TRABALHO PARA DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO</b>	101
<b>III CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSTA</b>	106
<b>REFERÊNCIAS</b>	107

## APRESENTAÇÃO

A necessidade de mudança no ensino de Física aumentou com o avanço da tecnologia. Os alunos se faziam cada vez mais participativos e questionadores de aplicações atuais de diversas áreas da Física. Ficava mais clara a importância do ensino de tópicos da Física Contemporânea, como a Supercondutividade, para o Ensino Médio de uma forma diferente, onde o aluno pudesse aprender de forma criativa e mais autônoma. Acreditamos que para reverter essa situação era importante pensar na aprendizagem desse conteúdo como o enfrentamento de um problema e busca por sua resposta.

Esta proposta para ensino de Supercondutividade no Ensino Médio é composta por seis blocos de conteúdo, com carga horária total de 13 horas, a saber: Contexto histórico; Corrente e resistividade elétrica; Resistividade nula e efeito Meissner; Supercondutor x condutor perfeito; Teoria BCS; Tipos de supercondutores.

Para o desenvolvimento dos conteúdos propostos em cada bloco, é oferecido aos professores um material de apoio que contempla, além das referências utilizadas para a sua construção, duas orientações: I) texto de apoio para o professor; II) plano de trabalho para o desenvolvimento do conteúdo. Além disso, apresentamos as considerações realizadas.

A proposta é tratar a supercondutividade a partir de seu contexto histórico, seguindo de conceitos físicos necessários para sua compreensão. Na sequência, serão apresentadas as principais propriedades da Supercondutividade – resistividade nula e efeito Meissner – e tratados os aspectos gerais do material quando atinge o seu estado supercondutor. Por fim, serão abordados o comportamento do campo magnético no condutor perfeito e no supercondutor, bem como a teoria BCS e os tipos de supercondutores.

A proposta da inserção da Supercondutividade fundamentada pela metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas é direcionada ao 3º ano do Ensino Médio por necessitar de conhecimentos prévios referentes a alguns conteúdos específicos desta série, tais como corrente elétrica, campo magnético e outros. Além disso, a maturidade dos alunos facilita a compreensão da contextualização da temática e de suas atuais aplicações descobertas com a contribuição dos avanços tecnológicos.

Esperamos que esta pesquisa colabore para que seja pensada a necessidade de inserir a temática Supercondutividade no Ensino Médio, e que esta ocorra por meio de um ensino que promova uma aprendizagem significativa para o aluno, possivelmente, com a utilização da ABP.

## I TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR: SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO<sup>8</sup>

### 1 Contexto histórico

Supercondutores são materiais que conduzem eletricidade com resistência praticamente nula, quando submetidos a baixíssima temperatura. Este fenômeno completou 100 anos em 2011 e ainda intriga os cientistas que, com os avanços tecnológicos, evoluem seu estudo.

A Supercondutividade foi descoberta por um físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, em 1911. Onnes pesquisava sobre os efeitos nas propriedades dos metais expostos a temperaturas extremamente baixas, quando descobriu que o mercúrio perdia toda a resistência ao fluxo de eletricidade quando resfriado a cerca de 4K. A este estado de resistividade zero, ele denominou Supercondutividade e, a partir daí, todo material que atinge esta característica quando abaixo de uma temperatura crítica, que varia de material para material, chamados de supercondutores. Ele recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1913. (MAYO, 1989).

Figura 1: Heike Kamerlingh Onnes, descobridor da Supercondutividade



Fonte: Branício (2001).

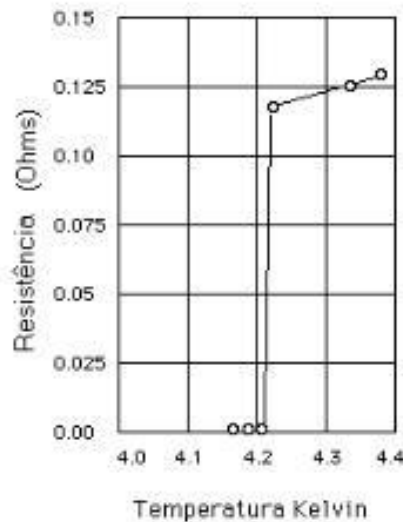
Em 1912, foi demonstrado que o fenômeno da Supercondutividade não ocorria somente no mercúrio, quando Onnes e seus colaboradores verificaram que o estanho e o chumbo também apresentariam tais características quando submetidos a temperaturas de 3,7

---

<sup>8</sup> Texto elaborado pela mestranda Nara Gracy Travessa Barbosa, sob a orientação do Prof. Dr. Igor Tavares Padilha e da profa. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo.

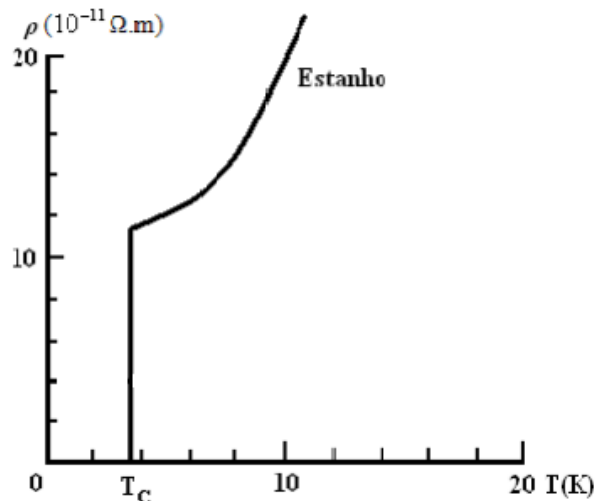
K e 7,2 K, respectivamente. Com este avanço na pesquisa deste fenômeno, vem sendo ampliado o número de sistemas supercondutores a serem analisados e aplicados. (OSTERMANN, 2005).

Figura 2- Relação entre Resistência (ohms) e Temperatura (K) do Mercúrio (Hg).



Fonte: Rocha (2010).

Figura 3 - Relação entre Resistência (ohms) e Temperatura (K) do estanho



Fonte: Adaptado de Ostermann (2005 apud VAZ, 2009).

Em 1933, a Supercondutividade passa a ser encarada como um novo estado de matéria após a descoberta da propriedade dos supercondutores realizada pelo físico alemão Walther Meissner e seu assistente Robert Ochsenfeld, o efeito Meissner. Tal propriedade

consiste na expulsão total do fluxo de campo magnético do interior do supercondutor, quando este é resfriado abaixo de sua temperatura crítica. (ROCHA, 2010).

Em 1934, o físico inglês F. London formula sua teoria sobre as propriedades eletrodinâmicas dos supercondutores, com a proposta do modelo de dois fluidos (elétrons normais e superelétrons). Suas equações não explicam o fenômeno da Supercondutividade, apenas o descrevem. (OSTERMANN, 1998).

