

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**O TEMA DA SUPERCONDUTIVIDADE NO NÍVEL MÉDIO:  
DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL HIPERMÍDIA FUNDAMENTADO EM  
EPISTEMOLOGIAS CONTEMPORÂNEAS**

**CARLA BEATRIZ SPOHR**

**Porto Alegre**

**2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**O TEMA DA SUPERCONDUTIVIDADE NO NÍVEL MÉDIO:  
DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL HIPERMÍDIA FUNDAMENTADO EM  
EPISTEMOLOGIAS CONTEMPORÂNEAS\***

**CARLA BEATRIZ SPOHR**

Dissertação realizada sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dra. Fernanda Ostermann e co-orientação do prof. Dr. Paulo Pureur, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre  
2008

---

\* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## AGRADECIMENTOS

### Agradeço

- à professora Dra. Fernanda Ostermann, por toda sua orientação, dedicação, atenção especial e paciência. Não só pela orientação, mas também pelas palavras de motivação e incentivo;

- ao professor Dr. Paulo Pureur pela sua receptividade;

- ao professor Dr. Cláudio José de Holanda Cavalcanti, por seu apoio, dedicação, atenção e paciência;

- ao Renato da Informática da UFRGS pela criatividade na confecção do *site*, pela atenção e paciência dispensadas para a compreensão das idéias que deveriam se transformar em animações;

- ao professor Jacob Schaff e sua equipe do laboratório de supercondutividade do IF - UFRGS, pela receptividade e auxílio na filmagem da manifestação da levitação magnética;

- aos inesquecíveis colegas da turma 2004 pela amizade, solidariedade e cumplicidade criada durante o curso;

- aos meus alunos do Colégio Frederico Jorge Logemann – 3G do ano 2006 pela receptividade.

Agradeço também a todos que indiretamente possibilitaram a finalização desse trabalho:

- à Cristina pela carinhosa acolhida em seu lar nas madrugadas de sexta-feira;

- à Joana pelas dicas quanto ao uso do *office* para que todos os trabalhos do mestrado pudessem ter sido realizados;

- ao Élton, Alessandro e Lucas pelo suporte técnico imprescindível para que os trabalhos pudessem ter continuidade;

- aos meus pais José e Helena pelo amor incondicional;

- à Júlia pela compreensão de minha ausência;

- ao Luís por todo seu apoio, seu amor.

Às pessoas que Deus colocou em meu caminho:

Luís, meu amor e companheiro de todas as horas,  
os meus pais que são sábios e  
a minha filha, que quer ser.

“Nada na vida deve ser temido, somente compreendido”.

(Marie Curie)

## RESUMO

Neste trabalho descrevemos a concepção e o desenvolvimento de uma página na *Internet* sobre o tema da supercondutividade, bem como o uso e avaliação da página como instrumento de ensino em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Frederico Jorge Logemann em Horizontina/RS. Para esse desenvolvimento, foram necessários alguns recursos de hipermídia e a página representa o produto educacional da dissertação. A implementação do tema deu-se à luz de epistemologias contemporâneas que problematizam visões ingênuas sobre a natureza da ciência. Para tanto, destacam-se as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977) devido à sua relevância no ensino de física, com ênfase na principal convergência existente entre essas visões de ciência: a oposição ao empirismo-indutivismo. Como referencial teórico psicológico, utilizamos a psicologia sócio-histórica de Vygotsky para uma maior compreensão do processo ensino-aprendizagem envolvido no presente projeto. Avaliamos a implementação do projeto a partir de instrumentos que tornaram evidentes a aprendizagem significativa dos alunos sobre o tema. A metodologia utilizada durante as aulas, em que o assunto foi abordado, foi basicamente pautada na utilização da página desenvolvida para essa finalidade, bem como na realização de atividades experimentais, por parte dos alunos, para que pudessem visualizar a parte prática envolvida na montagem do experimento e os resultados encontrados. A partir das animações disponíveis no material didático, a idéia foi promover compreensão do fenômeno e suas conseqüências. A página elaborada e fundamentada em epistemologias contemporâneas mostrou-se um material didático capaz de envolver o estudante em discussões relevantes sobre as propriedades dos materiais supercondutores, suas aplicações, bem como sobre o aspecto epistemológico abordado, percebidos através das opiniões emitidas pelos alunos durante as aulas, pelo interesse demonstrado no decorrer do processo e pelo seu desempenho em testes de conhecimento.

**Palavras-chave:** supercondutividade, epistemologia, Ensino Médio.

## ABSTRACT

In this work we describe the conception and development of a webpage about superconductivity, as well as its implementation in a third high school grade of Frederico Jorge Logemann school., in Horizontina/RS. In order to make this development were needed some hypermedia resources and the webpage represents the educational product of this dissertation. The implementation of the theme is the result of contemporary epistemologies that question naive views about the nature of science. Thus, we consider the epistemologies of Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1978) and Laudan (1977) because of their relevance in Physics teachings, emphasizing the principal convergence that exists among these theories: the opposition to the empiricism-inductive theory. As a theoretical psychological framework, we used the social-historical psychology of Vygotsky to a better comprehension of the learning-teaching process involved in this work. We have evaluated the implementation of the project from instruments that make evident the students' meaningful learning about the theme. The methodology used during the classes, which approached the subject, was based, basically, on the utilization of the webpage developed to this end, as well as on the achievement of experimental activities, by the students, in order to see the practical part involved in the experiment assembling and the results that were found in it. From the animations that were available in the didactic materials, the idea was to promote the comprehension of the phenomenon and its consequences. The webpage that was made and based on the contemporary epistemologies appeared unveiled a didactic material that is able to involve the student in relevant discussions about the properties of the superconductor materials, their applications, as well as about the epistemological aspect that was approached, all this data was realized throw the students' opinion during the classes, by their interest showed during the process and by their performance in knowledge tests.

**Key Words:** superconductivity, epistemology, High school

## LISTA DE FIGURAS

Figura1. Página inicial do material construído para o ensino do tema da supercondutividade. ....	134
Figura 2. Modelo de metal.....	135
Figura 3. Animação da velocidade de arraste dos elétrons no interior de um condutor metálico quando submetido a uma diferença de potencial elétrico. ....	136
Figura 4. Gráfico $\rho \times T$ de um condutor real.....	136
Figura 5. Gráfico $\rho \times T$ de um condutor real comparado a um condutor ideal.....	137
Figura 6. Gráfico $\rho \times T$ de um supercondutor.....	138
Figura 7. Tabela periódica.....	138
Figura 8: Mudança resistiva do $MgB_2$ .....	140
Figura 9. Estrutura cristalina do $MgB_2$ .....	141
Figura 10. Estrutura cristalina do fullereno.....	141
Figura 11. Animação do experimento de Oersted.....	143
Figura 12. Linhas de campo – Lei de Lenz.....	143
Figura 13. Indução magnética em um corpo diamagnético.....	144
Figura 14. Distribuição do campo magnético resultante de um corpo diamagnético .....	145
Figura 15. Comportamento magnético de um condutor perfeito. ....	146
Figura 16. Comportamento magnético de supercondutor. ....	146
Figura 17. Vídeo – Demonstração do efeito Meissner. ....	147
Figura 18. Linhas de campo magnético resultante de um ímã próximo da pastilha no estado supercondutor.....	148
Figura 19. Diagrama de fases do sistema sólido-líquido-gasoso. ....	149
Figura 20. Diagrama de fase de um supercondutor. ....	150



Figura 21. Analogia dos dominós.....	151
Figura 22. Animação dos pares de Cooper.....	152
Figura 23. Analogia dos dominós – efeito cascata.....	152
Figura 24: Analogia dos colchões. ....	153

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Livros de Física para o Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – Ministério da Educação e Cultura. ....	39
Tabela 02: questão 1 – item 3. ....	61
Tabela 03: questão 3 – item 3. ....	62
Tabela 04: questão 4 – item 3. ....	64
Tabela 05: questão 5 – item 3. ....	65
Tabela 06: questão 6 – item 3. ....	66
Tabela 07: questão 7 – item 3. ....	68
Tabela 08: questão 3 – item 4. ....	71
Tabela 09: questão 1 – item 5. ....	73
Tabela 10: questão 3 – item 5. ....	75
Tabela 11: questão 1 – item 6. ....	77
Tabela 12: questão 3 – item 6. ....	79
Tabela 13: questão 1 – item 7.2. ....	82
Tabela 14: questão 2 – item 7.2. ....	83
Tabela 15: questão 3 – item 7.2. ....	84
Tabela 16: questão 6 – item 7.2. ....	86
Tabela 17: questão 1 – item 7.3. ....	88
Tabela 18: questão 2 – item 7.3. ....	89
Tabela 19: questão 3 – item 7.3. ....	90
Tabela 20: questão 1 – item 8. ....	92
Tabela 21: questão 4 – item 8. ....	93
Tabela 22: questão 1 – item 9. ....	94
Tabela 23: questão 2 – item 9. ....	95

Tabela 24: questão 3 – item 9.....	96
Tabela 25: questão 4 – item 9.....	97
Tabela 26: questão 5 – item 9.....	98
Tabela 27: Questionário inicial – questão A.....	101
Tabela 28: Questionário final – questão A.....	107
Tabela 29: Questionário final – questão B.....	108
Tabela 30: Questionário final – questão C.....	110
Tabela 31: Questionário final – questão D.....	111
Tabela 32: Questionário final – questão E.....	112
Tabela 33: Questionário final – questão F.....	114

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Definição do problema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	15
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4 Contexto</b> .....	<b>17</b>
<b>1.5 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>18</b>
<b>2 ESTUDOS RELACIONADOS</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 Estudos relacionados à FMC no Ensino Médio</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 FMC no Ensino Médio .....	20
2.1.2 FMC na formação de professores .....	27
2.1.3 Atividades experimentais propostas para a compreensão de fenômenos referentes aos temas de FMC .....	29
<b>2.2 A teoria dos supercondutores em publicações dirigidas para professores     e alunos do Ensino Médio</b> .....	<b>32</b>
2.2.1 Livros dirigidos a professores .....	33
2.2.2 Artigos publicados em revistas para professores de Física ou de áreas afins .....	35
2.2.3. Artigos publicados em revistas de divulgação científica.....	36
<b>2.3 O Fenômeno da Supercondutividade em livros didáticos de Física do     Ensino Médio</b> .....	<b>38</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1 Popper</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2 Kuhn</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3 Lakatos</b> .....	<b>47</b>
<b>3.4 Laudan</b> .....	<b>49</b>
<b>3.6 Psicologia sócio-histórica de Vygotsky</b> .....	<b>52</b>
<b>4 PROCEDIMENTOS E IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO</b> .....	<b>54</b>
<b>4.1 Metodologia de ensino</b> .....	<b>54</b>
<b>4.2 Conteúdos propostos na página para o ensino da supercondutividade no     nível médio</b> .....	<b>56</b>
<b>4.3 Implementação (descrição das aulas)</b> .....	<b>57</b>

<b>5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>100</b>
<b>5.1 Questionário inicial .....</b>	<b>101</b>
<b>5.2 Questionário final .....</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE 01 - Questionários (inicial e final) .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE 02 - Descrição do produto educacional.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE 03 - Roteiro da aula experimental .....</b>	<b>157</b>

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Definição do problema

Os currículos de Física nas escolas brasileiras em geral refletem uma pobreza conceitual que se manifesta na divisão dos conteúdos em blocos que seguem basicamente a seqüência dos capítulos nos livros didáticos tradicionais: mecânica, física térmica, ondas, óptica e eletromagnetismo. É comum que o ensino de Física se reduza apenas à cinemática (muitas vezes, quase todo o primeiro ano do Ensino Médio é dedicado a esse tópico), leis de Newton, termologia, óptica geométrica, eletricidade e circuitos simples. Dessa forma, toda a Física desenvolvida a partir do século XX fica excluída (Ostermann, 2000). Entretanto, são muitas as vezes em favor de uma atualização curricular em Física no Ensino Médio brasileiro, visando a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nesse currículo.

Em vários países desenvolvidos, já foi superada a etapa de “levantamento de justificativas” para a inserção de FMC e seus sistemas escolares contemplam nos currículos, quase sem exceção, o tratamento de tópicos modernos. Já há algum tempo, vários materiais didático-pedagógicos vêm sendo desenvolvidos com esse enfoque. No Brasil, esse movimento intensificou-se a partir da década de noventa. No entanto, ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a problemática sob a ótica do ensino e, mais reduzido ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização (Ostermann e Moreira, 2000). Sendo assim, apresentamos a aplicação de um tema de FMC, testado em sala de aula, em que verificamos na prática seus sucessos e deficiências. Os recursos utilizados para

a introdução do tema foram elaborados de maneira crítica e com o comprometimento de atualizar e melhorar o ensino de Física do nível médio empregando materiais didáticos preparados especialmente para essa finalidade.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 20 de dezembro de 1996<sup>1</sup>, contemplando a atualização curricular coloca, por exemplo, como objetivos para o Ensino Médio o destaque à educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência e o domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna. Particularmente, quanto à área de “Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias”, na qual se insere a disciplina de Física, os Parâmetros Curriculares Nacionais<sup>2</sup> ressaltam que as disciplinas científicas têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e propõem uma atualização de conteúdos que proporcione aos alunos as condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada (Ostermann e Ricci, 2002). Não se trata apenas de listar novos conteúdos, mas de dar ao ensino de Física novas perspectivas, ou seja, promover uma aprendizagem significativa, contextualizada e integrada à vida do indivíduo. Desse modo, o aprendizado em Física irá estimular o jovem a acompanhar notícias científicas e identificar o assunto que está sendo tratado e investigar seu significado. O ensino de Física é indispensável à formação do cidadão contemporâneo e, dessa maneira, espera-se que o mesmo contribua para que o indivíduo interprete fatos, fenômenos e processos naturais, percebendo a participação do ser humano na construção do entendimento do mundo físico.

Vê-se, portanto, que também do ponto de vista da nova legislação, há uma tendência de promover a renovação curricular, buscando-se, no conhecimento científico recente, subsídios para o aluno entender o mundo criado pelo homem atual. É essencial que o conhecimento seja transmitido de maneira contextualizada e histórica, associando-o a todas as formas de expressão e produção humana.

---

<sup>1</sup> Estudos nº 17. Revista da Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Ano 14. n. 17. Brasília, 20 de dezembro de 1996.

<sup>2</sup> Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), Parte III, 1999.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Através da introdução de um tópico da FMC no Ensino Médio, o fenômeno da supercondutividade, espera-se que os alunos identifiquem a importância da Física no mundo moderno. Portanto, pretende-se desenvolver um material hipermídia que possa ser utilizado como recurso pedagógico para inserção do tema da supercondutividade nas aulas de Física no nível médio e avaliar a aprendizagem dos alunos da turma. Sabe-se que a FMC, em especial, traz à tona a idéia de que a Ciência está em constante construção, desmistificando a idéia de que as teorias científicas são definitivas e o conhecimento científico é meramente cumulativo.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Pretende-se conceber e desenvolver um material hipermídia sobre supercondutividade<sup>3</sup> juntamente com uma equipe de apoio. Esse material divide-se em alguns tópicos que descrevem aspectos históricos, teoria dos supercondutores e uma seção dirigida especialmente para alunos de Ensino Médio. Esta seção se constitui no produto educacional da dissertação, sendo planejada para que pudéssemos implementar o tema da supercondutividade nas aulas de Física em turmas do terceiro ano do nível médio (Apêndice 02: Descrição do produto educacional). Após a concepção e implementação do material, pretende-se observar o tema da supercondutividade em sala de aula à luz de epistemologias contemporâneas, tendo como principal recurso pedagógico a página desenvolvida e, finalmente, busca-se avaliar a implementação do projeto a partir de instrumentos que evidenciem aprendizagem significativa dos alunos sobre o tema.

---

<sup>3</sup> O desenvolvimento da página também faz parte de um projeto maior que, entre outros objetivos, visa divulgar materiais didáticos sobre supercondutividade na *internet*. Tal projeto conta com suporte técnico em informática e insere-se no PRONEX do Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo do IF – UFRGS (coordenação: Prof. Dr. Paulo Pureur).



### 1.3 Justificativa

Existem vários temas de FMC que podem ser estudados no Ensino Médio. Dentre estes optou-se pelo fenômeno da supercondutividade, que apresenta vários atrativos que justificam sua escolha como tópico a ser ensinado nesse nível de ensino. Há uma ênfase curricular importante no ensino da Física, que trata da “educação sobre ciência” e que está expressa em muitos aspectos das “Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais” (PCN<sub>+</sub>)<sup>4</sup>. Essa tendência considera fundamental que os alunos aprendam os conhecimentos científicos no contexto de seu desenvolvimento histórico e que os utilizem no exercício pleno de sua cidadania. O fenômeno da supercondutividade está relacionado à impressionante revolução tecnológica que é presenciada neste início de século, ilustrando, portanto, uma série de aplicações potencialmente motivadoras para os alunos. Esse tópico da Física Moderna permite também que seja feita uma atividade demonstrativa: em particular, é possível demonstrar o fenômeno da levitação magnética com uma pastilha de supercondutor de alta temperatura crítica, um pequeno ímã e um pouco de nitrogênio líquido, permitindo que os alunos “vejam” o fenômeno e não apenas tenham que abstrair conceitos puramente teóricos. Por outro lado, esse tópico, para ser compreendido em seus diferentes aspectos, envolve áreas da Física Clássica já trabalhadas na escola, tais como Termodinâmica e Eletromagnetismo, bem como conceitos não abordados nesse nível de ensino. Dentre esses estão conceitos básicos de Mecânica Quântica e noções de Física do Estado Sólido. Essa articulação permite que o tema seja apresentado a partir de princípios físicos usualmente tratados e aos quais são incorporados conceitos mais avançados, de uma forma “explicativa”. Essa integração entre diferentes áreas da Física é também uma preocupação das novas orientações curriculares, que propõem uma releitura das áreas tradicionalmente trabalhadas, estabelecendo que competências e habilidades se desenvolvam por meio de ações concretas referentes a temas estruturadores. Nesse caso, a supercondutividade insere-se, naturalmente, no tema estruturador “Matéria e Radiação” (PCN<sub>+</sub>), em que está contemplada a necessidade de proporcionar aos estudantes uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria e os diferentes modelos de explicação propostos.

---

<sup>4</sup> Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN<sub>+</sub>), MEC-SEMTEC, 2002.

Justifica-se, igualmente, o desenvolvimento de uma proposta, visando a elaboração de materiais didáticos em português, sobre o tema da supercondutividade e sua disponibilidade na *internet* para que possam servir de subsídios para inovações curriculares em escolas de Ensino Médio.

#### **1.4 Contexto**

O projeto foi desenvolvido no Colégio Frederico Jorge Logemann situado em Horizontina (Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul), com dezenove alunos do terceiro ano do Ensino Médio, no segundo semestre do ano de 2006. O Colégio Frederico Jorge Logemann faz parte da Rede Sinodal de Educação. Na estrutura física do mesmo estão instaladas a estrutura administrativa e salas de aula da Faculdade Horizontina – FAHOR, uma faculdade especializada em agronegócio.