Em 1950 foi desenvolvida a teoria fenomenológica ou macroscópica da Supercondutividade, pelos físicos V. L. Ginzburg e L. D. Landau. Esta é uma teoria que não explica os mecanismos microscópicos que dão origem a Supercondutividade, em vez disso, a teoria analisa as propriedades macroscópicas de um supercondutor com o auxílio de termodinâmica e conceitos da Mecânica Quântica. (CLARIM, 2012, p.13).

Dando fundamento às teorias fenomenológicas de London e dos russos Ginzburg-Landau, em 1957, os americanos Bardeen, Cooper e Schrieffer formularam a teoria microscópica da Supercondutividade, a teoria BCS. O ponto chave nesta teoria é a formação de pares de elétrons, conhecidos como Pares de Cooper. Em reconhecimento da importância de sua teoria, em 1972, receberam o prêmio Nobel de Física. (ROCHA, 2010).

Outra importante propriedade dos supercondutores foi proposta teoricamente em 1962, pelo físico inglês Brian David Josephson, o efeito Josephson. Este baseia-se no fenômeno do tunelamento de pares de Cooper entre dois supercondutores separados por uma distância menor que  $10 \text{ \AA}$ . (COSTA; PAVÃO, 2012).

Em 1986, ocorreu a descoberta da Supercondutividade de alta temperatura crítica num cuprato de lantânio e bário, pelos físicos americanos Karl Alex Muller e J. Georg Bednorz, onde um ano depois ganharam o prêmio Nobel de Física. Ainda em 1987, os físicos americanos Paul Chu e Maw-Kuen Wu descobrem o sistema composto por Y-Ba-Cu-O com temperatura crítica de 93 K, mostrando grande avanço na pesquisa dos materiais supercondutores. Em 1988 apresenta-se Supercondutividade a 110 K no sistema Bi-Ca-Sr-Cu-O. Em 1993 Supercondutividade do composto Hg-Ba-Ca-Cu-O a uma temperatura  $\cong 135 \text{ K}$ .

Em 2003, três cientistas que colaboraram para elucidar o estranho comportamento da matéria em temperaturas extremamente baixas, dividiram o Prêmio Nobel de Física, são eles: Alexei A. Abrikosov, Vitaly Ginzburg e Anthony Leggett. Tais cientistas deram contribuições relacionadas a dois fenômenos da física quântica: Supercondutividade e superfluidez. (STUDART, 2003).

Em 2008, foi realizada a descoberta da massa do Bóson de Higgs através do maior acelerador de partículas do mundo, que pertence ao Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Cern), o LHC (Large Hadron Collider, ou, em português, Grande Colisor de Hádrons), onde são usados ímãs e fios supercondutores, devido exigir a utilização de campos magnéticos fortíssimos para funcionar.

Ainda em 2008, H. Hosono e alguns pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Tóquio anunciaram a observação de Supercondutividade com  $T_c = 26$  K num sistema contendo átomos de lantânio, ferro, arsênio, oxigênio e flúor. Dessa sequência surgiram famílias de compostos supercondutores, os ferro-pnictídeos, gerados de modificações na composição química do composto original. (PUREUR, 2012).

Em 2010 ocorreu a descoberta do primeiro hidrocarboneto aromático supercondutor, que consiste em um composto orgânico aromático, cuja molécula é constituída de cinco anéis de benzeno. (SANTOS, 2010).

Em 2015, um recorde na área da Supercondutividade foi quebrado, quando uma equipe alemã descobriu como fazer com que um material comum e malcheiroso se torne um supercondutor a apenas  $-70$  °C. Tal material se trata do sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), gás responsável pelo mau cheiro dos ovos podres.

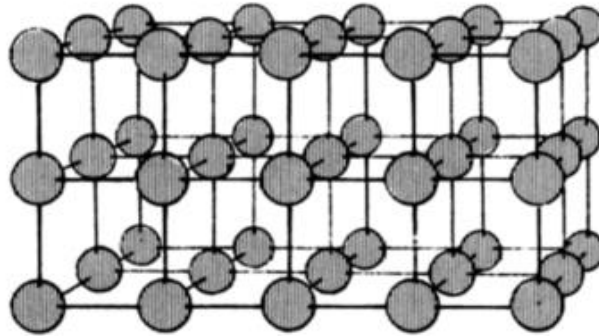
## **2 Corrente e resistividade elétrica**

### **2.1 Corrente elétrica**

Um fio metálico contém uma grande quantidade de partículas, tendo, assim, uma estrutura diferente de um átomo isolado de um metal qualquer. No interior do metal, cada átomo perde, em geral, um ou dois elétrons, tornando-se, portanto, íons positivos, os quais arranjam-se de maneira bastante regular, constituindo uma rede cristalina tridimensional, como mostra a Figura 4. (GREF, 1993).



Figura 4 – Rede cristalina tridimensional.

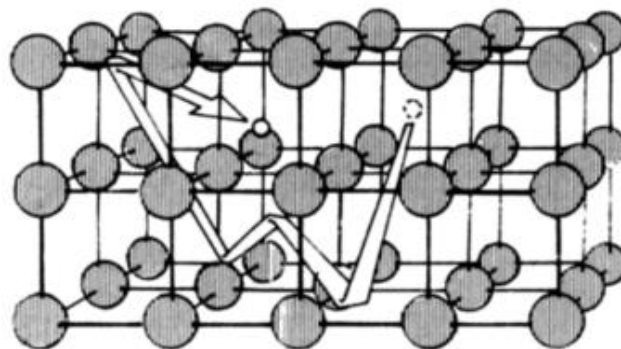


Fonte: Adaptada de GREF (1993).

Os elétrons perdidos pelos átomos ficam se movimentando pelos espaços vazios entre os íons, tendo em vista que íons no interior dos metais não formam estruturas compactas. A distância entre dois íons de uma rede cristalina é três vezes o valor do raio de um íon, espaço esse disponível para a movimentação dos elétrons, denominados elétrons livres. (GREF, 1993).

Estando submetidos a determinada temperatura, tanto o íon quanto os elétrons se movimentam, mas enquanto os íons se movimentam em torno de sua posição de equilíbrio, os elétrons livres se movem de forma desordenada e aleatória, como mostra a Figura 5. (GREF, 1993).

Figura 5 – Movimento desordenado de um elétron livre no interior de um metal.



Fonte: Adaptada de GREF (1993).

Esse movimento desordenado dos elétrons, presente em um fio metálico desconectado de uma fonte de energia elétrica, não constitui a corrente elétrica macroscópica, relevante para medidas usuais. Neste caso, a corrente elétrica somente é constituída pelo movimento ordenado dos elétrons, obtido pela atuação de uma força elétrica sobre cada

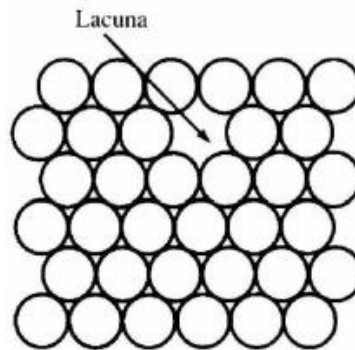
elétron livre. Esta última sendo gerada por uma diferença de potencial ao qual o fio é submetido. (OSTERMANN, 1998).

## 2.2 Resistividade elétrica

As estruturas cristalinas se encontram somente em sais, metais e maior parte dos minerais. Nessas estruturas podem existir defeitos<sup>9</sup> ou imperfeições. Dentre esses defeitos existem os defeitos pontuais, os quais consistem em irregularidades que se estendem sobre somente alguns átomos. Estes podem ser lacunas, intersticiais ou substitucionais. (MORA, 2010, p. 144).

O defeito pontual mais simples é a lacuna, que corresponde a uma posição atômica na qual falta um átomo, como mostra a Figura 6.1; o defeito intersticial consiste na presença de um átomo em uma posição que não pertence à estrutura do cristal perfeito, representado na Figura 6.2; e o defeito substitucional ocorre quando átomos têm tamanhos próximos àqueles da matriz com diferenças entre raios menores que 15 % (Figura 6.3). (MORA, 2010, p. 145).

Figura 6.1 – Defeito pontual: lacuna.

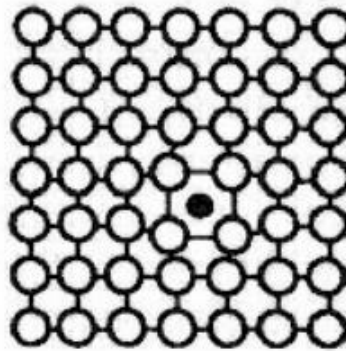


Fonte: Mora (2010).

---

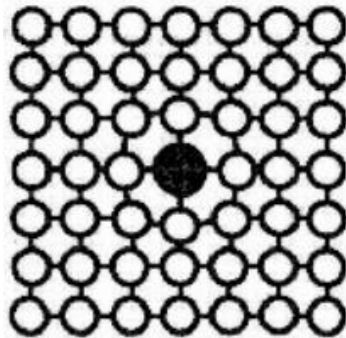
<sup>9</sup> Defeito cristalino é uma imperfeição ou um "erro" no arranjo periódico regular dos átomos em um cristal. (MORA, 2010).

Figura 6.2 – Defeito intersticial.



Fonte: Mora (2010).

Figura 6.3 – Defeito substitucional.



Fonte: Mora (2010).

Devido à presença de impurezas ou imperfeições na rede cristalina, como os defeitos pontuais, e às vibrações térmicas, o movimento dos elétrons livres sofre oposição, deslocando os íons de sua posição de equilíbrio. Com o deslocamento dos íons, os elétrons livres se espalham de forma que suas direções se tornam diferentes da corrente elétrica. Tal oposição à corrente elétrica é denominada resistividade elétrica. (OSTERMANN, 1998).

### 3 Resistividade nula e efeito Meissner

As duas características do fenômeno da Supercondutividade, Resistividade nula e efeito Meissner, tiveram muitas teorias a seu respeito, entre elas, estão: modelo de Drude, teoria de London e teoria de Ginzburg-Landau. Tais características e suas teorias serão abordadas nesta seção.

### 3.1 Modelo de Drude

Em 1900, três anos depois da descoberta do elétron por J.J. Thomson, Drude construiu uma teoria sobre a condução térmica e elétrica, aplicando a Teoria Cinética dos gases para um metal, considerando-o como um gás de elétrons. (CLARIM, 2012).

Drude adaptou a teoria cinética dos gases para desenvolver um modelo para a condutividade em metais, permitindo descrever e prever uma série de propriedades desses metais. (CLARIM, 2012).

O seu modelo consistia em admitir que, num metal, alguns dos elétrons se libertam dos átomos e ficam livres, deixando íons que ficam fixos. Os elétrons de valência que se separam dos íons, formam um gás de elétrons, podendo mover-se livremente. A resistência elétrica seria devida a colisões desses elétrons com os íons fixos. (ALCÁCER, 2013).

As hipóteses do Modelo de Drude, podem ser apresentadas resumidamente: pelo movimento retilíneo uniforme, o qual os elétrons se movem na ausência de campos eletromagnéticos externos; pelas colisões de elétrons com os íons, como na Teoria Cinética, sendo eventos instantâneos que alteram a velocidade do elétron; pela possibilidade de um elétron escolhido aleatoriamente poder deslocar-se por um tempo  $\tau$  (tempo livre médio ou tempo de relaxamento), antes da sua próxima colisão; pelo equilíbrio térmico com o meio, alcançado pelos elétrons apenas através das colisões e quanto maior for a temperatura onde ocorre a colisão, mais rapidamente um elétron emerge dessa colisão. (CLARIM, 2012).

### 3.2 Condutividade elétrica nos metais

A resistividade  $\rho$  é a constante de proporcionalidade entre o campo elétrico  $E$  em um ponto no metal e a densidade de corrente que é induzida neste metal. Representada por:

$$E = \rho j \quad (3.1)$$

A densidade de corrente  $j$  é um vetor, paralelo ao fluxo de cargas, e sua intensidade é a quantidade de cargas por unidade de tempo que circula por uma área perpendicular ao fluxo.

Considerando o movimento de  $n$  elétrons em um metal com velocidade  $v$  por unidade de volume  $V$ , esta densidade de corrente pode ser descrita da seguinte forma,

$$j = -env \quad (3.2)$$

Na presença de um campo externo, segundo o modelo de Drude, a velocidade dos elétrons após uma colisão, pode ser escrita em função da aceleração imposta por este campo.

$$-eE = m \frac{dv}{dt} \rightarrow v = -\frac{eE\tau}{m} \quad (3.3)$$

Substituindo a equação (3.3) na equação (3.2), temos:

$$j = \frac{ne^2\tau}{m} E \quad (3.4)$$

A Condutividade é dada pelo inverso da resistividade, sendo portanto:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \quad (3.5)$$

Podendo escrever a resistividade, sendo proporcional a  $\tau^{-1}$ , frequência de espalhamento.

$$\rho = \frac{m}{ne^2} \tau^{-1} \quad (3.6)$$

De acordo com os três tipos de espalhamento em um metal típico, espalhamento por impurezas, por interação elétron-elétron e pelas colisões elétron-fônon, e suas respectivas dependências da temperatura, a resistividade de um metal a baixas temperaturas pode ser representada por:

$$\rho = \rho_0 + aT^2 + \dots \quad (3.7)$$

Onde a resistividade  $\rho_0$  dependeria apenas da concentração de impurezas no material.