Convém registrar que o Colégio:

- oferece educação infantil, ensino fundamental, ensino médio, técnico em mecânica, técnico em contabilidade, técnico em informática, Sinodal Idiomas;

- conta com uma estrutura física que contempla: laboratórios de ciências e de informática, salas para oficinas, auditório, restaurante, ginásio de esportes, pista de atletismo, salas especiais, biblioteca, capela;

- conta com mais de 600 alunos e um corpo docente integrado por 45 professores de diferentes especialidades;

- possui um laboratório de Física equipado com “kits” adquiridos de empresas como CIDEPE e AZEHEB, bem como com equipamentos alternativos feitos por professores e alunos. No mesmo está disponível um microcomputador para uso de simulações computacionais;

- possui três laboratórios de informática. Os laboratórios L1 e L3 são próximos um do outro, separados por uma parede de vidro, possibilitando que turmas maiores possam utilizá-los (cada um conta com doze computadores). O laboratório L2 (utilizado para a implementação do projeto) conta com treze computadores adquiridos recentemente, sendo que a agilidade na utilização dos mesmos é excelente. Os laboratórios são utilizados em horário de aula com turmas de Ensino Fundamental, Médio e Técnico. Nos horários livres todos os

computadores ficam disponíveis aos alunos. Para implementação do projeto, os horários das aulas de Física foram planejados para que o laboratório de informática L2 estivesse disponível. Os computadores disponíveis no laboratório L2 possuem a seguinte configuração: OptiPlexGX170 Dell; Pentium 4 1,5GHz; 512MB de RAM; HD 40 GB; Monitor CRT 15” tela semi-plana. Conforme citado anteriormente, na estrutura física do colégio estão instaladas a estrutura administrativa e salas de aula da Faculdade Horizontina – FAHOR, sendo que esta disponibiliza um laboratório de informática (L4) com 20 computadores para os acadêmicos dos cursos de Engenharia de Produção e de Economia. Os computadores disponíveis no laboratório L4 possuem a seguinte configuração: OptiPlex GX270 Dell; Pentium 4 HT 2.8 GHz; 1GB de RAM; Vídeo GeForce FX 5200 – 128MB; HD 40GB; Monitor CRT 17” tela semi-plana;

- dispõe de uma biblioteca com espaço amplo, onde estão disponíveis dois microcomputadores conectados à *internet* e um bom acervo de livros de Física para Ensino Médio, revistas de jornalismo científico, jornais, enciclopédias;

- as salas de aula possuem boa iluminação e ventilação. Os alunos do Ensino Médio diurno utilizam as salas de aula das turmas da FAHOR – com cadeiras estofadas e climatizador.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

Além do presente capítulo, no qual é apresentada a definição do problema, a justificativa, os objetivos do estudo e o contexto no qual o produto educacional foi aplicado, esta dissertação está composta por mais cinco capítulos.

No capítulo 2, apresentam-se os estudos feitos sobre FMC no Ensino Médio de Física, especialmente os que tratam do tema da supercondutividade nesse nível de ensino. Discute-se também a abordagem do tema da supercondutividade nos livros de Física aprovados pelo MEC e outros que se encontram no mercado.

No capítulo 3, discute-se a principal convergência entre as epistemologias de Popper, Lakatos, Kuhn e Laudan – epistemologias relevantes para o ensino de Física. Também se apresenta a psicologia sócio-histórica de Vygotsky – teoria sócio-interacionista que nos auxilia na compreensão de como a aprendizagem pode

ser promovida em sala de aula.

No capítulo 4, são apresentados os procedimentos para implementação do projeto em sala de aula, ou seja, a metodologia utilizada, a descrição das aulas, os conteúdos propostos para o ensino de supercondutividade no nível médio.

No capítulo 5, descrevem-se os resultados encontrados e a avaliação dos resultados obtidos a partir da aplicação do projeto.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões sobre o processo de elaboração e implementação do projeto. Discute-se sobre as implicações do estudo para o ensino e a aprendizagem de Física no Ensino Médio.

## **2 ESTUDOS RELACIONADOS**

No presente capítulo é apresentada a revisão feita sobre a apresentação de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio de Física, realizada a partir da consulta em revistas de ensino de ciências, artigos em revistas de divulgação científica, livros didáticos. Procurou-se classificar os trabalhos encontrados em três grandes grupos. Inicialmente, apresentam-se estudos que abordam FMC no Ensino Médio. Após, discutem-se os estudos que tratam do tema da supercondutividade nesse nível de ensino e, posteriormente, destaca-se a abordagem do tema da supercondutividade em livros didáticos aprovados pelo MEC.

O presente estudo concentrou-se em publicações nacionais que tratam a questão da FMC no Ensino Médio a partir do ano de 2001 até 2007.

### **2.1 Estudos relacionados à FMC no Ensino Médio**

Procurou-se destacar três aspectos nas referências consultadas:

- FMC no Ensino Médio;
- FMC na formação de professores;
- Atividades experimentais propostas para a compreensão de fenômenos referentes aos temas de FMC.

#### **2.1.1 FMC no Ensino Médio**

Inicialmente, é interessante destacar uma carta ao editor da Revista Brasileira de Ensino de Física, escrita por Pena (2006), que justifica a necessidade da inserção de tópicos e idéias de FMC na sala de aula citando artigos escritos por diversos autores que levantam inúmeras razões para introdução do tema no nível médio de ensino. Dentre elas, destacam-se:

- a descrição e comparação dos fenômenos naturais com base numa fundamentação microscópica;

- a compreensão do funcionamento de aparelhos, artefatos e fenômenos cotidianos;
- a formação de cidadãos que possam contribuir nas modificações do mundo criado pelo homem atual;
- o despertar da curiosidade, desmistificando a Física como uma ciência distante da compreensão dos estudantes;
- a atração de jovens para carreira científica, atuando como pesquisadores e/ou professores;
- o conhecimento dos fundamentos da tecnologia atual;
- a ligação entre a Física da sala de aula e a Física do cotidiano;
- a compreensão de fenômenos inexplicáveis pela Física Clássica;
- a melhoria da qualidade de ensino de Física nas escolas pela possibilidade de instigar os estudantes a pesquisar assuntos que são lidos por eles em revistas de divulgação, jornais ou na *Internet*.

Ricardo e Zylbersztajn (2002) analisam alguns documentos que norteiam o Ensino de Ciências no Brasil, tais como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que prevê uma nova identidade para o ensino. A partir desta lei foram elaboradas as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM). Uma vez identificada a necessidade de mudanças, foram elaborados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), a fim de orientar a apresentação de todas as disciplinas obrigatórias no Ensino Médio. Os autores fazem uma pesquisa com um grupo de professores de Ensino Médio (da área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias) e da equipe diretiva da escola para verificar as mudanças que foram feitas, ou que estão sendo feitas, a partir da proposta presente nos PCNs. Os autores também visam identificar as condições dadas aos professores para discussão e apreensão das idéias contidas nesses documentos. Os autores percebem que grande parte dos entrevistados na pesquisa destaca que pouco mudou a partir das orientações feitas pelos PCNs. Porém, os entrevistados ressaltam que há intenção de mudar sua prática buscando alternativas didáticas que se aproximam das diretrizes contidas nos documentos oficiais. Esses profissionais

se sentem desamparados em relação aos órgãos oficiais e despreparados para compreender e aplicar as propostas de reforma do Ensino Médio.

Medeiros (2007) cita alguns argumentos sustentados por aqueles que têm se colocado contra a necessidade do ensino da FMC e as respectivas refutações a esses argumentos:

Os argumentos daqueles que têm se colocado contra esta introdução têm variado desde a dificuldade causada pelo caráter abstrato dos conceitos na física moderna, da profunda matematização de seus conteúdos até a situação vexatória em que se encontra atualmente o próprio ensino da física clássica nas escolas (MEDEIROS, 2007, p. 41).

Aos três argumentos contrários à introdução de FMC no ensino de Física, Medeiros rebate o primeiro, admitindo a existência do caráter abstrato dos conceitos de Física Moderna. Porém, apresenta exemplos de abstrações existentes no ensino de Física Clássica, tais como o conceito de inércia, que violenta o senso comum do estudante e, ainda assim, é ensinado sem preocupações com as abstrações necessárias. O segundo argumento é considerado um exagero, pois o que se pretende ensinar de FMC aos alunos do nível médio não é a matematização e sim as idéias revolucionárias de seus conceitos e leis. Assim, esse ensino pode ser feito apenas de forma introdutória, dando ênfase às discussões conceituais envolvidas. A refutação ao terceiro argumento contrário à introdução de FMC é ainda mais simples: não é possível antever o fracasso da introdução de temas novos a partir do fracasso do ensino da Física Clássica. O autor destaca que para se obter uma melhoria no Ensino de Física de modo geral é necessário realizar uma atualização curricular baseada no bom senso, adequando-se os conteúdos ao nível de compreensão esperada do aluno.

Brockington e Pietrocola (2005) propõem que os professores de Física, os autores de livros didáticos, os formuladores de programas curriculares, os dirigentes de escolas e aos pais de alunos busquem uma “nova rota” para um novo saber escolar, avaliado em termos do sucesso que este poderá proporcionar no sentido de entendimento, prazer e significação. Essa “nova rota” está direcionada à introdução de conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio, em que os autores observam dois grupos de propostas de ensino. Uma destas linhas contempla profundo domínio conceitual dos tópicos discutidos, bem como do formalismo matemático necessário. Esse limite é inacessível à maioria dos professores de Física devido a sua formação deficitária. Outra linha de proposta se aproxima das exigências didáticas atuais,

conduzindo o ensino de FMC nos mesmos moldes do ensino da Física Clássica, em que predomina a criação de exercícios apresentados em livros didáticos tradicionais:

Do acima exposto, poderia parecer que a discussão sobre a introdução de conteúdos das modernas teorias nos currículos de Física se encaminha para um impasse. No entanto, pode-se contornar esse impasse através da realização de escolhas, que inevitavelmente determinarão direções a serem seguidas na implementação da transposição didática. Isso implicaria em supressão de alguns conteúdos/ênfases em benefícios de outros (BROCKINTON E PIETROCOLA, 2005, p. 14).

Ostermann e Moreira (2001) descrevem uma experiência de ensino-aprendizagem de dois tópicos de Física Moderna em escolas de Ensino Médio de Porto Alegre. Iniciou-se a experiência a partir de um levantamento de tópicos de FMC que deveriam ser ensinados no Nível Médio na opinião de físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física de Ensino Médio. Esta consulta resultou na indicação de dois tópicos que, posteriormente, foram inseridos: partículas elementares e supercondutividade. Após essa identificação, foram preparados materiais didáticos sobre cada tema – redação de textos, confecção de um pôster sobre as partículas elementares e as interações fundamentais e a demonstração da levitação magnética. Acadêmicos do curso de Licenciatura em Física da UFRGS foram preparados para introduzirem os tópicos contemporâneos em seus estágios, sendo incentivados a desenvolver um texto para alunos de Ensino Médio sobre cada tópico. O período de estágio de cada acadêmico foi avaliado através de observação de aulas, relatórios e entrevistas. Já os alunos de Ensino Médio foram avaliados através de questionários. A experiência mostrou que é viável ensinar FMC no Ensino Médio, desde que haja preocupação com uma abordagem conceitual da Física. Os autores comprovaram na prática aquilo que fala a literatura: tópicos de FMC motivam os alunos para a aprendizagem de Física. Finalmente, os autores julgam fundamental a preparação adequada dos futuros professores, bem como a formação continuada dos profissionais que já atuam em sala de aula, para que a tarefa de inovação curricular seja bem sucedida.

Schulz (2007) apresenta sugestões que possibilitam perceber a nanociência como uma atividade humana acessível a todo cidadão, sendo que seus conceitos podem ser abordados na escola ou em casa com auxílio de materiais de baixo custo. O autor inicia mostrando ao leitor a facilidade que se tem de lidar com medidas relacionadas aos objetos que são manipuladas no dia-a-dia. Esta facilidade contrasta com a dificuldade em identificar as dimensões de coisas muito grandes,



como por exemplo, a altura de uma montanha. Ainda nessa mesma linha de considerações, Schulz destaca as dificuldades que existem na interação com objetos ou fenômenos muito pequenos. Em outro momento o autor apresenta sugestões de atividades que levam o estudante a manusear objetos que estão normalmente à sua volta, levando-o naturalmente ao processo de medições de objetos micrométricos.

Marques e Silva (2005) apresentam uma proposta de introdução da FMC no Ensino Médio através de projetos paralelos durante todo o ano letivo. Como exemplo, relatam uma experiência didática realizada em uma escola no Rio de Janeiro, que teve início com estudos preparatórios para alunos inscritos na V OBA – Olimpíada Brasileira de Astronomia. Foram abordados alguns assuntos de FMC envolvendo inicialmente a astronomia. Após, foram discutidos os seguintes temas: a) relatividade especial – espaço-tempo; b) teoria quântica – a natureza da luz: onda ou partícula; c) relatividade geral - espaço curvo; d) Física nuclear – processos nucleares dentro de estrelas, formação de elementos, usinas nucleares.

A contribuição de Ostermann e Cavalcanti (2001) foi no sentido de apresentar um pôster que vem a auxiliar na introdução da Física de partículas elementares. O objetivo da concepção do pôster é possibilitar aos professores e alunos uma visão atual da estrutura da matéria e contribuir, com o auxílio de outros recursos, na introdução do tema nas escolas de Ensino Médio.

Moreira (2004) também apresenta material de apoio para professores interessados em atualizar o currículo de Física do Ensino Médio através da introdução dos temas das partículas elementares e das interações fundamentais, utilizando-se da técnica dos mapas conceituais. O autor procura passar a idéia de que é preciso evitar ilustrações para que a imaginação do aluno não seja tolhida, impedindo a aprendizagem de certos conceitos. “Com habilidade didática, talvez se possa transmitir aos alunos a idéia de um assunto excitante, colorido, estranho e charmoso, ao invés de difícil e enfadonho”. (Moreira, 2004, p. 10).

Ainda a respeito da compreensão das partículas elementares que compõem a matéria, Abdalla (2005) aborda o aspecto histórico da descoberta das partículas, representando-as artisticamente para amenizar o formalismo existente na teoria, tornando o assunto acessível à compreensão de alunos do Ensino Médio.

Machado et al (2006) fazem uma breve exposição da existência da anti-matéria e sua aplicação na medicina, na chamada tomografia por emissão de pósitrons (PET) e chamam a atenção de que, nos dias atuais, os constituintes do núcleo atômico são cada vez mais utilizados em hospitais e também na indústria, reforçando a idéia da necessidade de inserir o ensino da Física de Partículas no Nível Médio.

Uma das grandes dificuldades no ensino e aprendizagem da Física é a ausência de possíveis aplicações de seus conceitos teóricos. O exemplo descrito neste artigo pode ser um incentivo ao aprendizado desses conceitos para o público em geral e, especificamente, para que alunos de Ensino Médio e graduação compreendam as possíveis aplicações da pesquisa básica em física (MACHADO et al, 2006, p. 414).

Costa e Costa (2002) citam a saúde pública como um campo beneficiado pelo advento da Física Contemporânea, em particular pela descoberta dos raios-X. Esses autores pesquisam como este tópico é abordado nos cursos de formação de auxiliares de enfermagem e atendentes de consultórios odontológicos e propõem uma metodologia de ensino relacionando aspectos de prevenção e tecnologia da Física das radiações, possibilitando uma atuação consciente desses futuros profissionais.

Karam et al, (2006) relatam uma prática realizada em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio que aborda tópicos da teoria da relatividade restrita. Os autores selecionam especificamente o conceito de tempo, relacionando-o com a velocidade e a dependência do referencial, características do tempo relativístico, iniciando a implementação do tema logo após a abordagem dos conceitos clássicos no estudo da Cinemática. Discutem-se os resultados de um pré-teste e, após discussões promovidas em aula em que o professor atuou como mediador, levantando questões relevantes e interpondo questões de natureza lógica e procurando evitar responder diretamente às questões propostas, os alunos são levados às conclusões necessárias. Apostou-se na diversidade, conflitos e criatividade para que, durante o processo educacional, os alunos pudessem analisar o tempo de outra maneira que não fosse somente relacionado ao relógio.

Karam et al, (2007) apresentam alguns “episódios de ensino” para introdução da teoria da relatividade restrita com alunos de primeiro ano do Ensino Médio. Inicialmente se propõe uma situação sem fornecer nenhuma explicação e os estudantes vão manifestando suas concepções. Ao todo, os autores propõem seis

episódios e na seqüência, um vai complementando o outro. No final de cada episódio surge a intervenção do professor. Essa metodologia de ensino foi abordada nas aulas de Física numa turma de primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Florianópolis, SC. Para constatar a assimilação dos conceitos trabalhados, ao iniciar o trabalho aplicou-se um pré-teste e, no final da seqüência didática, um pós-teste.

Kohnlein e Peduzzi (2005) apresentam um módulo didático baseado na temática histórico-filosófica da Teoria da Relatividade Restrita e a análise da implementação do mesmo em sala de aula. Os autores abordam aspectos epistemológicos do ensino de ciências, combatendo idéias empiristas-indutivistas apresentadas em livros didáticos. O módulo fundamentou-se na problematização inicial, organização e aplicação do conhecimento, tendo contribuído, sob o ponto de vista dos autores, para uma aprendizagem significativa dos estudantes sobre a natureza da ciência e da evolução do conhecimento científico. Apresenta-se a proposta como alternativa para tornar a Física mais atraente para o aluno pela possibilidade de implementação de atividades inovadoras no espaço escolar.

Ainda na Relatividade Restrita, Ostermann e Ricci (2002) discutem a abordagem de livros didáticos de Física para o Ensino Médio a respeito da contração de Lorentz-FitzGerald e a aparência visual de objetos relativísticos, com intenção de alertar sobre erros conceituais apresentados e que provocam má interpretação pelo leitor. As análises feitas pelos autores servem de auxílio para que autores de livros didáticos possam corrigir suas obras em futuras edições, bem como para aqueles que ainda não fizeram tal abordagem possam fazê-la, adotando todo rigor necessário e evitando erros conceituais.

Os artigos encontrados e classificados como FMC no Ensino Médio possuem caráter motivacional para que o professor-leitor possa interessar-se pelo tema, sentir-se seguro que sua aplicação promoverá modificações no ensino de Física nesse nível de ensino. Dos dezessete artigos analisados, cinco procuram justificar a introdução de tópicos de FMC no Ensino médio de Física, sendo sugeridos os temas: nanociência, astronomia, relatividade (geral e especial), teoria quântica, física nuclear, partículas elementares; cinco autores sugerem material de apoio para introdução do estudo de partículas elementares no nível médio e em cursos técnicos; quatro autores apresentam propostas para inserção de relatividade

restrita, sendo que duas propostas são específicas para alunos do primeiro ano do nível médio e os demais não especificam série; o tema da Supercondutividade é sugerido por apenas um autor, com proposta de aplicação do tema.

### 2.1.2 FMC na formação de professores

Lobato e Greca (2005) relatam um estudo sobre os currículos de Física de alguns países a respeito da Teoria Quântica (TQ), identificando os conteúdos selecionados. Os países pesquisados via *Internet* foram: Portugal, Espanha, França, Reino Unido, Dinamarca, Suécia, Canadá e Austrália. Na descrição dos currículos, os autores destacam informações referentes a conteúdos de TQ e a importância que o Ensino de Física representa em cada um dos países pesquisados. Identificam a presença de conteúdos relacionados à TQ nos programas oficiais de Ensino Médio e encerram o estudo questionando sobre a melhor maneira de ensinar TQ de modo a se evitar conceitos errôneos por parte de professores que tiveram uma formação deficiente sobre esses temas.

Rezende e Ostermann (2004) apresentam uma proposta de formação de professores de Física através de um ambiente virtual denominado InterAge. O curso de formação feito através do ambiente virtual integra o conteúdo específico com a prática pedagógica. As autoras apresentam o InterAge enfocando uma situação-problema específica: a abordagem de temas de FMC no Ensino Médio. Para tal são disponibilizados textos de apoio que procuram dar condições aos professores na transposição de conteúdos de FMC para o Ensino Médio. Também estão disponíveis textos que enfatizam os aspectos conceituais envolvidos nos temas de FMC, artigos que discutem a implementação do tema em sala de aula, materiais educativos e *softwares* livres.

O Ano Internacional da Física foi considerado por Schulz (2005) como um pretexto para um olhar atento em alguns aspectos da nanociência e da nanotecnologia. O autor inicia seu artigo com uma abordagem histórica da redução de tamanho dos relógios mecânicos que, inicialmente, eram medidos em metros. No decorrer de alguns séculos, embora o princípio físico para medir o tempo continuasse o mesmo, as peças foram miniaturizadas e passaram a ser medidas em milímetros. Na seqüência, é discutida a invenção do transistor e dos circuitos

integrados, chegando-se assim a um novo paradigma tecnológico: a microeletrônica. Chega-se ao nanômetro a partir da idéia da miniaturização de registros de letras impressas (os bits e suas dimensões). A seqüência histórica abordada pode ser utilizada para que professores preparem em uma abordagem inicial referente ao tema.

Ostermann, Prado e Ricci (2006) apresentam um *software* livre que simula o fenômeno da interferência em um aparato denominado de interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). Este é um dos experimentos mais cruciais para a compreensão de conceitos fundamentais em Física Quântica. A apresentação do *software* é justificada pela impossibilidade de realização da experiência real, que exige um aparato experimental muito sofisticado e de difícil reprodução em laboratórios didáticos. O *software* do IMZ tem sido utilizado em cursos de formação de professores no Instituto de Física da UFRGS.

Cavalcante et al (2002) apresentam uma prática pedagógica interdisciplinar, envolvendo professores de Filosofia, Matemática e Física na qual são utilizados recursos experimentais e computacionais para introdução do comportamento corpuscular da luz: o efeito fotoelétrico. Os autores propõem uma prática pedagógica aos professores de Física do Ensino Médio, apresentando inicialmente uma abordagem conceitual e histórica do efeito fotoelétrico. Posteriormente são feitos experimentos e simulações computacionais disponíveis na *Internet* acompanhados de debate em sala de aula por parte dos alunos. Nesses debates, parte da turma deve defender o comportamento ondulatório e a outra parte passará a defender o comportamento corpuscular da luz. O professor atua como mediador, mostrando as implicações, apontando soluções e dificuldades que poderão surgir ao longo do debate. As simulações computacionais e o experimento prático apresentado têm por objetivo determinar, aproximadamente, a constante de Planck.

Com o objetivo de conhecer a forma pela qual um ambiente hipermídia educacional aborda aspectos históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais e ambientais do ensino de Física Moderna, Machado e Nardi (2006) desenvolvem um *software* educacional, com ênfase na teoria da relatividade, destacando a idéia de equivalência entre massa e energia. Os autores apresentam algumas mudanças ocorridas durante a transição da Física Clássica para a Física Moderna. Apresentam também os princípios fundamentais e um breve histórico da teoria da relatividade, a

concepção da equivalência massa-energia com reações nucleares e o funcionamento das usinas nucleares. Discutem ainda acidentes radioativos, bombas atômicas e armas nucleares. O conteúdo está organizado de acordo com a teoria da aprendizagem de Ausubel e a metodologia dos programas de pesquisa de Imre Lakatos. O *software* desenvolvido por Machado e Nardi foi avaliado por pesquisadores de ensino de Física e licenciados em Física e o recurso pedagógico resultante foi testado em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública. A integração de hipermídia com a história e filosofia da ciência e a teoria da aprendizagem de Ausubel foi considerada como bem sucedida.

Ostermann e Ricci (2004) relatam a implementação de uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica, onde apresentam os resultados alcançados, bem como uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas durante as aulas ministradas na disciplina de “Tópicos de Física Moderna e Contemporânea I” de uma turma do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sintetizando, dos sete artigos analisados, um possui caráter informativo para que o professor perceba que também em nível mundial existe uma forte tendência de ensinar FMC no nível médio; o segundo artigo analisado informa sobre um ambiente virtual onde o profissional (em exercício ou em formação) pode interagir e aprofundar seus conhecimentos com outros profissionais para facilitar a introdução dos temas em questão em turmas de Ensino Médio; cinco autores propõem a professores em exercício metodologia para introdução de alguns temas, tais como: nanociência, física quântica, efeito fotoelétrico, relatividade, mecânica quântica. De todas as propostas, apenas uma indica a implementação em turmas de terceiro ano de nível médio, sendo as demais classificadas a critério do professor.

### 2.1.3 Atividades experimentais propostas para a compreensão de fenômenos referentes aos temas de FMC

Cavalcante e Tavolaro (2001) enfocam a problemática da introdução de FMC no Ensino Médio através de seu estudo e planejamento didático, até a execução de atividades experimentais que visam uma melhor compreensão dos fenômenos da

interferência e difração, bem como o comportamento corpuscular da radiação, fornecendo aos professores de Física os subsídios necessários para a inserção desses tópicos em suas aulas. Cavalcante e Tavolaro oferecem oficinas para professores de Física e alunos de graduação e pós-graduação. As autoras tratam a Física Contemporânea como complementação à Física Clássica, pois abordam os limites entre a ótica geométrica e a ótica física:

Num primeiro momento mostramos a natureza ondulatória da luz, realizando experiências de interferência e difração utilizando lanternas, cílios postiços e CDs, como um instrumento para a decomposição da luz. A natureza corpuscular foi evidenciada utilizando sensores de calculadoras solares, enfim, experiências que permitem desmistificar muitos aspectos do cotidiano do estudante(CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001, p. 299).

Cavalcante et al (2005) apresentam alguns experimentos de baixo custo que permitem ao professor introduzir a Física Moderna no Ensino Médio através da discussão do conceito de *quantum* de energia, enfocando a caracterização das radiações que compõem o espectro eletromagnético. Tais propostas experimentais permitem determinar a constante de Planck através de dois métodos distintos (formas discretas de emissão e absorção de radiação, bem como a emissão e absorção característica de LEDs - *light emission diode*), permitindo análise do funcionamento de dispositivos semicondutores.

Catelli e Pezzini (2002) propõem a construção de um espectroscópio portátil. Este dispositivo decompõe a luz branca. O elemento dispersor utilizado foi um CD. Mostram, passo-a-passo, como se constrói o espectroscópio utilizando material de baixo custo e também dão dicas de utilização do equipamento para visualização da dispersão da luz produzida por grande variedade de fontes de luz.

Lopes e Laburú (2001) descrevem a demonstração do fenômeno da difração para alunos do Ensino Médio, cuja utilização permite a determinação do diâmetro de um fio de cabelo e a largura das “fendas” de uma tela de serigrafia. Os autores descrevem a construção do arranjo experimental que utiliza a técnica de difração por obstáculo, os procedimentos necessários para a execução do experimento, bem como os resultados experimentais encontrados. Concluindo o trabalho, os autores discutem os erros experimentais fazendo comparações com medidas feitas em micrômetros. Os autores concluem que o aparato experimental é mais eficiente que o micrômetro, que fornece medidas de objetos macrométricos com elevada margem de erro. Os materiais utilizados têm ótima relação custo-

benefício e são de fácil obtenção para realização da montagem necessária para realização do experimento.

Cabe também citar o trabalho de Catelli e Vicenzi (2002), que propõem construção de equipamentos simples que permitem demonstrar o fenômeno da difração para alunos do Ensino Médio. Mostram possíveis adaptações em lasers de diodo para que as baterias fiquem mais duráveis e que o mesmo fique ligado continuamente (sendo o botão liga/desliga pressionado por equipamento adaptado para tal). Preocupam-se também que o foco do laser não fique tremido desviando-se do alvo a ser atingido – por exemplo, um fio de cabelo. Os autores sugerem a realização de experimentos que possibilitem medir o comprimento de onda do laser de diodo, utilizando como elemento dispersor um pedaço de CD. Tendo calculado o comprimento de onda do laser, é possível calcular o diâmetro de um fio de cabelo, de fios de nylon, cobre ou outro material disponível. Os autores também descrevem os passos para obter difração em fendas, em orifícios, bem como para obter o número de fios em telas de serigrafia, discos de vinil, CDs, penas de galinha. Todas as atividades foram testadas com alunos do Ensino Médio e em cursos de aperfeiçoamento para professores de Física.

Krapas e Santos (2002) apresentam simulações experimentais que permitem produzir simulações do efeito do céu azul e do pôr-do-sol avermelhado. Os autores apresentam quatro argumentos que justificam a execução da modelagem do espalhamento Rayleigh da luz. O primeiro argumento é histórico: Rayleigh teria tratado inicialmente o fenômeno do espalhamento da luz em forma de modelagem. O segundo é prático: o espalhamento pode ser simulado de maneira muito simples. O terceiro é didático: o espalhamento Rayleigh oferece a possibilidade didática de diferenciar o fenômeno em estudo de outros fenômenos ópticos. O argumento final é a divulgação e o aspecto motivacional que o fenômeno propicia aos alunos. Dessa maneira a simulação experimental possibilita a discussão detalhada dos fenômenos modelado e, conseqüentemente, haverá uma assimilação do fenômeno da redistribuição da intensidade de luz, da difração, bem como da polarização da luz.

Catelli e Vicenzi (2001) descrevem detalhadamente a construção de um interferômetro de Michelson utilizando materiais de baixo custo e dão dicas de ajustes para obtenção das franjas de interferência. O interferômetro pode ser utilizado para discussões referentes ao papel histórico do experimento de Michelson



e Morley, detectar vibrações, medições de pequenos deslocamentos, bem como medir o índice de refração dos gases. Algumas aplicações em astrofísica também são possíveis, porém exigem algumas adaptações no interferômetro que irão gerar um investimento um pouco mais alto que o inicial. Os autores encerram o artigo concluindo:

Trata-se de um projeto que, pela sua simplicidade pode ser desenvolvido pelos próprios estudantes, dentro do quadro de atividades ligadas, por exemplo, às feiras de ciências, ou então como complemento ao laboratório de física da escola. Finalmente, a oportunidade de discutir com os alunos um pouco da física moderna também é uma vantagem a considerar (CATELLI e VICENZI, 2001, p. 115).

Sintetizando, dos sete artigos encontrados, cinco autores relatam atividades experimentais realizadas com alunos a respeito da natureza, interferência e difração da luz. Dentre estes, um artigo é direcionado a alunos de graduação, pós-graduação e professores de Física, dois artigos são direcionados à introdução do tema de FMC com turmas de alunos do Ensino Médio e nos demais artigos não está especificado o nível de ensino. Um autor apresenta metodologia que permite introdução de conceitos de FMC através de discussões teóricas e experimentais levando à determinação da constante de Planck. Finalmente, um autor indica a construção de um interferômetro de Michelson e promove discussões históricas e experimentais com alunos do Ensino Médio, possibilitando que os mesmos trabalhem sozinhos.

## **2.2 A teoria dos supercondutores em publicações dirigidas para professores e alunos do Ensino Médio**

Procurou-se revisar as publicações que tratam do tema da supercondutividade no Ensino Médio, classificando a pesquisa da seguinte maneira:

- livros dirigidos a professores de Física do Ensino Médio;
- artigos publicados em revistas para professores de Física ou de áreas afins;
- artigos publicados em revistas de divulgação científica de fácil acesso a alunos do Ensino Médio e de professores desse nível de ensino.

### 2.2.1 Livros dirigidos a professores

Analisamos duas publicações: 1 – Tópicos de Física contemporânea no Ensino Médio: um texto para professores sobre supercondutividade, escrito por Ostermann et al. (1998); 2 – Supercondutividade, escrito por Ostermann e Pureur (2005).

Ostermann et al (1998) iniciam justificando a necessidade de inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio pelas aplicações tecnológicas existentes e pela necessidade de atualização curricular. O tema da supercondutividade pode ser implementado em turmas de segundo ano do nível médio, sendo inserido naturalmente ao conteúdo de termodinâmica, bem como em turmas de terceiro ano desse nível de ensino, inserido como aprofundamento de conteúdos de eletromagnetismo. Os autores abordam a evolução histórica do fenômeno da supercondutividade desde sua descoberta, em 1911, pelo físico holandês Heike Kamerling Onnes até o ano de 1998, ano da publicação do livro, deixando claro ao leitor que a busca da supercondutividade a altas temperaturas ainda continuava.

As propriedades básicas dos supercondutores são identificadas a partir de uma evolução natural da modelização de metal, corrente elétrica, resistividade elétrica, condução de corrente elétrica em metais puros, até chegar aos supercondutores. Os autores comparam as propriedades magnéticas dos condutores perfeitos com as dos supercondutores e apresentam a termodinâmica da transição supercondutora. Também apresentam a teoria de London através de deduções matemáticas que descrevem a propriedade de resistividade nula de um supercondutor e a ocorrência do Efeito Meissner. Para explicar as propriedades termodinâmicas da transição do estado normal para o estado supercondutor apresenta-se a teoria Ginzburg-Landau.

A teoria BCS é apresentada qualitativamente para dar uma visão microscópica da supercondutividade. Fala-se da interação elétron-rede e dos pares de Cooper. São apresentadas algumas analogias para “ilustrar” o entendimento da interação elétron-fónon. Apresenta-se a levitação magnética de forma esquematizada para melhor compreensão e também a teoria dos supercondutores do tipo II e algumas aplicações da supercondutividade em grande e pequena escala.

Ostermann e Pureur (2005) oferecem aos professores de Física uma sólida introdução à teoria dos Supercondutores em um livro cujo objetivo principal é estimular o professor do Ensino Médio a tratar desse tema em sala de aula. Discutem-se aspectos essenciais da descrição dos supercondutores, tais como: propriedades básicas, teoria da supercondutividade, supercondutores do tipo II, aplicações e a pesquisa no Brasil.

Sobre a contribuição brasileira nas pesquisas relacionadas aos supercondutores, Ostermann e Pureur relacionam as principais instituições brasileiras, onde ocorrem pesquisas na área da supercondutividade. Informam ainda que, na fase inicial, a contribuição brasileira não foi muito expressiva. Porém, logo após a descoberta dos supercondutores de alta temperatura – na década de oitenta – um número significativo de pesquisadores brasileiros envolveram-se nas pesquisas de natureza básica e aplicada sobre este tema.

O livro conta com um apêndice contendo sugestões de abordagem de conceitos de supercondutividade no Ensino Médio. Relaciona-se a supercondutividade a conceitos já conhecidos para esse nível de ensino, tais como leis da termodinâmica e do eletromagnetismo. Inicia-se o estudo a partir de conceitos já trabalhados: modelo de metal, corrente elétrica, resistividade elétrica e a partir deles diferencia-se um supercondutor de um condutor perfeito. A mudança do estado normal para o estado supercondutor é comparada às mudanças de estado físico da matéria. A teoria BCS é transmitida através das analogias: efeito “Colchão”, resistividade nula e pares de Cooper.

As publicações analisadas são encontradas com grande facilidade no mercado. Oferecem abordagem histórica, a teoria dos supercondutores, suas aplicações bem como propostas de inserção do fenômeno da supercondutividade em cursos de graduação, pós-graduação e ensino médio. É preciso investir cada vez mais em publicações dirigidas a professores para que os mesmos sintam-se entusiasmados e ao mesmo tempo sintam-se seguros em introduzir conceitos da teoria dos supercondutores em suas aulas.

### 2.2.2 Artigos publicados em revistas para professores de Física ou de áreas afins

Procurou-se concentrar a revisão em artigos especialmente voltados para professores de Física, com o propósito de auxiliá-los a introduzir o tema da supercondutividade em suas aulas.

Studart (2003) apresenta os três cientistas laureados pelo Prêmio Nobel de Física 2003: Alexei Abrikosov (Laboratório Nacional Argonne, EUA), Vitaly Ginzburg (Instituto Lebedev, Moscou) e Anthony Leggett (Universidade de Illinois, EUA). Esses físicos receberam o prêmio pelas “*contribuições decisivas relacionadas a dois fenômenos da física quântica: supercondutividade e superfluidez*”. Studart relata a maneira como a Mecânica Quântica é tratada em escolas de Ensino Médio e a partir das propriedades dos metais e suas ligas introduz as características do estado supercondutor. O autor relata fatos históricos a partir da descoberta da supercondutividade em metais no ano de 1911 pelo físico holandês Heike Kamerling Onnes (laureado com o prêmio Nobel de 1913 pelas investigações das propriedades da matéria em baixas temperaturas), até chegar às descobertas que levaram Abrikosov, Ginzburg e Leggett ao recebimento do prêmio Nobel 2003. Finaliza relatando as aplicações dos supercondutores no dia-a-dia. Outro aspecto levantado por Studart é o fenômeno da superfluidez, fenômeno que envolve um fluxo de partículas sem que haja atrito entre as mesmas e, conseqüentemente, sem perda de energia.

Branício (2001) inicia seu texto apresentando ao leitor uma introdução ao fenômeno da supercondutividade envolvendo aspectos históricos da descoberta do fenômeno. Descreve a descoberta das cerâmicas supercondutoras em 1986 e a revolução que a mesma causou no meio científico, pois mudou os rumos das pesquisas até então realizadas com metais e ligas simples a baixas temperaturas. Em conseqüência da descoberta dos supercondutores de alta temperatura crítica, muitos estudos foram realizados. Por exemplo, em janeiro de 2001, foi revelada a importante descoberta da supercondutividade no composto metálico  $MgB_2$ , com temperatura crítica de 39,2K. Branício traz em seu artigo possibilidades de beneficiar professores do Ensino Médio de Física através da utilização de seus textos em atividades envolvendo tópicos de Física Contemporânea. Ele procura detalhar as características dos supercondutores e algumas de suas aplicações. Inicia

diferenciando os supercondutores do Tipo 1 e 2 através de textos explicativos e gráficos. Apresenta os vórtices dos supercondutores do tipo 2. Explica a teoria BCS e cita os supercondutores a altas temperaturas. Como aplicações da supercondutividade, o autor cita os trens flutuantes (Maglev), a produção e transmissão de eletricidade, a ressonância magnética nuclear e finalmente aborda a descoberta de Akimitsu e seus colaboradores (a supercondutividade no  $MgB_2$ ).