A resistividade elétrica de um metal diminui à medida em que o material é resfriado. Quando a temperatura é diminuída, as vibrações térmicas dos íons diminuem e os elétrons de condução sofrem menor número de espalhamentos. (OSTERMANN, 1998).

Porém, em alguns metais, notou-se que a resistividade apresenta um comportamento diferente, onde, ao ser resfriado, a resistividade do metal diminui, mas chegando em um determinado momento, ela desaparece. A temperatura onde a resistividade cai a zero,

denomina-se temperatura crítica, representada por  $T_c$ . A esse fenômeno dá-se o nome de Supercondutividade. (CLARIM, 2012).

### 3.3 Resistividade Nula

Em um supercondutor submetido à temperatura abaixo da temperatura crítica, a resistividade elétrica é nula e a condutividade é infinita. A resistividade nula no supercondutor é representada por uma transição de fase termodinâmica, cujas fases são “estado normal” e “estado supercondutor”. A primeira se refere ao estado acima da temperatura crítica e a segunda se refere ao estado abaixo da temperatura crítica. (CLARIM, 2012).

Uma outra característica do supercondutor é o fato de serem materiais diamagnéticos perfeitos. O diamagnetismo perfeito impede a penetração do fluxo magnético num supercondutor e resulta no aparecimento de uma corrente de blindagem, à superfície do material. O fenômeno da não penetração do campo magnético no material é denominado efeito Meissner. (TAVARES, 2000).

### 3.4 Efeito Meissner

O efeito Meissner foi descoberto, em 1933, por Walther Meissner e seu assistente, Robert Ochsenfeld ao observar amostras supercondutoras de Estanho submetidas a um campo magnético externo. (CLARIM, 2012).

Esse efeito consiste na expulsão do campo magnético do interior do supercondutor, ou seja, ao ser aplicado um campo magnético em um supercondutor, este campo não consegue penetrar no seu interior. Isso ocorre devido o campo elétrico ser nulo,  $E = 0$ . (CLARIM, 2012).

O campo magnético permanece nulo dentro do supercondutor, devido à existência de uma corrente de blindagem que circula em sua superfície, a qual produz um campo magnético igual em módulo, mas em sentido oposto ao campo externo aplicado no supercondutor, obtendo assim um campo magnético resultante igual a zero. (CLARIM, 2012).

Analisando as correntes de blindagem, temos a densidade total de corrente como sendo formada pela densidade de corrente externa e interna.

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_{ext} + \mathbf{j}_{int} \quad (3.8)$$

A partir da magnetização por unidade de volume  $M$  gerada pelas correntes de blindagem no supercondutor, associada à densidade de corrente interna, e o campo magnético  $H$  em termos de densidade de corrente externa, temos que os vetores  $M$ ,  $H$  e  $B$  são relacionados por:

$$B = \mu_0(H + M) \quad (3.9)$$

Como no supercondutor, de acordo com o efeito Meissner,  $B = 0$ , temos:

$$M = -H \quad (3.10)$$

Assim temos para os supercondutores uma susceptibilidade magnética,  $\chi = -1$ , uma vez que esta é definida por:

$$\chi = \left. \frac{dM}{dH} \right|_{H=0} \quad (3.11)$$

A susceptibilidade magnética negativa indica que o material é um diamagnético, o qual impede a entrada de parte do campo magnético externo. No caso do supercondutor, trata-se de um diamagnético perfeito, o qual o campo magnético é totalmente impedido de entrar.

Através do efeito Meissner ficou demonstrado que um supercondutor não é simplesmente um metal com resistividade zero, pois a resistividade nula não implica diamagnetismo perfeito. Permitiu também estabelecer que a transição do estado normal para o supercondutor é uma transição termodinâmica reversível. (OSTERMANN, 1998).

### 3.5 A Teoria de London

Em 1934, os irmãos F. e H. London contribuíram para a descrição da supercondutividade ao relacioná-la ao modelo de dois fluidos. Do ponto de vista teórico, foi a primeira formulação capaz de explicar o efeito Meissner-Ochsenfeld tomando como base as equações de Maxwell do eletromagnetismo e fazendo-se algumas suposições adicionais. (PEREIRA; FÉLIX, 2013).

Tratando-se de um modelo para descrever a ausência de campo magnético no interior de um material supercondutor na presença de um campo externo, a teoria de London falha ao tentar explicar a Supercondutividade quando não há campo magnético externo presente. Foi então que, em 1950, apareceu uma teoria fenomenológica, baseada em observações experimentais que descreve essas propriedades, a teoria de Ginzburg-Landau. (PEREIRA; FÉLIX, 2013).

### 3.6 Teoria de Ginzburg-Landau

A teoria de Ginzburg-Landau da Supercondutividade foi formulada pelos físicos L.D. Landau e V.L. Ginzburg. Também considerada uma teoria fenomenológica, a teoria de Ginzburg-Landau explica as propriedades termodinâmicas da transição do estado normal para o estado supercondutor. (OSTERMANN, 1998).

Todas as características e propriedades apresentadas na formulação de Ginzburg-Landau do fenômeno seguem da função termodinâmica chamada densidade de energia livre, que apresenta uma dependência da função  $\psi \equiv \psi(r)$ , relacionada a quantidade de elétrons supercondutores do material (superelétrons), onde é zero se o material estiver a uma temperatura acima da temperatura crítica ( $\psi = 0$ , se  $T > T_C$ ) e é diferente de zero somente quando a temperatura for menor que a temperatura crítica ( $\psi \neq 0$ , se  $T < T_C$ ). (PEREIRA, FÉLIX, 2013).

Dentre as consequências das equações de Ginzburg-Landau estão: o campo crítico termodinâmico como função da temperatura ( $H_c(T)$ ), onde a transição entre o estado supercondutor e o estado normal acontece quando o módulo do campo  $H$  fica maior que o campo crítico  $H_c$  (campo magnético capaz de destruir a Supercondutividade) (OSTERMANN, 1998); o comprimento de penetração ( $\lambda_L$ ), comprimento característico do comportamento de atenuação do campo magnético no interior do material supercondutor, onde mostra que um campo magnético externo de amplitude  $B_0$  decai exponencialmente à medida que penetra na amostra supercondutora (PEREIRA, FÉLIX, 2013); o comprimento de coerência ( $\xi$ ), o qual representa o comprimento ao longo do qual o parâmetro de ordem  $\psi$  varia (mede a escala de variação espacial de  $\psi$ ).  $\xi$  também vai a infinito quando  $T \rightarrow T_c$ . (OSTERMANN, 1998).

## 4 Supercondutor x condutor perfeito

Até 1933 acreditava-se que o efeito de um campo magnético sobre um supercondutor seria como em um condutor perfeito. Entretanto, Meissner e Ochsenfeld submeteram amostras de estanho e chumbo ao processo de resfriamento na presença de campo e, ao contrário do que ocorre com o condutor perfeito, observaram que o fluxo total dentro das amostras cancelava-se, isto é, elas espontaneamente transformavam-se em diamagnetos perfeitos. (OSTERMANN, 1998).