“Além das aplicações imediatas, a descoberta deste novo supercondutor intermetálico, com  $T_c$  tão alto, reacendeu a esperança na procura de um supercondutor à temperatura ambiente” (Branício, 2001, p. 398).

Rocha e Fraquelli (2004) apresentam um roteiro para demonstração do fenômeno da supercondutividade. São apresentadas demonstrações do fenômeno através da experiência de levitação de um ímã repelido por uma amostra de  $YBa_2Cu_3O_7$ . Rocha e Fraquelli apresentam um apêndice descrevendo os processos envolvidos na fabricação e tratamento térmico de uma amostra do material cerâmico supercondutor de alta temperatura crítica. Abordam a supercondutividade de maneira simples para apresentação do tema em sala de aula, propõem um mapa conceitual para a classificação dos supercondutores. Os autores discutem a base dos conceitos envolvidos na levitação do magneto, sendo uma contribuição à abordagem de tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio.

Sintetizando, dos três artigos analisados, dois autores fazem uma abordagem histórica do fenômeno da supercondutividade e de suas aplicações; o terceiro aposta na aplicação do fenômeno como forma demonstrativa, discutindo conceitos envolvidos na levitação de um magneto, bem como na fabricação de uma cerâmica supercondutora. Todos apontam para incentivar o profissional em exercício a encontrar uma maneira que possa lhe servir de subsídio para introdução do tema em suas aulas.

### 2.2.3. Artigos publicados em revistas de divulgação científica

- Superinteressante:

Artero (2005), na seção “Supernovas”, escreve sobre o grande destaque que foi dado ao fenômeno da supercondutividade na primeira edição da

Superinteressante, no ano de 1987. Naquele ano falou-se da perspectiva de que um dia haveria trens flutuando sobre os trilhos e dez anos após a promessa feita, surge no Japão o primeiro maglev. Outras possibilidades são discutidas na reportagem, por exemplo, a construção de um elevador espacial utilizando supercondutores. O artigo segue citando a evolução da teoria dos supercondutores desde 1911 até o ano de 1997 quando o Japão inaugurou o trem maglev.

- Scientific American (Brasil):

Canfield e Bud'ko (2005) escrevem sobre pesquisas feitas com o diboreto de magnésio ( $MgB_2$ ) e como as mesmas entusiasmaram a comunidade da física do estado sólido nas primeiras semanas de 2001. Até esse ano, não se sabia que este composto se tornaria supercondutor abaixo de 40K. Esta temperatura pode ser obtida por resfriamento com neônio ou hidrogênio líquido, processos que são menos onerosos que o resfriamento com hélio líquido utilizado para resfriar ligas de nióbio. Os autores destacam que o diboreto de magnésio, quando dopado com carbono ou outras impurezas, supera as ligas de nióbio quando se trata da estabilidade da supercondutividade em presença de campos magnéticos. No artigo os autores escrevem sobre a história do fenômeno, as aplicações existentes, teoria BCS, a estrutura cristalina do  $MgB_2$  bem como o potencial de aplicações futuras.

Irwin (2006) inicia sua reportagem citando a detecção da luz pelo olho humano e suas limitações. Segue descrevendo sensores que detectam partículas de luz (fótons) e determinam sua energia. Tais sensores baseiam-se nas propriedades dos supercondutores. O autor apresenta ao leitor uma reportagem completa sobre as características dos fótons, dos supercondutores, do funcionamento dos detectores bem como de suas aplicações.

Grant et al (2007) descrevem uma aplicação da engenharia de transporte de energia elétrica através de cabos supercondutores, na qual hidrogênio resfriado serviria de combustível para abastecimento de veículos. Fazem comparações dos impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica atual pelas usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares e das fontes alternativas, tais como a eólica e solar. Os cabos supercondutores ainda não estão em funcionamento, mas toda descrição de seu funcionamento, projeto e viabilidade são feitas para que o leitor

esteja convencido de que o transporte de energia é uma das grandes aplicações do fenômeno da supercondutividade.

O fenômeno da supercondutividade ainda promete grandes revoluções tecnológicas e percebe-se pouco interesse por parte de editores das principais revistas de divulgação científica divulgadas pela mídia e de fácil acesso aos alunos de Ensino Médio – em bancas, livrarias e na biblioteca da escola. Encontrou-se apenas quatro artigos publicados nos últimos anos, dos quais um envolve aspectos históricos do fenômeno e os demais tratam das recentes descobertas de aplicações dos supercondutores e da crescente aplicação tecnológica que envolve o fenômeno.

### 2.3 O Fenômeno da Supercondutividade em livros didáticos de Física do Ensino Médio

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) foi implantado em 2004 e prevê a distribuição de livros didáticos para alunos e professores do Ensino Médio público de todo país. O PNLEM é mantido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) com recursos financeiros do Orçamento Geral da União e do Programa de Melhoria e Expansão do Ensino Médio (PROMED).

Na tabela apresentam-se as obras recomendadas pelos avaliadores dos livros:

Tabela 1

Livros de Física para o Ensino Médio aprovados pelo PNLEN/MEC.

TÍTULOS RECOMENDADOS	AUTORES	VOLUME	EDITORIA
Física	Alberto Gaspar	único	Ática
Física – Ciência e Tecnologia	Carlos Magno Azinaro Torres e Paulo César Martins Penteado	1, 2, 3	Moderna
Universo da Física	José Luiz Pereira Sampaio, Caio Sérgio Vasques Calçada	1, 2, 3	Saraiva
Física	José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada	único	Saraiva
Física	Antônio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Álvares Alvarenga	1, 2, 3	Scipione
Física	Aurélio Gonçalves Filho e Carlos	único	Scipione

	Toscano		
--	---------	--	--

As obras aprovadas foram analisadas pelos avaliadores do MEC no ano de 2006, divulgados em 2007, porém serão analisadas e escolhidas pelos professores de Física da rede estadual de ensino apenas no ano de 2008 e distribuídas para os alunos apenas no ano de 2009. Portanto, as obras ainda não estão disponíveis nas editoras para distribuição aos professores.

Conseguiu-se analisar as edições anteriores dos autores mencionados na tabela 1, com exceção da obra de Gonçalves e Toscano, e constatou-se que os autores Torres e Penteado, Sampaio e Calçada não contemplam o fenômeno da Supercondutividade. Também analisou-se livros didáticos adotados em colégios da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, bem como no Colégio Frederico Jorge Logemann no ano de 2006.

Gaspar (2000): O autor cita o fenômeno da supercondutividade logo no primeiro capítulo do terceiro volume de sua obra, quando classifica os elementos como condutores e isolantes, apresentando em uma nota os semicondutores e os supercondutores, conceituando-os brevemente. No sexto capítulo, quando o autor trata da resistividade dos materiais, traz um quadro de “aprofundamento”, onde caracteriza o estado supercondutor, recorre a uma analogia, faz uma análise gráfica da resistência em função da temperatura ( $R \times T$ ) do mercúrio, cita a dificuldade de encontrar supercondutores a “altas” temperaturas e mostra como aplicação do fenômeno a levitação magnética em uma ilustração.

Torres, C. M. A. et. al (2005): Os autores oferecem em sua obra alguns quadros informativos, que relacionam o conteúdo trabalhado a questões do cotidiano: o quadro “o que diz a mídia”, aborda assuntos veiculados na mídia falada e escrita; o quadro “você sabe por quê?” questiona alguma aplicação do conteúdo estudado e o quadro “Ciência, tecnologia e sociedade”, que aborda possibilidades de aplicações da ciência na tecnologia. Antes do estudo dos circuitos elétricos, no quadro “Ciência, tecnologia e sociedade” os autores informam sobre os problemas com a transmissão da energia elétrica a grandes distâncias e apresentam como solução os cabos supercondutores. Abordam brevemente o fato histórico da descoberta do fenômeno, caracterizam superficialmente os materiais supercondutores e encerram sugerindo ao aluno uma pesquisa a respeito do



fenômeno para aprofundar o assunto, percebendo os progressos feitos pela Física nesse campo e as perspectivas de futuro.

Sampaio, J. L. P e Calçada, C. S. V. (2003): estava disponível apenas o volume único da obra para análise. Os autores classificam os elementos apenas em condutores e isolantes, citando suas características. Não encontramos referência aos elementos supercondutores também quando tratam da corrente elétrica, resistividade elétrica e resistores, ou também quando se trata da terminologia ao estudar as mudanças de estado físico da matéria. Esses assuntos poderiam servir de motivação para informar ao aluno sobre a existência do fenômeno da supercondutividade.

Alvarenga, B. A. e Luz, A. M. R. (2005): Analisou-se o terceiro volume da obra. No capítulo que trata dos circuitos elétricos de corrente contínua os autores apresentam “um tópico especial” com objetivo de dar maiores informações aos alunos a respeito de alguns conceitos aprendidos. Esse tópico trata da variação da resistência elétrica com a temperatura, onde são citados os elementos supercondutores. Inicia-se conceituando e caracterizando os elementos supercondutores, aborda-se a história dos elementos supercondutores. Faz-se uma análise gráfica do comportamento da resistência elétrica do mercúrio em função da temperatura ( $R \times T$ ). Mostra-se algumas aplicações tecnológicas do fenômeno da supercondutividade: transmissão de energia elétrica, as cerâmicas supercondutoras e suas vantagens, bem como o uso de levitação magnética em meios de transporte.

Alvarenga, B. A. e Luz, A. M. R. (2007): Trata-se de volume único no qual os autores conceituam e caracterizam o fenômeno da supercondutividade, citam a história do fenômeno e os ganhadores do prêmio Nobel de Física, falam das aplicações em laboratórios médicos, geração de campos magnéticos intensos, levitação magnética, resfriamento de componentes utilizados nas redes de telefonia móvel e também na transmissão de energia elétrica.

Gonçalves F. A e Toscano, Carlos: Não se obteve nenhum exemplar para análise, embora tenha-se entrado em contato com o representante comercial da editora Scipione.

Paraná, D. N. S. (2000): Quando trata da potência elétrica de resistores, cita as principais características do fenômeno da supercondutividade, destacando-o em apenas um parágrafo.

Ferraro, N. G. e Soares, P. A. T (2004): Quando caracteriza a resistividade elétrica dos resistores e sua relação com a temperatura, no quadro indicado como “conheça mais” os autores citam o fenômeno da supercondutividade, contando a história dos materiais supercondutores descrevendo suas características e informando que pesquisas estão sendo feitas com objetivo de encontrar elementos supercondutores à temperatura ambiente.

Carron, W e Guimarães, O (2006): Trata-se da obra adotada no Colégio Frederico Jorge Logemann. Os autores citam os materiais supercondutores, informando a ocorrência de supercondutividades em baixas temperaturas e relacionando essas temperaturas com a resistência elétrica. Os autores exemplificam o fenômeno com uma ilustração de um cabo supercondutor. Também quando se faz o estudo da corrente elétrica, classificam os condutores em três grupos: condutores metálicos, eletrolíticos e gasosos e informam a existência de substâncias semicondutoras e supercondutoras. Sobre os supercondutores, citam a observação do fenômeno no começo do século XX com o mercúrio em baixa temperatura, a obtenção de cerâmicas supercondutoras, o problema das temperaturas em que ocorre supercondutividade ser muito baixas comparadas à temperatura ambiente, a aplicação do fenômeno em supercomputadores e em eletroímãs superpotentes utilizados em certas pesquisas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO

O objetivo principal da ciência é proporcionar ao ser humano meios de compreender a natureza, ou seja, tornar o mundo compreensível. Esta é a visão positiva da ciência. Porém, alguns filósofos afirmam que o estudo da natureza não é um processo natural ou pacífico. Esse conhecimento se dá através da força e, portanto, todo conhecimento estabelece relações de poder, sendo essa a visão negativa da ciência, decorrência da insaciável sede de conhecimento que transforma o mundo dos valores humanos (Cotrim, 2002).

Portanto, é papel do epistemólogo refletir sobre essa ambigüidade da ciência, sobre suas pretensões, possibilidades, acertos e erros. Dessa forma, ele busca a compreensão de algumas questões, como por exemplo: qual o valor da ciência para a humanidade? Qual a especificidade do saber científico? Quais os limites da atividade científica?

A ciência caracteriza-se por atingir conhecimentos precisos, lógicos e abrangentes. Estudando a história da ciência, temos noção das inúmeras teorias científicas que por algum tempo tornaram-se válidas e num dado momento foram refutadas, substituídas, ou até mesmo modificadas por outras teorias. Portanto, a história nos conta que os conhecimentos científicos são questionáveis, ou seja, não são eternos e infalíveis. Apesar disso, a ciência cumpre seu papel de fornecer explicações confiáveis e com boa fundamentação para inúmeros fenômenos.

Essas idéias a respeito da natureza da ciência são objeto de estudo da epistemologia, que procura desenvolver uma reflexão crítica sobre os fundamentos do saber científico. Essa reflexão envolve uma série de questionamentos (Cotrim, 2002):

- em que consiste o método de investigação científica?
- como podemos classificar a ciência?
- qual a natureza das teorias científicas?
- qual a capacidade das teorias científicas de dar uma explicação sobre a realidade?

- qual o papel da ciência?
- qual a utilização da ciência na sociedade?

Na passagem do século XIX para o XX, muitas certezas foram abaladas e surgiram novos critérios de verdade, questionando a validade dos métodos e teorias científicas existentes. Em 1920, um grupo de cientistas de diversas áreas, tais como o físico alemão Moritz Schlick (1882 – 1936), os matemáticos alemães Hans Hahn e Rudolf Carnap (1891-1970), o economista austríaco Otto Neurath (1882 – 1945) e outros formaram o chamado Círculo de Viena, criado com o objetivo de formar uma concepção científica que se opunha às especulações. A partir da formação desse grupo de cientistas temos o marco inicial da epistemologia (filosofia da ciência). (Cotrim, 2002).

No desenvolvimento da pesquisa aqui relatada será evidente essa preocupação com a natureza da ciência por entender-se que é de fundamental importância na inserção de FMC no Ensino Médio. Para tanto, é adequado apropriar-se das epistemologias contemporâneas para problematizar visões ingênuas sobre a natureza da ciência. Por isso, iremos destacar as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977), tendo em vista sua relevância no Ensino de Física, com ênfase na principal convergência existente entre essas teorias: todos se opõem ao empirismo-indutivismo. Apropriar-se da teoria de quatro epistemólogos torna muito clara a crença de que a convergência entre idéias de vários pensadores deixa a certeza de que o professor de Ensino Médio deve estar informado sobre epistemologia para que não cometa os “deslizes epistemológicos” muito comuns em livros didáticos.

O cientista virou um mito. E todo mito é perigoso, porque ele induz o comportamento e inibe o pensamento. Este é um dos resultados engraçados (e trágicos) da ciência. Se existe uma classe especializada em pensar de maneira correta (os cientistas), os outros indivíduos são liberados da obrigação de pensar e podem simplesmente fazer o que os cientistas mandam (ALVES, Rubem, apud Cotrim 2002, p. 74).

Acreditamos que com o desenvolvimento desse trabalho possamos desmistificar a ciência que, quando associada a certos mitos, inibe o pensamento do indivíduo enquanto ser social. Pretendemos que os alunos percebam que o cientista é um cidadão normal, porém imbuído de muita força de vontade, criatividade e dedicação. Dessa forma possibilita-se a formação de futuros cientistas, pesquisadores e professores de Física.

No desenvolvimento do projeto, utiliza-se também a psicologia sócio-histórica de Vygotsky (1984) para uma maior compreensão do processo ensino-aprendizagem.

### 3.1 Popper

Popper contribui com a filosofia da ciência propondo uma solução ao seguinte problema: “*Como é que se pode distinguir as teorias das ciências empíricas das especulações pseudocientíficas ou metafísicas?*” (Popper, 1987a. p. 177, apud Silveira, 1996). A esse problema chama-se “*critério de demarcação*” ou ainda, “*problema da demarcação*”. Popper propõe o critério da *testabilidade* ou *refutabilidade* da teoria para solucionar o problema, ou seja, o status científico de uma teoria está na sua capacidade de ser refutada ou testada (Silveira, 1996). Esse critério nos leva a dois conceitos importantes: *conjecturas* e *refutações*. Para Popper, conjecturas são “palpites”, em outras palavras, tentativas de soluções. Assim sendo, todas as leis e teorias científicas são essencialmente tentativas conjecturais, hipotéticas, mesmo quando não se consegue mais duvidar delas, pois se acredita que sempre existe a possibilidade de que venham a ser refutadas.

Um aspecto amplamente discutido por Popper é o problema da indução. Ou seja, o indutivismo defende que é possível obter leis e teorias científicas a partir dos fatos pela utilização da lógica indutiva, isto é, os enunciados científicos universais seriam induzidos de enunciados observacionais (Silveira e Ostermann, 2002).

Popper refutou essa posição e defendeu que o método da ciência é a crítica, ou seja, as tentativas feitas para refutá-la. Uma característica do caráter racional do conhecimento científico é o progresso continuado. No entanto, ao se falar do progresso, ou seja, da expansão do conhecimento científico, pode-se concluir que ocorre uma reiterada substituição de teorias científicas por outras cada vez mais satisfatórias, isto é, teorias com mais informações empíricas ou conteúdo e, com isso, sua capacidade explicativa é maior, assim como seu poder de previsão e de testabilidade. Esse exame crítico procura a falsidade das teorias científicas; a aceitação é sempre tentativa e provisória; as teorias competem entre si e quanto

mais resistem ao falseamento melhores são, ou seja, as teorias são válidas até o momento em que são refutadas.

A ciência está sempre à procura da verdade, embora não haja critérios que possam avaliar e demonstrar que uma dada teoria seja verdadeira. Quando uma teoria está sendo criticada, está sendo questionada a pretensão da mesma em querer ser verdadeira e resolver todos os problemas que lhe competem (Popper, 1993). A filosofia popperiana é caracterizada como realista epistemológica, por conceber que as teorias científicas perseguem a verdade.

Para Popper não existem observações livres de teorias prévias que o cientista traz consigo. Esses pressupostos teóricos se confirmam ou não a partir da sua observação. Assim, segundo as reflexões de Popper, a mente não é uma “tabula rasa” como alegam os empiristas.

### 3.2 Kuhn

Os conceitos-chave da epistemologia de Kuhn são: *paradigma*, *ciência normal*, *revolução científica* e *incomensurabilidade* (Ostermann, 1996). Procuramos definir cada um desses conceitos para compreensão de outros relevantes da epistemologia kuhniana.

*Ciência normal*, para Kuhn, significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Ou seja, a pesquisa é baseada em realizações que são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica como fornecedoras dos fundamentos para a sua prática científica. A ciência normal deve ser amplamente não-crítica, pois grande parte de seu sucesso depende da disposição da comunidade para defender esse pressuposto.

Essas realizações passadas, normalmente reunidas em livros ou manuais, definem o problema, as crenças, os valores e os métodos legítimos de um dado campo de pesquisa, as quais são partilhados por uma comunidade e constituem o que Kuhn conceitua como *paradigma*. Ao estudá-los e utilizá-los na prática, os membros dessa comunidade aprendem seu ofício (Ostermann, 1996). Se um determinado grupo de cientistas compartilha o mesmo paradigma, significa que

todos os seus membros estão comprometidos com as mesmas regras e padrões no seu fazer científico.

A ciência normal não tem como objetivo descobrir novidades, mas sim aumentar o alcance e a precisão do paradigma compartilhado pela comunidade.

A mudança descontínua de um paradigma para outro é o que Kuhn chama de *revolução científica*. A função das revoluções científicas é a de encontrar em seu interior um meio de romper com um paradigma e passar para outro melhor (Chalmers, 1987). Quando os cientistas não conseguem mais esquivar-se das anomalias (dificuldades, enigmas não resolvidos, que podem constituir uma crise levando o paradigma à rejeição e substituição) que subvertem o paradigma ao qual aderiram, começam as investigações extraordinárias, ou de *ciência extraordinária*, que finalmente conduzem a um novo conjunto de compromissos, a uma nova base para a prática da ciência, isto é, a um novo paradigma e a uma nova fase de ciência normal. Esse novo paradigma entrará em crise e dará passagem a outro paradigma através de uma nova revolução científica (Ostermann, 1996).

Pode-se representar o progresso científico kuhniano através do esquema aberto: *Pré-ciência – ciência normal* (dentro de um paradigma) – *crise – revolução* (mudança descontínua de paradigma) – *nova ciência normal* (dentro do novo paradigma) – *nova crise – nova revolução...*

O que se pretende dizer com isso é que o surgimento de novos paradigmas rompe com uma tradição de práticas científicas e introduz uma nova tradição, controlada por regras diferentes. Portanto, o velho e o novo paradigma são *incomensuráveis*.

A idéia de incomensurabilidade está relacionada ao fato de que padrões científicos e definições são diferentes para cada paradigma (Ostermann, 1996). A incomensurabilidade de paradigmas tem a ver com diferentes maneiras de ver o mundo e nele praticar ciência. As diferenças entre paradigmas sucessivos são ao mesmo tempo necessárias e irreconciliáveis no sentido de que são distintas visões de mundo. Cada paradigma vê o mundo como sendo composto de coisas diferentes. A maneira pela qual um cientista vê o mundo está determinada pelo paradigma ao qual aderiu e no qual está trabalhando.

Ao propor essa nova visão de ciência, Kuhn critica duramente o positivismo lógico, o que determina, entre outras coisas, que a produção do conhecimento científico tem início a partir da observação livre de pressupostos teóricos, dá ênfase à indução, é cumulativa, linear e definitiva. Para Kuhn toda observação é precedida por teorias. Kuhn não acredita haver justificativa lógica para o método da indução e admite que o conhecimento científico tenha caráter provisório.

### 3.3 Lakatos

Segundo Lakatos, o avanço do conhecimento científico consiste na permanente substituição de programas de investigação científica regressivos por programas de investigação progressivos e, de forma subjacente, a constante substituição de hipóteses.

*Programa de pesquisa* é a unidade de análise da epistemologia lakatosiana, a qual pode ser caracterizada como a *metodologia dos programas de pesquisa científica* (Silveira, 1996). Esta não é apenas uma série de teorias, mas também a continuidade entre elas e a existência de regras metodológicas, das quais algumas indicam linhas de pesquisa que devem ser evitadas (heurística negativa) e outras que devem ser seguidas (heurística positiva). Em linhas gerais, os programas de pesquisa representam as diretrizes metodológicas responsáveis pela decisão na construção e modificação das teorias.

A heurística positiva impede que os cientistas se confundam e indica caminhos que possam explicar as anomalias e transformá-las em corroborações. O desenvolvimento do programa de pesquisa inclui uma seqüência de modelos que evoluem em complexidade procurando gradualmente a aproximação da realidade.

Um modelo é um conjunto de condições iniciais (possivelmente junto com algumas teorias observacionais) que se sabe que deve ser substituído durante o ulterior desenvolvimento do programa, e que inclusive se sabe como deve ser substituído (em maior ou menor medida) (LAKATOS, 1989; p. 70).

A ciência como um todo pode ser considerada um imenso programa de investigação baseado em conjecturas que devem ter mais conteúdo empírico do que suas antecessoras.



A heurística negativa está associada ao *núcleo firme* do programa de investigação, enquanto a heurística positiva ao *cinturão protetor*. O núcleo firme abarca os fundamentos do programa. O cinturão protetor é formado de hipóteses auxiliares e deve receber os impactos das contestações e defender o núcleo firme, será ajustado e reajustado e, inclusive, completamente substituído. Um programa de investigação tem êxito se ele conduz a uma mudança progressiva na modificação das teorias; fracassa se conduz a uma mudança regressiva (Massoni, 2005).

O programa de investigação também é conhecido por Programa de Pesquisa Científica, que visa avaliar o crescimento do conhecimento científico. Essa avaliação envolve regras, que caracterizam os programas de pesquisa como progressivos e regressivos. Um programa de pesquisa é considerado “progressivo” quando as modificações feitas no cinturão protetor levam a algumas explicações de fatos já conhecidos (retrodição) ou até mesmo a uma antecipação de um fato ainda não observado (predição). (Silveira, 1996). Um programa de pesquisa é considerado “regressivo” quando se faz alguns ajustes no cinturão protetor com a intenção de explicar alguma possível anomalia, e as explicações dadas apenas explicam os fatos que motivaram os ajustes, não contribuindo com nenhum fato novo.

Embora reconheça uma grande influência de Popper em sua epistemologia, Lakatos acaba rejeitando a seqüência popperiana de conjecturas e refutações, que ele interpreta como uma seqüência de ensaio-mediante-hipótese seguido de erro-provado-por-experimento, e a abandona em favor de uma metodologia de programas de pesquisa científica. As idéias de Lakatos com relação à constante invenção de hipóteses auxiliares no cinturão protetor representam um complemento em relação às idéias de Popper. Estas hipóteses podem sofrer avanços e retrocessos, idas e vindas, cujo objetivo é proteger o núcleo firme da teoria. Este, por sua vez, também pode ser ajustado e até substituído dentro de um programa de pesquisa. Dessa forma, Lakatos apóia Popper na luta contra as concepções irracionais da evolução do conhecimento científico e na oposição à visão empirista-indutivista de ciência.

### 3.4 Laudan

A frase que pode resumir a epistemologia de Laudan é a seguinte “*A ciência é, em essência, uma atividade de resolução de problemas*” (Laudan, 1986, p. 39, citado por Ostermann e Prado, 2005). Nessa proposta, a ciência progride somente se as novas teorias resolvem mais problemas que suas predecessoras.

Os problemas representam o ponto central do pensamento científico e as teorias são o resultado final (problemas são as perguntas da ciência; teorias são as respostas). Nesta perspectiva, são propostas duas teses:

Tese 1 – uma teoria é boa se proporciona soluções satisfatórias a problemas importantes;

Tese 2 – para avaliar os méritos de uma teoria deve-se questionar se ela constitui solução adequada a problemas relevantes e não se ela é “corroborada” ou “bem confirmada”.

No entender de Laudan, os estudos sobre o desenvolvimento histórico da ciência têm mostrado que a ciência tem sido um empreendimento racional, porém associado a alguns traços persistentes. Tais características são resumidamente (Pesa e Ostermann, 2002):

- não acumulativo;
- não se refutam teorias por suas anomalias;
- mudanças e controvérsias são resolvidas conceitualmente, muito mais que empiricamente;
- os princípios da racionalidade vão mudando com o tempo;
- a regra é a existência de teorias rivais, tal que a evolução das teorias é uma atividade comparativa.

Para Laudan há dois tipos de problemas: os *empíricos* e os *conceituais*. A epistemologia laudiana considera que a eliminação de problemas conceituais constitui um progresso e, portanto, é possível que ocorra substituição de teorias com confirmação empírica por outras menos confirmadas, contanto que as teorias menos confirmadas resolvam dificuldades conceituais relevantes.

As *Tradições de Pesquisa* (TP) são as metodologias, as técnicas que perduram através da mudança de teorias, as quais estabelecem o que existe de continuidade na história da ciência. Em outras palavras, a TP é a unidade de análise na epistemologia de Laudan.

Analogamente às teorias, em que são consideradas mais adequadas aquelas que resolvem mais problemas, uma TP é mais adequada que outra se o conjunto de teorias, que num dado momento a caracterizam, é mais adequado que as teorias que compõem uma tradição de investigação rival. Toda TP está associada a uma série de teorias, muitas das quais serão rivais, mutuamente inconsistentes, já que algumas tentam melhorar e corrigir suas antecessoras (Ostermann e Prado, 2005).

A TP oferece ferramentas necessárias para resolver problemas, tanto empíricos como conceituais. Laudan mostra que tanto as teorias que constituem uma TP quanto alguns dos elementos nucleares mais básicos vão mudando com o tempo, sem que implique uma nova TP.

Portanto, Laudan afirma que a filosofia assim como as leis naturais e as próprias TP's vão mudando com o tempo, de forma lenta e progressiva, pois representam parte de um processo histórico e cultural. Laudan discorda de Kuhn, Popper e Lakatos em algumas questões epistemológicas básicas, porém adota um modelo racional de progresso científico baseado na resolução de problemas.

Em síntese, uma análise comparativa permitiria verificar que Popper, Kuhn, Lakatos e Laudan convergem em relação à oposição ao empirismo-indutivismo (a ciência começa a partir da observação e se dá por indução). Todas as leituras que se faz do mundo natural passam pelas lentes de quem as lê, ou seja, pelos conceitos e pressupostos de que dispomos previamente à observação. Assim, não há problema empírico livre de teorias.

Existem convergências específicas entre alguns epistemólogos, as quais serão descritas a seguir.

Popper e Laudan entendem a ciência como um empreendimento que cresce através da resolução de problemas.

Popper e Kuhn propõem um critério de demarcação bem definido. Para Popper o critério de demarcação é o da testabilidade ou refutabilidade da teoria, enquanto que Kuhn define seu critério de demarcação a partir da existência de um

paradigma.

Com relação à evolução das teorias científicas, Laudan concorda com Kuhn, a quem atribuiu o mérito de ter sido o primeiro pensador a reconhecer com clareza que os paradigmas persistem ainda que existam anomalias e que o caráter da ciência é não cumulativo.

Em discordância com Popper, Lakatos entende que o falsacionismo por si só não se sustenta, ou seja, as teorias não são refutadas simplesmente porque enfrentam alguma inconsistência. Ele propõe que deve ser feito um grande esforço para salvá-las, melhorando ou substituindo os seus aspectos problemáticos e preservando os não problemáticos.

Laudan discorda de Kuhn quando esse afirma que os paradigmas são incomensuráveis, ou seja, afirma que é possível comparar tradições de investigações rivais. Segundo Laudan, a coexistência de teorias rivais é uma regra para o avanço da ciência.

Em relação aos “programas de pesquisa” de Lakatos, entende Laudan que representam uma melhora significativa em relação a Kuhn, pois admitem a importância histórica da coexistência de programas de investigação alternativos dentro do mesmo domínio de conhecimento. Enquanto Kuhn sustenta que os paradigmas são incomensuráveis, Lakatos insiste que se pode comparar objetivamente o progresso relativo de programas de pesquisa rivais.

Apesar de admitir êxitos na proposta de Lakatos, Laudan sustenta que mesmo que fosse possível inferir que um programa de pesquisa é mais progressivo que outro, não seria possível deduzir da teoria de Lakatos qual deles deveria ser adotado, pois não existe conexão entre a teoria do progresso e uma teoria de aceitabilidade racional levando ao progresso científico (Massoni, 2005).

Após destacar as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977), tendo em vista sua relevância no Ensino de Física, cabe assinalar que, no desenvolvimento do projeto, será dada ênfase na principal convergência existente entre essas teorias – a oposição ao empirismo-indutivismo. Nesse sentido, o ensino de um tema, como por exemplo, o da supercondutividade, deverá problematizar visões ingênuas sobre a natureza da ciência, tais como a crença na observação livre de pressupostos teóricos, na concepção de método

científico, na possibilidade de se obter conhecimento por indução, entre outras concepções.

### **3.6 Psicologia sócio-histórica de Vygotsky**

Percebemos a necessidade de aplicar um referencial adequado para uma maior compreensão do processo ensino-aprendizagem envolvido no presente projeto. Justifica-se a escolha de Vygotsky (1984) no âmbito do projeto pela hipótese de que a aprendizagem ocorre através da interação social.

Vygotsky formou-se em direito, pela Universidade de Moscou em 1917, mas especializou-se e foi professor de literatura e de psicologia. Mais tarde, interessou-se pela medicina e fez o curso no Instituto Médico de Moscou. Foi um erudito, com formação e interesses de largo espectro. Morreu de tuberculose em 1934, aos 38 anos, deixando incompleta uma grande obra intelectual que foi continuada e refinada por seus colaboradores (Moreira e Ostermann, 1999).

Vygotsky propõe uma abordagem teórica e uma metodologia que privilegiam as mudanças ao longo do desenvolvimento e encara o ser humano como participante ativo e vigoroso de sua própria existência. Concebe o meio ambiente como um contexto histórico e cultural em transformação, no qual crianças nascem e crescem transformando-o pela sua participação (Moreira, 1999).

O processo de desenvolvimento independe do processo de aprendizagem. O aprendizado é considerado um processo externo e não está envolvido no desenvolvimento. Vygotsky critica a idéia de que o desenvolvimento é sempre um pré-requisito para a aprendizagem e que, se as funções mentais não estão maduras a ponto de possibilitar a aprendizagem de um assunto particular, nenhuma instrução se mostrará útil nessa ocasião (Moreira, 1999).

A hipótese de Vygotsky sobre a relação entre aprendizagem e desenvolvimento pressupõe que o processo de desenvolvimento não coincide com o da aprendizagem e que a aprendizagem e desenvolvimento, ainda que diretamente ligados, nunca são produzidos de modo simétrico e paralelo.

O conceito de atividade é central na teoria de Vygotsky (1984), ou seja, é a

unidade de construção da arquitetura funcional da consciência. Um sistema de transformação do meio com ajuda de instrumentos (orientados externamente e devem levar a mudança nos objetos) e signos (orientados internamente e controlados pelo próprio indivíduo), representando a unidade essencial de construção da consciência humana. O desenvolvimento humano está definido pela interiorização dos instrumentos e signos e pela conversão dos sistemas de regulação externa em meios de auto-regulação (Moreira, 1999).

A ênfase de Vygotsky está na importância da interação social na aprendizagem. Um estudante aprende com maior eficiência através da interação entre seus colegas e professores, pois isso permite uma evolução da zona de desenvolvimento proximal. Nessas condições o estudante pode optar por encontrar resultados sozinho ou com ajuda externa (Moreira e Ostermann, 1999).

Na ótica vygotskiana, o sujeito se relaciona com o mundo através dos outros e por esse motivo sua teoria, muitas vezes, é dita interacionista. Através da atividade (mediação) é que os processos psicológicos superiores são desenvolvidos (Vygotsky, 1984).

Após descrevermos brevemente o referencial teórico psicológico de Vygotsky, cabe assinalar que, no desenvolvimento do projeto procuramos desenvolver uma metodologia que possibilita ao aluno desenvolver atividades de leitura, análise de gráficos, animações, atividades práticas, questionários (representando os *instrumentos* da teoria em questão). Tendo em mãos os subsídios para que possa construir a aprendizagem científica, o aluno poderá optar pelo melhor meio de controlar sua aprendizagem, quer pelo desenvolvimento das atividades propostas individualmente - sendo que a página construída para essa finalidade representa seu amigo distante, ou seja, seu amigo "mais capaz" - quer pela interação entre seus colegas e professora (representando os *signos* da teoria de Vygotsky, onde o indivíduo controla internamente a construção do conhecimento).

## 4 PROCEDIMENTOS E IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

### 4.1 Metodologia de ensino

O desenvolvimento do projeto teve início com a elaboração de um material com recursos de hipermídia (com o uso do *software* Flash que é amplamente utilizado em ambientes interativos próprios para fins educativos) sobre supercondutividade que serviu de material de apoio para a inserção do tema em turmas de terceiro ano de Ensino Médio de Física (Apêndice 02: Descrição do produto educacional – página na *internet*). Foram necessárias dezesseis horas aula para a aplicação do projeto, sendo que o tema da supercondutividade foi inserido ao conteúdo Física Moderna (FM), já presente no currículo desta série. Para turmas em que o conteúdo de FM não está presente no currículo, é possível que o tema da supercondutividade seja articulado ao tema do eletromagnetismo.

O material desenvolvido foi usado como principal recurso pedagógico para o estudo do tema proposto. Foram abordados os aspectos históricos da descoberta do fenômeno e os Prêmios Nobel relacionados à Supercondutividade através de uma linha do tempo. Em outro momento apresentou-se o *menu* de navegação especialmente preparado para o Ensino Médio, sendo um ambiente facilitador da aprendizagem do tema proposto. Os alunos trabalharam em duplas (cada dupla com um computador) em horário de aula. Assim, segundo Vygotsky, a interiorização dos conceitos pelo estudante acontecerá de maneira mais eficiente pela possibilidade de interação com a professora, com os colegas e com o material elaborado e disponibilizado. O qual faz o papel de “parceiro distante”, “amigo melhor preparado”.

Para demonstrar uma das aplicações da supercondutividade realizou-se o experimento da levitação magnética em sala de aula (que foi preparado no laboratório de supercondutividade do Instituto de Física da UFRGS). Disponibilizou-se também um vídeo sobre o experimento da levitação magnética na página.

No início da aplicação do projeto identificou-se o conhecimento prévio dos alunos sobre a supercondutividade e, a partir disso, procurou-se proporcionar-lhes

uma evolução conceitual através da interação com os colegas de classe e sob orientação da professora.

Cabe novamente assinalar que, no desenvolvimento do projeto, enfatizou-se a principal convergência entre a epistemologia de Popper, Kuhn, Lakatos e Laudan: a oposição ao empirismo-indutivismo. Para introduzir os conceitos de metal e corrente elétrica, por exemplo, foram explorados os modelos teóricos atuais, sem recorrer à idéia de observação neutra, como está previsto no primeiro passo do método científico. Os outros tópicos também serão desenvolvidos através de analogias, exemplos, fatos históricos sem que seja enfatizada a concepção de que observação dos fenômenos envolvidos é a primeira etapa. Evitou-se deliberadamente a palavra descoberta<sup>5</sup>, acaso, entre outras consideradas “deslizes epistemológicos”, para que o aluno perceba a insustentabilidade da visão empirista-indutivista como forma de produção do conhecimento.