O estado de magnetização de um condutor perfeito não está unicamente determinado pelas condições externas, mas depende da sequência com que estas condições foram obtidas. Para tal demonstração, consideremos uma mesma sequência de eventos aplicada, primeiramente a um condutor perfeito e, em seguida, a um supercondutor.

#### 4.1 Comportamento magnético em um Condutor Perfeito

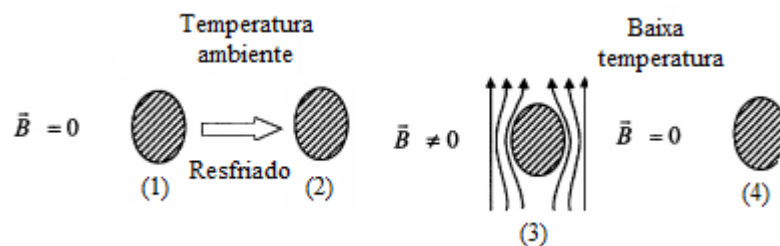
Consideremos duas sequências de eventos para um condutor perfeito.

A primeira sequência analisada em um condutor perfeito, consiste em:

1. Um condutor perfeito em temperatura ambiente em campo nulo.
2. Resfriamento do condutor até o alcance de uma resistividade desprezível.
3. A seguir, a aplicação de um campo magnético, ainda a uma temperatura na qual a resistividade desprezível.
4. Finalmente, o campo é retirado.

Após a aplicação dos quatro passos dessa sequência, observa-se que o material não fica magnetizado e desaparecem as correntes de blindagem e a densidade de fluxo  $B$  gerada é, então, nula.

Figura 7: Comportamento magnético de um condutor perfeito – Primeira sequência.



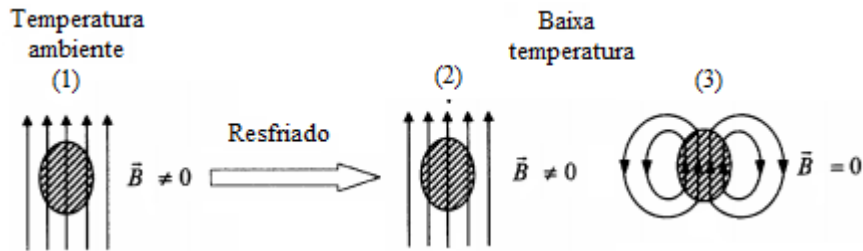
Fonte: Adaptada de Ostermann (1998).

A segunda sequência de eventos adaptada para um condutor perfeito consiste em:

1. A aplicação de um campo magnético ao condutor perfeito em temperatura ambiente.
2. O resfriamento do material a uma baixa temperatura, na qual sua resistividade vai a zero. Como o desaparecimento da resistividade não tem efeito sobre a magnetização, então a distribuição de fluxo permanece inalterada.

3. A redução do campo magnético a zero, resultando assim, em uma magnetização permanente do material. Isso ocorre devido as correntes persistentes serem induzidas no material (conforme a Lei de Faraday-Lenz), mantendo o fluxo no seu interior.

Figura 8: Comportamento magnético de um condutor perfeito – Segunda sequência.



Fonte: Adaptada de Ostermann (1998).

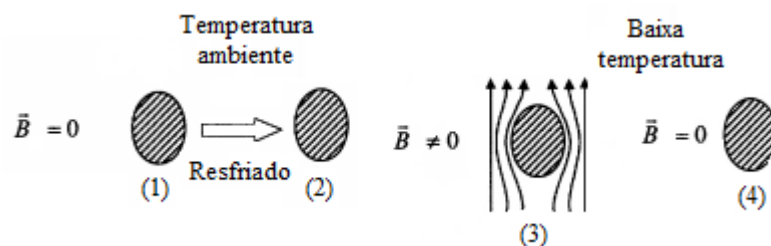
Nota-se, das Figuras 7 e 8 que o estado de magnetização de um condutor perfeito não é determinado apenas pelas condições externas, mas também pela sequência com que essas condições foram obtidas. Isto é nitidamente observado, principalmente, ao final das duas sequências, os quais mostram diferentes estados de magnetização sob condições externas idênticas.

#### 4.2 Comportamento magnético em um Supercondutor

O experimento realizado por Meissner e Ochsenfeld, em 1933, demonstrou que os supercondutores além de possuírem resistividade nula, expulsam as linhas de fluxo do seu interior. Assim, dentro de um material supercondutor, temos sempre  $B = 0$ .

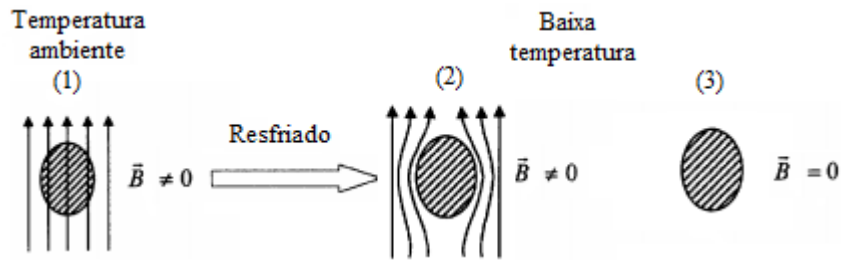
O comportamento magnético de um supercondutor, portanto, se diferencia do condutor perfeito ainda que seguindo as mesmas sequências adotadas a ele, como mostram as Figuras 9 e 10.

Figura 9: Comportamento magnético de um supercondutor – Primeira sequência.



Fonte: Adaptada de Ostermann (1998).

Figura 10: Comportamento magnético de um supercondutor – Segunda sequência.



Fonte: Adaptada de Ostermann (1998).

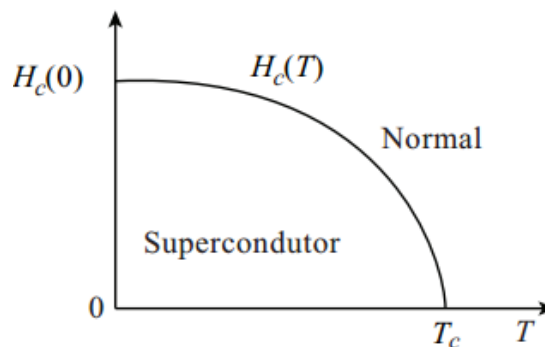
## 5. Tipos de supercondutores

Os supercondutores são divididos em dois tipos, que são: Tipo I e Tipo II, de acordo com suas propriedades específicas.