A avaliação utilizada no desenvolvimento deste projeto foi basicamente de cunho qualitativo. Inicialmente, aplicou-se um questionário com questões abertas com objetivo de diagnosticar o nível de familiaridade dos alunos com o tema. Após o levantamento das respostas obtidas nos questionários, foram estruturadas aulas que tiveram como recurso central o material desenvolvido para essa finalidade (Apêndice 01: Questionários inicial e final).

Finalizando as atividades propostas, aplicou-se um teste final contendo questões com objetivo exclusivo de avaliar a aprendizagem do aluno, que também foi aferida através de participação em aula.

Incentivou-se os alunos a procurar assinalar possíveis erros no material, já que os mesmos foram os primeiros a ter contato com ele. A turma utilizou o laboratório de informática reservado previamente para as aulas de Física, separando-se em duplas de acordo com a afinidade entre os pares para que a interação entre os mesmos fosse agradável e possibilitasse a troca de idéias e produção de saberes atualmente aceitos pela comunidade científica. Inicialmente testamos o conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos da Física Clássica necessários à compreensão do tema proposto (supercondutividade). Todos os conceitos foram transmitidos através de hipertextos escritos especialmente para a

---

<sup>5</sup> A palavra descoberta está historicamente relacionada à visão empirista-indutivista, já que remete à idéia de que o conhecimento está na natureza, pronto para ser desvelado, ou seja, não envolve um processo de construção.



implementação do tema, com a preocupação de utilizar um vocabulário acessível à compreensão dos alunos da turma. No decorrer das aulas prevaleceu um clima de concentração, intermediado por discussões e análise das situações propostas por simulações feitas através de visualização computacional disponíveis no próprio material. A compreensão dos textos ocorreu de maneira agradável, atrativa e, conseqüentemente, eficiente. No início da aula apresentávamos os itens que seriam estudados naquele período e combinávamos previamente todas as ações que as duplas deveriam realizar, lembrando-os de acessar somente o *site* indicado para a aula, já que não foi possível limitar os acessos dos computadores em uso pela turma por estarem interligados aos computadores dos outros laboratórios da escola. No final de alguns itens disponibilizamos algumas questões e cobramos que as duplas apresentassem as mesmas copiadas e respondidas em seu caderno num prazo determinado previamente, objetivando maior discussão a respeito de conceitos mais relevantes do tema e servindo como orientação ao estudo. Os alunos foram constantemente avaliados pelo interesse na realização das tarefas, participação das discussões e por acessar somente o *site* onde o material está exposto.

#### **4.2 Conteúdos propostos na página para o ensino da supercondutividade no nível médio**

Os seguintes conceitos de supercondutividade foram abordados:

1. Modelo de metal
2. Corrente elétrica
3. Resistividade elétrica
4. Supercondutor x Condutor perfeito
5. Materiais Supercondutores
6. Indução eletromagnética – A Lei de Faraday
7. Propriedades do estado supercondutor
  - 7.1. Resistividade nula

7.2. Efeito Meissner

7.3. Levitação Magnética

8. Transição do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico

9. Teoria BCS

9.1. Resistividade nula e pares de Cooper

9.2. O efeito “colchão”

10. Aplicações

10.1. Transmissão de potência

10.2. Levitação Magnética

#### **4.3 Implementação (descrição das aulas)**

As aulas foram ministradas em uma turma de terceiro ano do nível médio do Colégio Frederico Jorge Logemann (Horizontina/RS), com dezenove alunos na faixa etária entre dezesseis e dezessete anos. Cabe ressaltar que a professora regente da turma é a proponente do projeto.

A seguir faremos uma descrição das aulas ministradas durante a implementação do projeto:

\* **Primeira aula (2 horas-aula no dia 17/10/2006):** Iniciou-se apresentando a proposta da execução do projeto através de apresentação de lâminas preparadas no *Power-Point*, projetadas através de um data-show. Transmitiu-se à turma a tendência da nova legislação de promover a renovação curricular, buscando no conhecimento científico recente, subsídios para o aluno entender o mundo no qual o homem atual está inserido, fazendo-os perceber a necessidade da inserção de um tema de FMC no currículo de Ensino Médio.

Justificou-se a escolha do tema da supercondutividade, tendo em vista:

- a importância de aprender sobre a evolução do conhecimento científico no contexto de seu desenvolvimento histórico para que sejam utilizados no exercício

pleno de sua cidadania;

- a relação do fenômeno da supercondutividade com a impressionante revolução tecnológica presenciada por todos neste início de século, ilustrada por uma série de aplicações: trem Maglev, os SQUIDS, equipamentos para diagnóstico médico, transmissão de energia elétrica, entre outros;
- a possibilidade de realização de uma atividade demonstrativa: o fenômeno da levitação magnética;
- a relação com áreas da Física Clássica já trabalhadas anteriormente (por exemplo, Termodinâmica e Eletromagnetismo) possibilitando abertura para introdução de conceitos mais avançados.

Os alunos ficaram impressionados com as novidades transmitidas através da apresentação da proposta. Não tinham idéia de que o Ministério de Educação e Cultura tem relação direta com o que lhes é transmitido em sala de aula. Ficaram curiosos a respeito da evolução da ciência e não conseguiram imaginar como a ciência poderia evoluir sem existir, em primeiro lugar, a observação livre de pressupostos teóricos.

Poucos alunos já tinham lido ou visto alguma reportagem a respeito de alguma aplicação do fenômeno da supercondutividade. Um aluno comentou sobre uma reportagem lida em uma revista disponível na biblioteca do Colégio, pedindo licença para buscar a revista e mostrar aos seus colegas. Assim que o mesmo retornou, leu a reportagem de Artero (2005) que traz por título: “A nova revolução dos supercondutores”:

Há 18 anos, a edição número 1 da SUPER trazia a promessa de que um dia os trens flutuariam sobre os trilhos. E aqui é assim: a gente promete, a gente entrega. Em 1997, quando a SUPER já fazia 10 anos, o Japão estreava seu primeiro “maglev”: um trem que não só levitava como, no ano seguinte, atingiu prodigiosa velocidade de 500km/h. Era o mais gritante exemplo da revolução dos supercondutores. Esses materiais, que ficaram famosos por transmitir eletricidade sem oferecer resistência, e portanto, sem gerar calor, conseguem gerar campos magnéticos poderosíssimos, capazes não só de fazer trens levitar como revolucionar a medicina: eles são peças centrais hoje nas máquinas de imagens por ressonância magnética, capazes de olhar dentro de você sem abrir um buraco ou usar radiações perigosas.

Outro aluno comentou que ouviu uma reportagem na televisão sobre o transporte de carga em trens de levitação magnética no Japão. Estavam todos muito empolgados com as novidades e ansiosos por começar o trabalho.

Para o bom andamento das atividades desenvolvidas durante a implementação do projeto (em aula ou extra-classe), procurou-se conscientizar os alunos da importância do comprometimento pessoal com a aprendizagem, que ocorre somente se for de interesse próprio. Ressaltou-se também a importância da troca de idéias com a professora e com os colegas a respeito do entendimento do texto, animações, gráficos, tabelas e analogias. No final de alguns itens, foram propostas algumas questões que tem por objetivo dirigir o estudo dos principais aspectos da teoria envolvida. Todas as questões foram copiadas por todos os alunos e respondidas com auxílio do hipertexto, animações, colegas e professora (que acompanhou a execução e conclusão das mesmas). Marcamos previamente uma data para entrega das questões feitas em aula no caderno e digitadas em horário extra-classe.

Apresentada a proposta, a turma foi consultada sobre o interesse em participar como “turma piloto” da implementação do presente projeto. A aceitação foi unânime e, portanto, propôs-se a aplicação do questionário inicial, que todos responderam com empenho. Após, a turma foi encaminhada ao laboratório de informática - disponível às aulas de Física da turma – e os alunos tiveram o primeiro contato com a página, onde apresentamos a eles seu *layout*, enfatizando o *link* “Ensino Médio” (Apêndice 02). Os alunos elogiaram a criatividade do grupo de apoio que concebeu e desenvolveu a mesma. AL fez um comentário, referindo-se à página: *“com uma apresentação dessas, dá gosto em ler o conteúdo e fixar a atenção, pois tenho certeza de que a qualquer momento terei uma surpresa”*.

\* **Segunda aula (2 horas-aula no dia 24/10/2006):** Os alunos foram encaminhados para o laboratório de informática - dois alunos em cada computador para que pudessem interagir entre a dupla, duplas vizinhas ou com a professora. Acessando a página que estava disponível na *internet*, os alunos leram e discutiram os conceitos: modelo de metal; corrente elétrica e resistividade elétrica.

No primeiro item - modelo de metal – não surgiram discussões que necessitassem da interferência da professora. Os alunos conseguiram assimilar as idéias transmitidas apenas com a leitura, execução das animações e interação entre os componentes da dupla.

No segundo item – corrente elétrica, embora os alunos já tivessem trabalhado o assunto anteriormente (inclusive através de visualização

computacional), foi necessário bastante interação entre a professora e as duplas. Estas chamaram várias vezes a professora para que tivessem certeza de que haviam assimilado a idéia de forma correta. Também tiveram dúvidas na parte que explica a movimentação dos elétrons livres e a pouca movimentação dos íons devido à sua grande massa e interação mútua via ligação covalente, embora já tivessem estudado ligações químicas na disciplina de Química, em anos anteriores.

Os alunos ficam encantados com as animações. CA disse: “já tinha entendido o conceito de corrente elétrica quando havíamos trabalhado no início do ano, porém agora, ficou muito clara a idéia”; IA disse: “ Agora sim! Consegui entender o que antes havia ficado meio duvidoso”. DL diz: “Parabéns para o Renato” – referindo-se ao Renato do Instituto de Informática da UFRGS, que deu suporte técnico para execução da página e das animações solicitadas.

O item 3 – resistividade elétrica não gerou muitas discussões. A aluna SE teve dificuldade na compreensão dos gráficos  $\rho \times T$  (resistividade em função da temperatura). Seu companheiro DN mostrou a ela as diferenças e após chamou a professora para confirmar o que havia explicado à sua colega, sendo que a explicação dada por DN foi ouvida e considerada certa e satisfatoriamente compreendida por SE.

Muitos tiveram dificuldades em entender o aspecto epistemológico abordado. Foi feita, inicialmente, apenas uma pequena abordagem da forma como estaremos combatendo a visão empirista-indutivista e o assunto gerou bastante discussão entre componentes da mesma dupla, duplas vizinhas e professora. Isso aconteceu devido ao fato de que o empirismo-indutivismo é muito enfatizado em livros didáticos de todos os níveis de ensino; tornando-se, assim, aceito sem que haja uma adequada reflexão.

No final do terceiro item, disponibilizamos algumas questões que também contemplam assuntos dos itens um e dois. Os alunos copiaram e responderam às questões, baseando-se no hipertexto lido e comentado, podendo revisá-lo quando necessário para apresentá-las na próxima aula, conforme combinado previamente. Cabe assinalar que a aluna IA, no decorrer das aulas, interagiu com a dupla AL e GE, porém entregou as questões individualmente.

A seguir, apresentam-se as questões disponíveis no terceiro item. Vamos

analisar as respostas dadas pelos alunos, construindo categorias nas quais as respostas se encaixam, mostrando os resultados em tabelas.

#### QUESTÕES:

1. O que você entende por modelo físico?

As respostas estão classificadas em duas categorias distintas:

- Categoria 1: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 2: Resposta precisa.

Na tabela 2 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 2  
Questão 1 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2
DO e LN		X
AL e GE	X	
AB e ME		X
CA e NA		X
CR e LO	X	
DN e SE		X
DL e RO	X	
BA e BO		X
FE e RS	X	
IA		X

Para essa questão não se perceberam dificuldades em respondê-la por parte dos alunos, pois se trata de leitura e compreensão do texto. As duplas que se encaixam na categoria 1 responderam muito resumidamente, comprometendo a precisão da resposta, por exemplo, CR e LO: “*É uma representação do que se quer produzir*”. DO e LN, tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*Conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procura explicar ou prever as propriedades do sistema, dentro de uma teoria científica já existente*”.

2. Descreva o modelo simplificado de metal que estamos considerando nesse tópic:

As duplas responderam com precisão à pergunta. Apenas a dupla FE e RS responderam de maneira que pode levar a uma interpretação errônea. “*Um sistema simplificado de metal consiste de uma rede cristalina de íons positivos envolta por elétrons que podem mover-se livremente a uma temperatura superior a zero absoluto (0K = - 273°C)*”. Essa informação embora correta dá idéia de que os elétrons possuem movimento apenas em temperaturas superiores ao zero absoluto.

3. Você acredita que a ciência conseguiu atingir patamares incalculáveis somente a partir da observação dos fenômenos que ocorrem na natureza sem que os cientistas tivessem alguma teoria pré-concebida?

As respostas estão classificadas em duas categorias distintas:

- Categoria 1: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 2: Resposta precisa.

Na tabela 3 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 3  
Questão 3 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2
DO e LN		X
AL e GE	X	
AB e ME		X
CA e NA	X	
CR e LO	X	
DN e SE		X
DL e RO	X	
BA e BO		X
FE e RS	X	
IA		X

No decorrer da aula ocorreu bastante discussão a respeito desse aspecto epistemológico que consiste na convergência entre as teorias de Popper, Kuhn,

Lakatos e Laudan: a oposição ao empirismo-indutivismo. Os alunos tiveram dificuldades em aceitar a idéia de que a evolução da ciência ocorre sem que necessariamente haja a observação do fenômeno, conforme é pregado em grande parte dos livros didáticos com os quais esses alunos trabalharam no ensino fundamental e médio. Porém, após as discussões, os alunos começaram a fazer uma construção mais clara a respeito da oposição ao empirismo-indutivismo, aceitando a idéia a partir de exemplos dados, como a existência de uma teoria para a condução de energia elétrica no interior dos fios, sem que esse movimento possa ser visualizado diretamente.

CA e NA, tiveram sua resposta classificada como categoria 1: *“Não, pois determinados fenômenos naturais só se desenvolvem a partir do interesse provocado em pessoas normais por conceitos já existentes”*. IA teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Não, pois não iriam observar, estudar algum objeto ou material sem ter conhecimento sobre o assunto e sem ter um princípio que os levassem a observação”*.

4. Conforme vimos, devido à agitação térmica, os elétrons livres apresentam movimento desordenado no interior do metal enquanto que os íons positivos estão em movimento oscilando em torno de suas posições de equilíbrio. Por que os elétrons livres e os íons positivos apresentam essa diferente movimentação no interior do metal?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Começa fazer uma construção mais clara;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 4 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quarta questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 4

Questão 4 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN	X		
AL e GE		X	



AB e ME		X	
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE		X	
DL e RO		X	
BA e BO	X		
FE e RS		X	
IA			X

Essa questão refere-se à compreensão do modelo de metal existente. Embora atualmente esteja sendo aceito o modelo da Física Quântica, estamos nos detendo ao modelo da Física Clássica. Embora grande parte dos alunos conseguisse compreender as principais diferenças entre a movimentação dos elétrons livres e íons positivos, alguns tiveram dificuldades em transcrever suas idéias e duas duplas não responderam coerentemente à pergunta, sendo sua resposta classificada como categoria 1. BA e BO responderam: “*Os elétrons livres tem massa pequena e movimento ordenado. Os íons possuem grande massa e interagem entre si via ligação covalente, não apresentando grande movimentação*”.

DL e RO tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*Os íons positivos formam a rede cristalina por isso tem pouco movimento, já os elétrons livres têm o movimento observado...*” (referindo-se à animação dos elétrons livres no interior dos condutores, disponível na página).

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*Porque a massa dos íons é maior que a dos elétrons e porque os elétrons estão livres, ao contrário dos íons que estão presos entre si*”.

5. O que você entende por velocidade de deriva?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Resposta incompleta;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 5 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quinta questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 5  
Questão 5 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN	X		
AL e GE		X	
AB e ME		X	
CA e NA		X	
CR e LO	X		
DN e SE		X	
DL e RO	X		
BA e BO		X	
FE e RS	X		
IA		X	

As duplas deram respostas sem envolver questões fundamentais, como por exemplo, a existência de um movimento desordenado dos elétrons, porém em uma direção preferencial com dependência do campo elétrico aplicado, que consiste no que chamamos de “corrente elétrica”.

Analisando o hipertexto disponível aos alunos concluímos que a analogia utilizada para facilitar a compreensão do fenômeno pareceu dificultar o conceito de “velocidade de deriva”:

“Ligando o fio a uma fonte de energia, ou seja, ao submetê-lo a um campo elétrico através da sua ligação com um gerador, aparece uma força de origem elétrica que age sobre cada um dos elétrons livres e também sobre cada íon da rede cristalina. Como os íons possuem grande massa e por interagirem fortemente entre si via ligação covalente, não apresentam grande movimentação. Porém os elétrons livres comportam-se de maneira diferente (podemos compará-los com muitas pessoas que se encontram no interior de um salão de festas no instante em que toca o alarme de incêndio, sendo que no local está disponível apenas uma possível saída. Cada pessoa vai tentar chegar até a saída por caminhos diferentes, passando por obstáculos diferentes – cadeiras, mesas, pessoas. Essa movimentação das pessoas consiste na “velocidade de deriva” também chamada “velocidade de arraste”), ou

seja, os elétrons livres comportam-se como se possuíssem uma pequena velocidade de deriva na direção do campo elétrico, dando origem a um movimento em uma direção preferencial. A esse movimento de elétrons em uma direção preferencial chamamos de “corrente elétrica”.

As duplas que deram respostas classificadas como categoria 1, confundiram as idéias apresentadas, respondendo: “velocidade de deriva é a velocidade que os elétrons atingem ao receber uma corrente elétrica”. No decorrer das aulas constatamos a dificuldade na interpretação de textos e na transcrição das idéias.

FE e RS, tiveram sua resposta classificada como categoria 1: "*A velocidade que os elétrons atingem após receber uma corrente elétrica*".

DN e SE tiveram sua resposta classificada como categoria 2: "*Os elétrons livres possuem uma pequena velocidade na direção do campo elétrico, dando origem a um movimento em uma direção preferencial*". A dupla não especificou que o movimento em uma direção preferencial ocorre de maneira caótica, desordenada.

Nenhuma dupla respondeu satisfatoriamente à questão, envolvendo todas as informações necessárias que caracterizem “corrente elétrica”.

6. Por que podemos afirmar que uma corrente elétrica é estabelecida em um circuito somente quando nele se aplica uma diferença de potencial (ddp)?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 6 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quinta questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 6

Questão 6 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN	X		
AL e GE		X	

AB e ME			X
CA e NA	X		
CR e LO			X
DN e SE			X
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS		X	
IA		X	

A questão em análise, de certa forma complementa a questão anterior, o que nos leva a concluir, pelo grande número de duplas que respondeu precisamente à pergunta apresentada, que houve compreensão por parte dos alunos a respeito do fenômeno da corrente elétrica. Porém existe certa dificuldade na interpretação das idéias apresentadas nos textos e na transcrição das mesmas.

Duas duplas tiveram suas respostas com mesma classificação anterior, o que nos mostra que não compreenderam o conceito de corrente elétrica.

Tiveram sua resposta classificada como categoria 1, DO e LN: *“Porque só assim os elétrons possuem movimentação”*.

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Porque ao aplicar um campo elétrico damos aos elétrons um sentido e uma direção preferencial”*.

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“Porque quando aplicada a ddp os elétrons passam a ter um movimento em uma direção preferencial”*.

7. A resistividade elétrica representa a maior ou menor dificuldade de movimentação dos elétrons livres ao longo do condutor. Sabemos que ela varia em cada material. Por quê?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Começa a fazer uma construção mais clara;

- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 7 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à sétima questão do item três, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 7  
Questão 7 – item 3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE			X	
AB e ME				X
CA e NA	X			
CR e LO				X
DN e SE				X
DL e RO				X
BA e BO				X
FE e RS		X		
IA	X			

Grande parte dos alunos entendeu os motivos pelos quais um material é mais resistivo que outro, sendo a resistividade uma propriedade específica de cada material.

CA e NA, assim como IA tiveram sua resposta classificada como categoria 1. Quando questionadas pelo motivo que as levou deixar a sétima questão sem resposta, as mesmas ficaram surpresas e pediram para conferir o material entregue e, confirmando o questionamento, disseram que foi por distração.

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*O material será tanto melhor condutor de eletricidade quanto menor for o valor de sua resistividade*”.

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*Quanto maior for o número de elétrons livres (por unidade de volume), existentes no sólido*”.

BA e BO tiveram sua resposta classificada como categoria 4: “*1° - Porque o número de elétrons livres por unidade de volume é diferente em cada tipo de material; 2° - cada material é formado por quantidade de íons diferentes, organizados de tal maneira que produzem uma rede cristalina específica para cada*

*material, determinando assim um espaço diferenciado para o movimento dos elétrons livres”.*

**Terceira aula (2 horas-aula no dia 31/10/2006):** A turma dirigiu-se diretamente ao laboratório de informática e agrupou-se de maneira semelhante à aula anterior, mantendo as duplas anteriormente formadas.

Leram e discutiram o item 4: Condutor Perfeito X Supercondutor e item 5: Materiais Supercondutores.

No item 4 apresentamos a idéia da inexistência de condutores e isolantes perfeitos, ou seja, deixamos clara a idéia de que um condutor perfeito é apenas um modelo idealizado de metal, em que o número de impurezas e imperfeições existentes na rede cristalina é desprezível. Percebemos certa dificuldade na compreensão do aspecto epistemológico, bem como uma resistência em aceitar que o conhecimento não evolui a partir da observação livre de pressupostos teóricos. Interferimos no trabalho das duplas pedindo atenção a toda turma para discussão dessa dúvida. Procuramos exemplificar situações em que a observação não consiste na principal etapa para construção de uma teoria científica: falamos sobre a corrente elétrica, que embora não seja possível sua visualização direta, existem teorias envolvidas nesse fenômeno.

A abordagem histórica envolveu os alunos, que ficaram impressionados com a persistência e dedicação dos primeiros cientistas que investigaram o fenômeno. Identificaram os elementos químicos na tabela periódica, momento em que procuramos evidenciar a existência de grande número de materiais supercondutores na natureza (cujo estado é normal a temperatura ambiente). BA questionou se para todos os supercondutores a temperatura na qual a transição do estado normal para o estado supercondutor ocorre é a mesma. Respondemos que cada elemento possui suas características próprias e uma delas é a temperatura crítica.

Salientamos que a perda da resistividade elétrica em determinada temperatura crítica não é a única característica do estado supercondutor. Ela implica também uma passagem ininterrupta de corrente elétrica quando a mesma for estabelecida, mesmo quando o gerador for retirado do circuito elétrico, ou seja, não haverá perda de energia e nenhum aquecimento será observado durante o transporte de energia num circuito supercondutor. DL ficou impressionado com o

fenômeno, fazendo uma previsão da aplicação do transporte de energia elétrica das usinas até as residências.

No final do item 4 disponibilizamos algumas questões para que os alunos as apresentassem copiadas e respondidas na próxima aula.

### QUESTÕES

1) Na realidade existe um condutor perfeito? Explique:

Os alunos compreenderam perfeitamente a idéia de que é praticamente impossível de se obter um material condutor sem defeitos na rede ou sem presença de impurezas. Porém respondem vagamente a pergunta, pois deixam implícito o motivo pelo qual não existem condutores perfeitos. No material hipermídia disponível para o estudo do tema, salienta-se que a origem da resistividade a baixíssimas temperaturas em condutores reais reside na periodicidade imperfeita da estrutura cristalina real de um material e essa justificativa não foi mencionada por nenhuma dupla de alunos.

CA e NA responderam: *“Não, porque em determinadas situações qualquer condutor permite a passagem de portadores de carga com maior ou menor facilidade”*.

2) A resistividade está relacionada com a temperatura do condutor? De que maneira?

Com exceção da dupla CA e NA, as demais entenderam a relação direta existente entre temperatura do condutor e resistividade elétrica, embora essa seja uma aproximação válida apenas para condutores perfeitos e, mesmo nesse caso, a variação da resistividade com a temperatura nesses condutores não é necessariamente linear, ou seja, não necessariamente é diretamente proporcional à temperatura.

CA e NA responderam: *“Quando a temperatura de um supercondutor se aproxima do zero absoluto sua resistividade diminui ficando quase inexistente”*. As alunas confundiram as características dos condutores perfeitos e supercondutores.

DO e LN responderam: *“Para a maioria dos metais, resistividade e temperatura são diretamente proporcionais. Podemos citar como exemplo o*

*filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente: à temperatura ambiente sua resistividade é menor”.*

3) Em que consiste o fenômeno da supercondutividade?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta completamente confusa;
- Categoria 2: Idéia confusa a respeito do fenômeno da supercondutividade;
- Categoria 3: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 8 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item quatro, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 8  
Questão 3 – item 4.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN		X		
AL e GE	X			
AB e ME				X
CA e NA			X	
CR e LO				X
DN e SE			X	
DL e RO				X
BA e BO				X
FE e RS	X			
IA			X	

Grande parte da turma respondeu satisfatoriamente à questão três, levando-nos a acreditar que houve compreensão da propriedade de resistividade nula nos supercondutores.

AL e GE tiveram sua resposta classificada como categoria 1: “*Consiste em um material que não tem resistividade alguma, onde há perda de energia*”. Quando questionados a respeito da resposta dada, ficaram confusos e confirmaram a resposta escrita. FE e RS também tiveram sua resposta classificada como categoria



1: *“Consiste em elementos e combinações de elementos químicos que formam materiais e apresentam supercondutividade”.*

A dupla DO e LN, cuja resposta foi classificada na categoria 2, errou na redação da resposta: *“Consiste em um material que não tem resistividade alguma onde a perda de energia, ou seja, zero”.* Conversando com os alunos da dupla, questionou-se sobre o que pretendiam dizer com a resposta da questão e LN logo percebeu erro na escrita. LN disse: *“deveríamos ter escrito – consiste em um material que não tem resistividade alguma, onde a perda de energia é nula!”.*

DN e SE tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“Supercondutividade é o fenômeno da resistividade nula. Não haveria perda de energia nesse condutor e ela ali permaneceria”.*

DL e RO tiveram sua resposta classificada como categoria 4: *“Consiste em um material que não possui resistividade alguma, onde a perda de energia no material é nula”.*

É conveniente mencionar que, nessa etapa, os alunos ainda não tiveram contato com as outras propriedades do estado supercondutor, como o Efeito Meissner, por exemplo.

No item 5 são apresentadas as temperaturas críticas de vários elementos supercondutores, as características da estrutura cristalina de vários elementos. Destacamos os supercondutores de alta temperatura crítica, justificando a empolgação dos cientistas, que ainda hoje têm se dedicado à obtenção de supercondutores que possuam temperaturas críticas próximas da temperatura ambiente, ou que possam ser alcançadas por processos comuns de refrigeração.

A partir dessa aula a turma começa a aceitar a oposição ao empirismo-indutivismo que abordamos desde o primeiro item desenvolvido.

No final do item 5, disponibilizamos algumas questões para que os alunos as apresentassem copiadas e respondidas na próxima aula. A seguir faremos uma breve análise das respostas dadas pelos alunos.

#### QUESTÕES:

1) Por que os estudos feitos com cupratos supercondutores causaram grande impacto no meio científico quando foram anunciados?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Idéia confusa;
- Categoria 2: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 9 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item cinco, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 9  
Questão 1 – item 5.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN		X	
AL e GE		X	
AB e ME	X		
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE	X		
DL e RO		X	
BA e BO		X	
FE e RS			X
IA	X		

Os grupos classificados na categoria 1 da tabela 9 não conseguiram se expressar coerentemente na resposta apresentada. Acredita-se que não conseguiram captar a idéia de revolução que a descoberta dos cupratos supercondutores causou no meio científico, possivelmente devido ao fato de que o vocabulário utilizado não faz parte do cotidiano dos alunos, embora o mesmo já tenha sido estudado em anos anteriores na disciplina de Química.

Como exemplo citamos a resposta dada pela dupla AB e ME, que tiveram sua resposta classificada como categoria 1: *“Porque as cerâmicas em geral são boas condutoras de eletricidade, isso levando em conta que a cuprata, são compostos alguns sólidos que constituem a cerâmica. Baixo custo, temperatura alta (cerâmica:  $T = 100K$ ).*

Percebeu-se que as duplas classificadas na categoria 2 captaram a idéia de que a descoberta dos cupratos supercondutores causou impacto no meio científico pelo fato de os mesmos serem cerâmicas e geralmente as cerâmicas não serem boas condutoras de eletricidade. Além disso, a temperatura crítica desses compostos é bastante elevada se comparada com os supercondutores que os antecederam, o que possibilitou a utilização dos supercondutores a um custo relativamente baixo. Apesar de terem captado a idéia, conforme acima descrito, os alunos tiveram dificuldades em transcrever suas respostas, como podemos perceber através da resposta incompleta dada por BA e BO: *“Os sólidos de cupratos nada mais são do que cerâmicas e causaram grande surpresa, pois as cerâmicas em geral não são boas condutoras de eletricidade”*.

Já os alunos que tiveram suas respostas classificadas como categoria 3 identificaram de maneira precisa os motivos pelos quais os cientistas comemoraram a evolução dos estudos feitos com os cupratos supercondutores. CR e LO escreveram: *“Os sólidos de cupratos nada mais são do que cerâmica e causaram grandes surpresas, pois as cerâmicas não são boas condutoras de eletricidade. Nesse caso a supercondutividade é alcançada em altas temperaturas, ou seja, mais próximas à temperatura ambiente”*.

2) Para a liga (ou composto) ser supercondutora, é necessário que todos os elementos que a compõe sejam supercondutores? Justifique.

Durante a aula houve bastante interação entre componentes da dupla, entre duplas vizinhas e a professora. Exemplificando a formação do YBCO ou YBaCUO, pedimos que os alunos visitassem a tabela periódica disponível no site, analisando cada elemento químico necessário para formar o cuprato. Dessa maneira os alunos compreenderam que não há necessidade de todos os elementos que formam a liga (ou composto) sejam supercondutores, isoladamente.

Atribuímos a dificuldade na compreensão da pergunta pelo fato de que o *link* que possibilita a visualização da tabela periódica encontra-se no item anterior. Porém, quando indicada pela professora a necessidade de análise da tabela periódica, souberam onde deveriam ir para encontrá-la.

3) Quais vantagens surgem a partir dos estudos feitos com as cerâmicas supercondutoras?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Em branco;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Faltam informações a respeito das vantagens;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 10 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item cinco, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 10  
Questão 3 – item 5.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE			X	
AB e ME		X		
CA e NA			X	
CR e LO			X	
DN e SE	X			
DL e RO			X	
BA e BO				X
FE e RS				X
IA				X

DN e SE não responderam à questão e quando questionados, pediram para conferir o material entregue e ficaram surpresos com a distração que tiveram em não respondê-la, já que a mesma estava respondida em seus cadernos, conforme se pôde comprovar.

AB e ME foi a única dupla a ter sua resposta classificada como categoria 2: “A vantagem é que quando utilizado esse tipo de condutor não há perda de energia elétrica em seu transporte”.

As duplas classificadas na categoria 3 respondem à questão, porém faltaram alguns detalhes a respeito das vantagens obtidas a partir dos estudos feitos com as

cerâmicas supercondutoras. Citam que os materiais que formam os compostos são simples, de baixo custo, com propriedades singulares, porém esquecem que a temperatura crítica desses materiais causou grande expectativa por ser mais elevada do que a barreira tecnológica imposta pela temperatura de ebulição do nitrogênio líquido. Como exemplo, citamos a resposta dada por CR e LO: “*Podem ser alcançadas de maneira simples e com baixo custo*”.

\* **Quarta aula (2 horas-aula no dia 06/11/2006):** Os alunos foram encaminhados ao laboratório de Física do colégio. Divididos em quatro grupos, realizaram algumas atividades práticas sobre a indução eletromagnética. O roteiro de atividade prática (indução eletromagnética) encontra-se no apêndice 03. Cada grupo realizou as duas atividades propostas no roteiro. Atividade 01: Corrente elétrica gera campo magnético; Atividade 02: Campo magnético gera corrente elétrica. O roteiro das atividades 01 e 02 foram retirados do manual de experimentos do Cidepe, experimento cujo número identificador é: 1082.120 e também 1082.128, com autorização da empresa citada.

A atividade 01: Corrente elétrica gera campo magnético, tem por objetivo levar o aluno a concluir que corrente elétrica induz campo magnético em torno do condutor. Com uma bússola, fios condutores e uma fonte de alimentação regulável (com proteção contra curto-circuito), os grupos executaram a montagem conforme orientação do roteiro e realizaram os procedimentos indicados, anotando as observações, discutindo os resultados entre os componentes do grupo e confirmando-os com a professora.

A atividade 02: Campo magnético gera corrente elétrica, teve por objetivo levar o aluno a concluir que a variação do campo magnético induz corrente elétrica num condutor, ou seja, o caminho inverso da atividade 01 é possível.

Conectamos uma bobina a um galvanômetro. Os alunos aproximavam o ímã no interior da bobina e o retiravam, observando o ponteiro do amperímetro. Os alunos anotaram suas observações, seguindo as sugestões de atividades do roteiro (Apêndice 03). Também foi analisado o sentido da corrente elétrica quando o ímã entra ou sai do interior da bobina. Foi necessária interferência da professora em todos os grupos para que os mesmos conseguissem analisar o sentido das linhas de indução magnética e, conseqüentemente, da corrente elétrica. Ainda assim, muitos alunos não conseguiram entender com clareza os fenômenos envolvidos.

\* **Quinta aula (2 horas-aula no dia 07/11/2006):** Essa aula complementa a aula anterior. No laboratório de informática os alunos reuniram-se em duplas para discutirem e visualizarem as animações referentes ao conteúdo Indução eletromagnética (item 6), disponíveis no material. Os alunos AB, LO, DL, FE, IA comentaram que após terem visualizado as animações no computador conseguiram entender os efeitos das linhas de campo magnético que a professora lhes falou na aula prática, em que não haviam conseguido imaginar a situação. Esses comentários evidenciam que as simulações facilitaram a compreensão do fenômeno, porém não substituem a atividade prática realizada.

As questões disponíveis no final do item 6 - Indução eletromagnética foram copiadas, respondidas e apresentadas pelos alunos à professora. A seguir apresentam-se as respostas dadas pelos alunos. A dupla DN e SE não apresentaram as questões referentes ao item seis.

### QUESTÕES

1. Explique detalhadamente qual foi a revelação decorrente dos estudos de Michael Faraday e Joseph Henry.

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Faltam os detalhes especificados na pergunta;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 11 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item seis, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 11  
Questão 1 – item 6.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE			X	
AB e ME			X	
CA e NA			X	

CR e LO				X
DN e SE	X			
DL e RO		X		
BA e BO				X
FE e RS				X
IA			X	

Novamente identifica-se a dificuldade de grande parte dos alunos da turma em desenvolver respostas completas, com riqueza de informações, embora tenham conseguido entender que corrente elétrica produz campo magnético, bem como que a variação de campo magnético produz corrente elétrica.

DL e RO tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Henry respondeu as perguntas sobre indução eletromagnética antes que Faraday. Mas Faraday ficou com o mérito pois mostrou antes seus estudos”*.

IA teve sua resposta classificada como categoria 3: *“Os estudos de Faraday mostram que não era preciso o uso de bateria ou outra fonte de voltagem para que a corrente elétrica pudesse ser produzida em um fio; já Joseph Henry não conseguiu aprofundar suas pesquisas nem publicar seus resultados a tempo pois dedicava-se tempo integral a matemática e filosofia”*.

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 4: *“Que havia relações entre carga elétrica e ímãs, dessa maneira descobriu-se que uma agulha magnética movimentava-se devido a existência de um campo elétrico e assim se estabeleceu definitivamente a relação entre fenômenos elétricos e magnéticos”*.

2. Para ocorrer indução eletromagnética é necessário que exista variação de \_\_\_\_\_.

Completando a questão, teremos: Para ocorrer a indução eletromagnética é necessário que exista variação de fluxo magnético.

Essa questão deveria ter sido elaborada no sentido de levar o aluno a perceber que a variação de fluxo magnético ocorre num certo tempo.

Apenas a dupla DO e LN responderam: corrente elétrica, pois confundiram os termos utilizados na questão proposta, levando-os a concluir que estavam sendo questionados a respeito do campo magnético induzido.

3. Um veículo movimenta-se sobre uma espira fechada de um condutor que foi colocada sobre o asfalto. Haverá alteração do campo magnético no interior da espira? Então pode ser produzido um pulso de corrente elétrica? Cite uma aplicação prática para esse fenômeno.

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta incompleta;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 12 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item seis, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 12  
Questão 3 – item 6.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN			X
AL e GE			X
AB e ME		X	
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE	X		
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS			X
IA			X

Ao analisar a tabela 12, fica claro que houve compreensão do fenômeno da indução eletromagnética. Quando elaboramos a pergunta, tínhamos idéia de levar o aluno a perceber outras aplicações para o fenômeno, porém pela forma com a qual a questão foi elaborada ficou marcante a aplicação da indução eletromagnética apenas em lombadas eletrônicas, embora não tenha sido a única apresentada no hipertexto.

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*Sim devido a uma variação do campo*”.



As demais duplas, com exceção de DN e SE que deixaram de responder a todas as perguntas do item 6, tiveram suas respostas classificadas como categoria 3. Cita-se a resposta dada por FE e RS: “*Sim, devido a variação de campo magnético. Exemplo: em lombadas eletrônicas*”.