### 5.1 Supercondutores Tipo I

Nos supercondutores Tipo I, o campo magnético  $H$  é nulo em seu interior até a Supercondutividade ser destruída. O valor do campo o qual ocorre tal destruição é dito campo crítico,  $H_c$ . Esse valor de campo é máximo para  $T = 0$  K e é nulo para  $T = T_c$ , como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Evolução do campo magnético crítico em relação à temperatura.

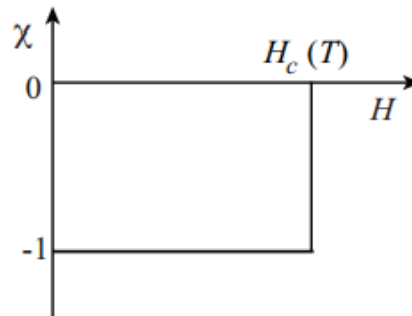


Fonte: Alcácer (2013).

Ao que se trata da susceptibilidade magnética do supercondutor do Tipo I, para um campo magnético exterior inferior ao campo crítico, tem-se  $\chi = -1$  (Figura 12), indicando que

o campo não penetra no material. Quando se ultrapassa o valor do campo crítico,  $\chi$  toma um valor positivo.

Figura 12 – Susceptibilidade magnética de um supercondutor do tipo I.

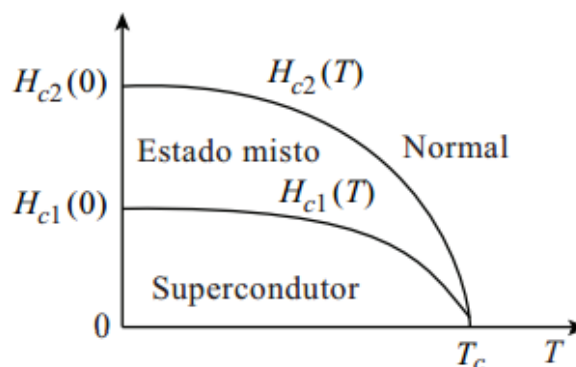


Fonte: Alcácer (2013).

## 5.2 Supercondutores Tipo II

Os supercondutores do tipo II, apresentam dois valores de campo crítico,  $H_{c1}$  e  $H_{c2}$ . Para valores de campo inferiores a  $H_{c1}$ , todo o material é supercondutor; entre  $H_{c1}$  e  $H_{c2}$ , só parte do material está no estado supercondutor estando o restante no estado normal, dito estado misto, e, para valores superiores a  $H_{c2}$ , todo o material retorna ao estado normal, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Campos críticos para um supercondutor do tipo II.

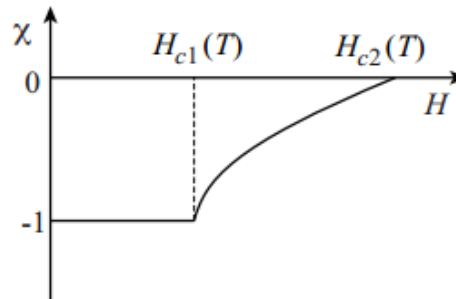


Fonte: Alcácer (2013).

A susceptibilidade magnética do supercondutor do Tipo II apresenta-se igual ao supercondutor do Tipo I até o campo crítico inferior  $H_{c1}$ . A partir daí, verifica-se uma

variação da susceptibilidade magnética de acordo com o valor do campo magnético crítico superior  $H_{c2}$ , conforme a Figura 14.

Figura 14 – Susceptibilidade magnética de um supercondutor do tipo II.



Fonte: Alcácer (2013).

Os supercondutores do Tipo II apresentam maior interesse tecnológico devido o valor do campo externo  $H_{c2}$  ser suficientemente elevado, permitindo um transporte de corrente em quantidade suficiente para a aplicação tecnológica, sem ultrapassar esse campo, permanecendo no estado misto.

## 6. Teoria BCS

A teoria BCS foi desenvolvida em 1957 por John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer, a qual consiste na teoria microscópica da Supercondutividade, porém, seu domínio se restringe aos supercondutores do Tipo I.

A ideia básica da teoria BCS reside na existência dos pares de Cooper, resultantes do potencial atrativo entre dois elétrons, mediada por um fônon. A interação elétron-fônon dá-se a partir da interação elétron-rede. (ALCÁCER, 2013).

Os elétrons interagem com a rede devido ao espalhamento dos elétrons livres ocasionado pelas vibrações térmicas, impurezas e imperfeições. Esta interação determina a resistividade dos materiais.

Quando um elétron é espalhado, um modo de vibração da rede deve ser excitado no processo de espalhamento. Este movimento de vibração é quantizado e fala-se, então, em emissão (ou absorção) de um fônon. Assim, a interação elétron-rede é chamada interação elétron-fônon. (OSTERMANN, 1998).

Em 1950, Frohlich, já havia demonstrado que a interação elétron-fônon poderia ocasionar uma ligação entre dois elétrons. Em 1956, surgiu a ideia dos pares de Cooper

proposta por Leon Cooper, a qual mostra que o elétron muda seu comportamento quando interage com os fônons da rede cristalina.

Antes das ideias propostas por Frohlich e Cooper, era improvável pensar na formação de pares de elétrons, devido à forte repulsão coulombiana entre os elétrons. Mas o estudo da interação elétron-fônon mostrou a existência de uma interação atrativa entre dois elétrons no interior de uma rede cristalina. Tal interação foi denominada pares de Cooper.

A formação dos pares de Cooper dá-se através do deslocamento da rede cristalina provocada pela atração coulombiana entre os elétrons e os íons positivos que a constituem. Este deslocamento torna maior a densidade das cargas positivas próximas aos elétrons, fazendo com que um fônon seja emitido da rede cristalina. Este pode atrair outro elétron que esteja próximo, conseguindo fazer a "atração" entre os elétrons, formando o que chamamos de Pares de Cooper. (OSTERMANN; 1998)

## II PLANO DE TRABALHO PARA DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO

O plano de trabalho, a presentado logo abaixo, está organizado em duas etapas: a primeira, introdutória, com duas aulas, contém os seguintes elementos: objetivos, atividade de ensino-aprendizagem (atividade do professor e atividade do aluno), recursos de ensino; a segunda, desenvolvimento do conteúdo Supercondutividade, organizada em seis blocos de conteúdo, contendo cada um os seguintes elementos: número do bloco/conteúdo, problema específico, objetivos, atividade de ensino-aprendizagem (atividade do professor e atividade do aluno), recursos de ensino. Nas duas etapas, a avaliação está integrada na atividade de ensino-aprendizagem.

<b>IDENTIFICAÇÃO</b>
Ensino Médio: 3ª série
Sugestão de carga horária: 13 aulas de 50 min para cada aula.
<b>PLANO DE TRABALHO PARA DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO SUPERCONDUTIVIDADE</b>
<p><b>1) Apresentação da proposta aos alunos</b></p> <p>Objetivos</p> <p>Objetivo 1: Reconhecer a existência da Supercondutividade no mundo, através de suas aplicações.</p> <p>Objetivo 2: Conhecer os conteúdos da Supercondutividade inseridos nas aplicações apresentadas.</p>

### Atividade de ensino-aprendizagem

#### Atividades do Professor (AP)

AP1: Apresentar, por meio de vídeos e imagens, as aplicações dos supercondutores e a importância de sua existência;

AP2: Apresentar os conteúdos de Física, referente à temática Supercondutividade, presentes nas aplicações;

AP3: Aplicar um questionário para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre conceitos associados e importantes para o tema Supercondutividade;

AP4: Apresentar o problema central sobre a temática Supercondutividade para que, ao término das 13 aulas, os alunos possam ser capazes de resolvê-lo.

#### Atividades do Aluno (AA)

AA1: Interagir com a classe e professor sobre as imagens e vídeos apresentados, para reconhecimento da presença da Supercondutividade no mundo em que vivem;

AA2: Conhecer os assuntos de Supercondutividade relacionados às aplicações apresentadas, que serão abordados durante as aulas sobre essa temática.

AA3: Responder um questionário sobre alguns conceitos da Física, necessários para a compreensão da Supercondutividade, para a verificação dos conhecimentos prévios já adquiridos pelos alunos.

AA4: Conhecer o problema central da temática Supercondutividade.

#### Recursos utilizados

- Imagens das aplicações dos supercondutores:

Imagem 1 - Lexus Hoverboard

<http://www.supercondutividade.blogspot.com/>

Imagem 2 - Seção de um condutor em cobre ao lado de um cabo supercondutor.

[http://www.clickciencia.ufscar.br/porta/edicao26/materia3\\_detalhe.php](http://www.clickciencia.ufscar.br/porta/edicao26/materia3_detalhe.php)

Imagem 3 - LHC - Large Hadron Collider

- Vídeos exibidos em:

Vídeo 1 - Lexus Hoverboard - 5:49

<https://www.youtube.com/watch?v=tU-l0BJvWV8>

Vídeo 2 – Trem Maglev – 2:08

<https://www.youtube.com/watch?v=HGfsbQ7uzL8>

Vídeo 3 – LHC – 3:27 e 1:57

<https://www.youtube.com/watch?v=MiuW5ibmNRY>

<https://www.youtube.com/watch?v=cnXGpXn23dc>

- Questionário sobre alguns conceitos físicos.

## **2) Desenvolvimento do conteúdo**

### **Bloco 01: Contexto histórico da Supercondutividade**

Problema específico: Quais os fatos que deram origem e avanço à Supercondutividade?

Objetivos

Objetivo 1: Conhecer os principais fatos que contribuíram para a evolução da Supercondutividade.

Atividade de ensino-aprendizagem

## Atividade do Professor (AP)

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico.

AP2: Apresentar por meio de slides, os principais fatos da história da Supercondutividade em ordem cronológica e orientar um debate, realizado em grupos pequenos, sobre a história da Supercondutividade

AP3: Orientar a elaboração de um vídeo, em pequenos grupos, sobre fatos importantes da história da Supercondutividade.

## Atividade do Aluno (AA)

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Participar dos debates sobre as questões apresentadas no questionário sobre a história da Supercondutividade.

AA3: Elaborar um vídeo sobre um fato da história da Supercondutividade, como resolução do problema específico.

Recurso utilizado

- Slides sobre a história da Supercondutividade

**Bloco 02: Corrente elétrica e resistividade**

Problema específico: Como se comportam os elétrons livres de um fio metálico diante a presença de impurezas e vibrações térmicas?

Objetivos

Objetivo 1: Compreender a função da resistência elétrica e resistividade e suas diferenças.

Atividade de ensino-aprendizagem

## Atividade do Professor (AP)

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico.

AP2: Apresentar o objetivo de aprendizagem.

AP3: Lançar a pergunta: O que é Corrente elétrica? Instigar uma discussão sobre seu conceito.

AP4: Apresentar os vídeos sobre Estrutura cristalina e seus defeitos pontuais.

AP5: Proporcionar aos alunos textos avulsos sobre os conceitos de Corrente elétrica e resistência elétrica de diferentes autores.

## Atividade do Aluno (AA)

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Discutir sobre o conceito de Corrente elétrica?

AA3: Fazer a leitura dos textos avulsos sobre os conceitos de Corrente elétrica e resistência elétrica de diferentes autores.

AA4: Sintetizar oralmente os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica, primeiramente em grupos pequenos e depois com a turma.



AA5: Apresentar a solução, por escrito, do problema específico.

#### Recurso utilizado

- Vídeos sobre a estrutura cristalina de um metal e seus defeitos pontuais. Exibidos em: <https://www.youtube.com/watch?v=8F3Bh0n-w6c>  
[www.youtube.com/watch?v=ImzKwnDTD9I](https://www.youtube.com/watch?v=ImzKwnDTD9I)
- Textos sobre conceitos de corrente elétrica e resistividade elétrica.
- Slides sobre Estrutura cristalina, corrente e resistividade elétrica.

### **Bloco 03: Resistividade nula e efeito Meissner**

Problema específico: Como identificar que um material passou ao seu estado supercondutor?

#### Objetivos

Objetivo 1: Compreender a função da temperatura crítica na Supercondutividade.

Objetivo 2: Conhecer o comportamento das linhas de indução do Campo Magnético na presença de um supercondutor.

#### Atividade de ensino-aprendizagem

##### Atividade do Professor (AP)

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico.

AP2: Apresentar, através de gráficos, a perda da resistividade elétrica de um metal puro, impuro e de um supercondutor.

AP3: Conceituar o termo diamagnetismo e apresentar as características do efeito Meissner.

AP4: Apresentar vídeo sobre o efeito Meissner em supercondutores.

##### Atividade do Aluno (AA)

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Interpretar gráficos sobre a perda da resistividade elétrica de um metal puro, impuro e de um supercondutor.

AA3: Pesquisar materiais supercondutores e suas temperaturas críticas.

AA4: Em grupo, discutir sobre o efeito Meissner e elaborar uma síntese dessa discussão, de forma a solucionar o problema específico deste bloco.

#### Recursos utilizados

- Gráficos Resistividade elétrica x Temperatura.
- Slides sobre diamagnetismo e as características do efeito Meissner.
- Vídeo sobre o efeito Meissner em supercondutores. Exibido em: <https://www.youtube.com/watch?v=JOLFXkeC8L4>

### **Bloco 04: Supercondutor x Condutor perfeito**

Problema específico: Como o condutor perfeito e o supercondutor reagem à ação de um campo magnético externo?

#### Objetivos

Objetivo 1: Compreender como a ordem dos procedimentos aplicados em um condutor e em um supercondutor afetam no resultado do comportamento magnético.

Atividade de ensino-aprendizagem

## Atividade do Professor (AP)

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico e o objetivo de aprendizagem.

AP2: Apresentar os passos para a elaboração dos esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor.

AP3: Organizar a sala em grupos e distribuir as imagens que compõem os esquemas.

## Atividade do Aluno (AA)

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Discutir em grupo sobre a ordem dos procedimentos aplicados em um condutor e em um supercondutor.

AA3: Organizar os esquemas sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor em cartazes, como resolução do problema específico.

Recursos utilizados

- Os passos sobre o comportamento do campo magnético em um condutor perfeito e em um supercondutor, proposto por Ostermann (1998).

**Bloco 05: Tipos de Supercondutores.**

Problema específico: Qual tipo de supercondutor tem mais valor em utilidade tecnológica? Quais características explicitam isso?

Objetivos

Objetivo 1: Conhecer os tipos de supercondutores e compreender suas características.

## Atividade do Professor (AP)

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico e o objetivo de aprendizagem.

AP2: Verificar a compreensão dos alunos quanto ao campo magnético fraco e campo magnético mais intenso.

AP3: Apresentar as principais características dos supercondutores dos tipos I e II.

## Atividade do Aluno (AA)

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Discutir sua compreensão em relação ao campo magnético fraco e campo magnético mais intenso.

AA3: Elaborar uma síntese por intermédio de pesquisa individual, como resolução do problema específico.

Recursos utilizados

- Slides sobre os supercondutores dos tipos I e II.

**Bloco 06: Teoria BCS**

Problema específico: De acordo com a teoria BCS, como se comportam os elétrons de um supercondutor, de forma a apresentar resistividade nula?

Objetivos

Objetivo 1: Conhecer a Teoria BCS da Supercondutividade.

Objetivo 2: Compreender a interação elétron-rede-elétron prevista por Leon Cooper.

**Atividade do Professor (AP)**

AP1: Apresentar e esclarecer o problema específico e o objetivo de aprendizagem.

AP2: Apresentar a teoria BCS.

**Atividade do Aluno (AA)**

AA1: Analisar o problema específico.

AA2: Apresentar em grupo, por escrito, a resolução do problema específico sobre a Teoria BCS.

**Recursos utilizados**

- Slides sobre a Teoria BCS.

### **III CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSTA**

A aplicação da proposta apresentada é destinada aos alunos do 3º ano do Ensino Médio, tendo em vista que alguns conceitos físicos necessários para o trabalho com a temática Supercondutividade são abordados nesse ano, como: corrente elétrica, resistência e resistividade elétrica, campo magnético, entre outros.

Essa proposta é baseada na metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas, assim, para um bom desenvolvimento da proposta, é de extrema importância o professor que irá aplicá-la conhecer tal metodologia (características, os passos da ABP e algumas aplicações). Tal importância se deve ao fato de, uma vez conhecendo sua(s) turma(s) e a metodologia, o professor terá como adequá-la de acordo com sua realidade.

Vale ressaltar que, embora estejam sendo sugeridas adequações à metodologia, a ABP apresenta características imprescindíveis, como o aluno tendo um papel atuante no processo ensino-aprendizagem, o papel do professor como um tutor, a presença de um problema a ser solucionado e o trabalho em grupo.

Na aplicação da proposta, a interação entre os alunos e a pesquisa individual, contribuem de forma significativa para apresentações de resoluções do problema. Apesar de reconhecer tamanha contribuição, são perceptíveis as dificuldades encontradas nesses dois momentos, pois no ensino tradicional não é comum o trabalho em grupo, tampouco a cultura de se fazer uma pesquisa contínua.

Por se tratar da abordagem da Supercondutividade, um fenômeno físico que não consta no currículo do Ensino Médio, é importante que o professor se atualize quanto ao conteúdo, sendo capaz de proporcionar uma boa orientação, sem tirar a autonomia dos alunos nas atividades propostas.

Portanto, para se obter sucesso no desenvolvimento da proposta, o professor precisa se preparar e acreditar em um processo de ensino-aprendizagem diferenciado, que proporcione uma nova visão para o ensino de Física, na qual conteúdos da Física Contemporânea podem ser trabalhados, sem estarem carregados de ferramentas matemáticas (inadequadas para o Ensino Médio).

## REFERÊNCIAS

- ALCÁCER, L. **Física do estado Sólido**. 2013. Disponível em: [http://www.lx.it.pt/~alcacer/FisicaEstadoSolido\\_v4.pdf](http://www.lx.it.pt/~alcacer/FisicaEstadoSolido_v4.pdf). Acesso em: 11 abr. 2016.
- BRANÍCIO, P. S. Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini – revolução provocada pela redescoberta do  $MgB_2$ : uma abordagem didática. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.23 no. 4, São Paulo, Dez. 2001.
- CLARIM, R. de V. **Teoria de Landau-Ginzburg para o estado supercondutor nemático**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- COSTA, M. B. S; PAVÃO, A. C. Supercondutividade: um século de desafios e superação. **Revista Brasileira do Ensino de Física**. v. 34, n. 2, 2012.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física 3: eletromagnetismo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1993.
- MAYO, J. L. **Supercondutividade: O limiar de uma nova tecnologia**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.
- MORA, N. D. **Materiais Elétricos**. Apostila. Universidade Estadual do Estado do Paraná, Centro de Engenharias e Exatas. Foz do Iguaçu. 2010. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap1.pdf>. Acesso em: 11 abri. 2016.
- OSTERMANN, F.; PEREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.
- OSTERMANN, F.; PUREUR, P. **Supercondutividade**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.
- PEREIRA, S. H.; FÉLIX, M. G. 100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1313. 2013.
- PUREUR, P. Supercondutividade: cem anos de desafios. **Revista USP**, Brasil, n. 92, p. 142-156, fev. 2012.
- ROCHA, M. F. G. **Estudo sobre supercondutividade e suas aplicações**. 2010. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física). Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2010.

SANTOS, C. A. **O novo astro da supercondutividade**. 2010. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/do-laboratorio-para-a-fabrica/o-novo-astro-da-supercondutividade>>. Acesso em: 28 ago. 2008.

STUDART, N. Prêmio Nobel de Física em 2003: Supercondutividade e Superfluidéz – Manifestações de Efeitos Quânticos na Escala Macroscópica. **A Física na Escola**, v. 4, n. 2, novembro, 2003.

TAVARES, P. M. M. B. **Filmes finos supercondutores do sistema Bi-Sr-Ca-Cu-O obtidos por deposição química de vapores organometálicos assistida por aerossol**. 267 f. Tese (Doutorado em Química). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Portugal. 2000.

VAZ, O. H. de L. **Levitação magnética: uma aplicação no transporte**. 2009. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física). Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2009.