4. Conta-se que a esposa de Joseph Henry destruiu parte de seu vestido de casamento, produzindo seda para envolver os fios das bobinas produzidas por Henry. Por que esses fios deveriam ser envoltos? Que material é utilizado atualmente para envolver os fios?

Essa questão provocou risos nas duplas ao imaginar a situação da esposa de Henry. LO comentou: “Henry não precisaria levar tão a sério a afirmação – Tudo pela ciência!”.

Como nada a respeito do isolamento dos fios da bobina estava disponível no hipertexto, na aula prática sobre indução magnética, quarta aula, comentou-se a respeito da necessidade desse isolamento para evitar “curto circuito” e que atualmente o isolamento é feito com um verniz especial (esmalte) com o qual o fio de cobre é revestido. Como essa informação, aparentemente, é muito óbvia, os alunos não a anotaram em suas observações. Ao responder à questão, algumas duplas utilizaram a expressão “curto elétrico” ou até mesmo para “evitar choque”, como alternativa para responder a questão. CA e NA responderam: “*Para evitar um curto-circuito, usa-se um tipo de verniz*”. DL e RO responderam: “*Devem ser envoltos para não sofrer curto elétrico. Hoje se usa verniz*”.

Ainda nessa aula as duplas iniciaram a leitura e discussão do item 7: Propriedades do estado supercondutor, concluindo o item 7.1: resistividade nula.

\* **Sexta aula (2 horas-aula no dia 14/11/06):** Houve a visita da orientadora, prof<sup>a</sup>. Dra. Fernanda Ostermann, a qual estava sendo ansiosamente esperada pela turma. Nessa aula demonstramos o fenômeno da levitação magnética com auxílio de nitrogênio líquido e o “kit levitação magnética” preparado no laboratório de supercondutividade da UFRGS. Os passos da demonstração foram acompanhados com muita atenção por parte de todos. LO, RO, AB, SE, IA não se contentaram somente com as demonstrações e tentaram manusear o ímã enquanto levitava, verificando pessoalmente a intensidade da força de repulsão entre o ímã e o supercondutor, com auxílio de um pedaço de arame fixo em um tubo de caneta.

O nitrogênio foi um atrativo à parte, em que os alunos vibraram por poder manuseá-lo e fazer novas descobertas a respeito da mudança de estado físico de uma substância com a qual, até então, não tinham tido contato. SE, DO, DN, RO, SE, BO, BA inseriram rapidamente o dedo no interior do recipiente com o nitrogênio líquido, RO procurou no pátio da escola uma borboleta, que foi inserida ainda viva no nitrogênio e todos ficaram espantados com a forma imediata que a mesma apresentou. LO comentou sobre as propriedades do nitrogênio líquido que são apresentadas em filmes de ficção científica, questionando sua veracidade.

Após as explicações dadas, as curiosidades sanadas, os alunos foram encaminhados ao laboratório de informática, onde trabalharam os conceitos teóricos que surgiram no decorrer da atividade demonstrativa da levitação magnética, discutindo os itens 7.2 (Efeito Meissner) e 7.3 (Levitação magnética) através do texto e das animações produzidas previamente e disponíveis no material hipermédia. Surgiram muitas dúvidas referentes ao Efeito Meissner. Grande parte dos alunos procurou contato com a prof<sup>a</sup>. Dra. Fernanda, sentindo-se seguros e orgulhosos com a atenção e explicações dadas por ela. As animações facilitaram a compreensão do fenômeno da levitação magnética, pois demonstraram claramente a formação das linhas de campo magnético no momento em que a pastilha de YBCO ou YBaCuO estava no estado normal e, posteriormente, no estado supercondutor “amarrando” o ímã pela formação de uma configuração de campo magnético diferente da inicial.

Como tarefa para a próxima semana, solicitou-se aos alunos que estivessem preparados para falar aos colegas sobre seu entendimento do Efeito Meissner e da levitação magnética.

**\* Sétima aula (2 horas-aula no dia 17/11/2006):** Os alunos dirigiram-se ao laboratório de informática e alguns deles sentiram-se preparados para falar aos colegas sua impressão sobre o Efeito Meissner e sobre o fenômeno da levitação magnética, observada na aula anterior. As apresentações foram filmadas e observou-se uma discussão interessante a partir das explicações dadas individualmente por AB, LN e LO, contando com participação e aplausos de todos. A professora precisou interferir somente na explicação dada por AB, lembrando-o de alguns termos específicos que AB não lembrou momentaneamente, provavelmente por certo nervosismo de estar apresentando suas idéias aos colegas. AB aproveitou

a lousa branca e canetões coloridos para desenhar as linhas de campo numa pastilha supercondutora em seu estado normal e em seu estado supercondutor. LO e LN aproveitaram as animações disponíveis para fazer suas demonstrações e auxiliá-los nas explicações. Outros alunos afirmaram estar preparados, porém não se sentiram motivados em apresentar seus conhecimentos aos colegas.

Os alunos copiaram e responderam as questões disponíveis na página referentes aos itens 7.2 – Efeito Meissner e 7.3 – Levitação Magnética.

QUESTÕES (item 7.2 – Efeito Meissner):

1. Em que consiste a Temperatura crítica?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 13 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item 7.2, de acordo com as categorias acima identificadas.

A aluna IA não respondeu as questões do item 7.2.

Tabela 13  
Questão 1 – item 7.2.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE			X	
AB e ME			X	
CA e NA			X	
CR e LO			X	
DN e SE			X	
DL e RO		X		
BA e BO				X
FE e RS			X	

IA	X			
----	---	--	--	--

As respostas classificadas como categoria 3 foram muito vagas, deixando a desejar por faltar informações importantes, como por exemplo a perda completa da resistividade ao atingir tal temperatura, que é própria de cada supercondutor.

DL e RO tiveram sua resposta classificada como categoria 2 pois escreveram: “*A temperatura crítica é quando um material atinge a temperatura zero*”.

DN e SE tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*É quando o material atinge resistividade nula*”.

BA e BO tiveram sua resposta classificada como categoria 4, pois escreveram: “*A perda completa da resistividade é uma das características do estado supercondutor. A perda da resistividade elétrica ocorre numa dada temperatura, chamada temperatura crítica*”. Embora não especificaram ser essa uma característica de cada tipo de supercondutor, consideramos satisfatória a resposta dada.

## 2. O que se entende por “diamagneto perfeito”?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 14 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à segunda questão do item 7.2, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 14  
Questão 2 – item 7.2.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE		X		
AB e ME		X		
CA e NA		X		
CR e LO				X

DN e SE		X		
DL e RO			X	
BA e BO			X	
FE e RS		X		
IA	X			

DN e SE tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“São variáveis e determinam a mudança de estado físico do material”*. As outras duplas que tiveram suas respostas classificadas como categoria 2 também confundiram a mudança de estado físico da matéria com a variação termodinâmica do estado supercondutor.

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“É uma característica do material supercondutor, que repele o ímã quando se encontra na temperatura crítica”*.

CR e LO tiveram sua resposta classificada como categoria 4, sendo a única dupla que usou maior riqueza de informações para responder a questão: *“É uma característica dos materiais supercondutores, ele atinge o diamagneto perfeito quando expulsa o campo magnético interno, repelindo ímãs”*.

3. Explique detalhadamente qual foi a revelação decorrente dos estudos de W. Meissner e R. Ochsenfeld.

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 15 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item 7.2, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 15  
Questão 3 – item 7.2.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE		X		

AB e ME				X
CA e NA			X	
CR e LO				X
DN e SE				X
DL e RO			X	
BA e BO				X
FE e RS				X
IA	X			

AL e GE tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “Com base nos estudos de Meissner, essas correntes são persistentes devido ao fato de não haver resistividade zero, o campo magnético  $B$  dentro do material é nulo, descobrindo assim que a resistividade é nula”.

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “Através de experiências realizadas eles descobriram que além da resistividade nula os supercondutores expulsam o campo magnético de seu interior. De uma amostra de material no estado supercondutor submetido a um campo magnético, teremos campo magnético interno sempre nulo”.

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 4: “Através de experiências realizadas eles descobriram que além da resistividade nula, os supercondutores expulsam o campo magnético de seu interior, em outras palavras, no interior de uma amostra de material no estado supercondutor submetido a um campo magnético externo, teremos  $B$  sempre nulo (Efeito Meissner)”.

4. Diferencie:  $\vec{B}_a$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{B}_{ind}$ ,  $\vec{B}_i$ .

Essa questão teve por objetivo levar o aluno a identificar e familiarizar-se com a simbologia adequada para a compreensão das propriedades do estado supercondutor.

$\vec{B}_a$ , Campo magnético externo;

$\vec{B}$ , Campo magnético;

$\vec{B}_{ind}$ , Campo magnético induzido;

$\vec{B}_i$ , Campo magnético interno.

Todas as duplas identificaram os símbolos corretamente.

5. Como surgem as correntes induzidas na superfície da amostra supercondutora?

Com exceção da aluna IA, que não entregou as questões referentes ao item 7.2, as outras duplas responderam da mesma maneira: “*Elas surgem em resposta a um campo magnético aplicado ( $\vec{B}_a$ )*”. Analisando o texto disponível no material de apoio, julgamos que os alunos poderiam ter explorado melhor o mesmo e formulado uma resposta precisa.

6. O que entende-se através da afirmação: “um condutor perfeito obedece à Lei de Faraday enquanto que um supercondutor apresenta Efeito Meissner”?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 16 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à sexta questão do item 7.2, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 16  
Questão 6 – item 7.2.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN			X	
AL e GE		X		
AB e ME				X
CA e NA				X
CR e LO				X
DN e SE				X

DL e RO			X	
BA e BO				X
FE e RS				X
IA	X			

AL e GE tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Resistividade somente a variação de campo magnético externo”*.

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“Um supercondutor pode ser magnetizado no final de tudo não fica magnetizado e o condutor perfeito suporta a magnetização e depois de resfriado fica magnetizado”*. Também DL e RO tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“O supercondutor, pode ser resfriado e magnetizado alteradamente, no final de tudo não fica magnetizado. O condutor perfeito exposto ao campo magnético e depois resfriado fica magnetizado”*.

As demais duplas tiveram sua resposta classificada como categoria 4. Para ilustrar, citamos a resposta da dupla DN e SE: *“A Lei de Faraday é obedecida pelos condutores perfeitos e reage somente a uma variação do campo magnético externo, enquanto que o Efeito Meissner, visto somente nos materiais supercondutores que reagem à simples presença de um campo magnético externo”*.

#### QUESTÕES (item 7.3 – Levitação Magnética)

1. Como podemos explicar o fenômeno da levitação magnética?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;
- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 17 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item 7.3, de acordo com as categorias acima identificadas.



Tabela 17  
 Questão 1 – item 7.3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN		X		
AL e GE		X		
AB e ME			X	
CA e NA			X	
CR e LO				X
DN e SE			X	
DL e RO			X	
BA e BO			X	
FE e RS			X	
IA	X			

A dupla DO e LN teve sua resposta classificada como categoria 2: “Quando inexistir um ímã com o campo magnético suficientemente leve. Naquela época ainda não era conhecido o fenômeno da levitação magnética que é uma manifestação do efeito Meissner”.

Grande parte das duplas respondeu à questão com falta de informações, sendo suas respostas classificadas como categoria 3: “Quando a temperatura crítica é atingida, a amostra passará a ser supercondutora. Nos supercondutores, o campo magnético total no seu interior é nulo”.

A dupla CR e LO teve sua resposta classificada como categoria 4: “A levitação magnética acontece devido a um material (ex: YBaCuO) que na sua temperatura crítica se torna um supercondutor (um diamagneto perfeito), assim o material expulsa as linhas de campo magnético de seu interior, repelindo então o ímã, fazendo com que ele levite”.

2. De que maneira o supercondutor passará a ter comportamento diamagneto perfeito?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;

- Categoria 3: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 18 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à segunda questão do item 7.3, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 18  
Questão 2 – item 7.3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN				X
AL e GE				X
AB e ME		X		
CA e NA		X		
CR e LO			X	
DN e SE		X		
DL e RO			X	
BA e BO			X	
FE e RS				X
IA	X			

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*Depois que ele eliminar a temperatura crítica*”.

CR e LO tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*Um supercondutor passa a ter comportamento diamagneto perfeito quando está na sua temperatura crítica*”.

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 4: “*Quando a temperatura crítica ( $T_c$ ) é atingida, a amostra passará a ser supercondutora. As supercorrentes geram seu próprio campo magnético ( $\vec{B}_i$ ) e o campo magnético total ( $\vec{B} = \vec{B}_a + \vec{B}_i$ ), dentro do supercondutor será nulo*”.  $\vec{B}_a$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{B}_{ind}$ ,  $\vec{B}_i$ .

3. Em que momento o ímã atinge o equilíbrio?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Resposta confusa;

- Categoria 3: Resposta precisa

Na tabela 19 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item 7.3, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 19  
Questão 3 – item 7.3.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN		X	
AL e GE			X
AB e ME		X	
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE		X	
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS			X
IA	X		

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*No momento em que a força magnética se igualar a zero*”.

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*No momento em que a força magnética se ajustar ao peso*”.

No momento em que as propriedades do estado supercondutor haviam sido compreendidas, os alunos passaram a discutir os assuntos referentes aos itens: 8. Transição do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico; 9. Teoria BCS e algumas analogias – 9.1. Resistividade nula e pares de Cooper e 9.2. O efeito “colchão”.

Inicialmente, os alunos partiram para a execução das animações, achando-as interessantes. Porém, não procuraram discutir os conceitos e fazer as leituras referentes às animações apresentadas e, conseqüentemente, não tiveram uma real compreensão do significado das analogias. No momento em que foram responder às questões disponíveis no final do item 9, as duplas chamaram a professora para auxiliá-los na compreensão. Nesse momento incentivou-se a leitura dos textos que complementam as animações para que as analogias fizessem sentido. Quando as

leituras foram concluídas, o entendimento dos conceitos por parte dos alunos melhorou.

No final dos itens 8 e 9 foram disponibilizadas algumas questões que orientaram o estudo dos alunos, induzindo-os a fazer uma leitura atenta e detalhada dos textos complementares às animações. Os alunos copiaram, responderam e apresentaram as questões à professora:

#### QUESTÕES (item 8)

1. De que maneira podemos comparar uma mudança de estado físico com a passagem do estado normal para o estado supercondutor?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Respondeu com falta de informações;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 20 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item 8, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 20  
Questão 1 – item 8.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN		X	
AL e GE	X		
AB e ME			X
CA e NA		X	
CR e LO			X
DN e SE			X
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS		X	
IA	X		

IA teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Ocorrer em várias substâncias porém com a estrutura cristalina organizada de forma diferente”*.

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Ao se oferecer calor a um corpo, esse aumenta sua temperatura, aumentando a agitação das moléculas podendo assim modificar a estrutura atômica do corpo em questão”*.

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“A mudança de estado físico e a mudança do estado normal para o estado supercondutor ambos precisam de indicadores físicos para a transformação. Mudança de estado físico – indicadores: temperatura e pressão; mudança do estado normal para o estado supercondutor: indicadores: temperatura e campo magnético.*

2. Quais são as variáveis termodinâmicas envolvidas na supercondutividade?

Todas as duplas responderam corretamente à questão, ou seja, citaram como variáveis termodinâmicas a temperatura e a campo magnético aplicado.

3. Quais são os indicativos físicos que afetam a mudança do estado normal para o supercondutor?

As duplas DN e SE, CR e LO, AB e ME, FE e RS, CA e NA, DO e LN responderam corretamente, citando temperatura e campo magnético como indicativos físicos que afetam a mudança do estado normal para o supercondutor.

IA; AL e GE indicaram além da temperatura e campo magnético, a pressão.

BA e BO, DL e RO não entenderam a questão e citaram, como indicativos físicos que afetam a mudança do estado normal para o supercondutor, a temperatura e a pressão.

4. Em que consiste o campo magnético crítico?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Respondeu corretamente, inclusive utilizando a analogia da transição de estado físico citado no material didático construído;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 21 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quarta questão do item 8, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 21  
 Questão 4 – item 8.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN		X	
AL e GE	X		
AB e ME			X
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE			X
DL e RO		X	
BA e BO		X	
FE e RS		X	
IA	X		

Os alunos AL e GE tiveram sua resposta classificada como categoria 1: *“Consiste em que, um supercondutor possa ser submetido sem que haja transmissões supercondutoras, passando a ser um material em estado normal”*.

A dupla DL e RO teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Existe um valor de campo magnético ao qual o supercondutor possa ser submetido sem que haja transição supercondutora, ou seja, passe a ser um metal em estado normal, a exemplo da temperatura de vaporização que influencia na passagem da fase gasosa para a fase líquida”*.

A dupla DN e SE teve sua resposta classificada como categoria 3: *“Um valor de campo magnético ao qual o supercondutor possa ser submetido sem que haja transição, ou seja, sem que passe a ser um metal em estado normal”*.

#### QUESTÕES (item 9)

1. Discuta com seu colega e anote as características relevantes da analogia dos dominós enfileirados.

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

Categoria 1: Resposta confusa;;

Categoria 2: Teve dificuldade em identificar as características da analogia;

Categoria 3: Respondeu à questão envolvendo as características dos condutores perfeitos e dos supercondutores;

Na tabela 22 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à primeira questão do item 9, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 22

Questão 1 – item 9.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN			X
AL e GE			X
AB e ME	X		
CA e NA			X
CR e LO			X
DN e SE	X		
DL e RO		X	
BA e BO		X	
FE e RS		X	
IA			X

DN e SE tiveram sua resposta classificada como categoria 1: *“Estão desordenados, quando um desses dominós é empurrado alguns que forem encostados também caem, e se pararem de cair vai ser preciso empurrar novamente”*.

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Que quando não há resistividade, eles caíram enfileirados, e quando há resistividade eles caíram desordenadamente”*.

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 3: *“Os dominós representam os elétrons. Ao caírem, um após o outro enfileirados representam a falta de resistência da rede cristalina dos elétrons e, quando caem de forma desordenada demonstram a resistência imposta pela rede cristalina. Sendo assim, concluímos que no primeiro caso se trata de um supercondutor e no segundo de um condutor perfeito”*.

2. Compare as características da analogia dos dominós enfileirados com o estado normal e supercondutor.

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

Categoria 2: Não respondeu;

Categoria 2: Resposta confusa;

Categoria 3: Há dificuldade em relacionar a analogia dos dominós com as propriedades dos condutores e supercondutores;

Categoria 4: Respondeu precisamente.

Na tabela 23 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à segunda questão do item 9, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 23  
Questão 2 – item 9.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
DO e LN		X		
AL e GE			X	
AB e ME			X	
CA e NA				X
CR e LO	X			X
DN e SE			X	
DL e RO		X		
BA e BO		X		
FE e RS				X
IA			X	

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “Resposta na questão número 3”. A questão 3 não está relacionada a essa questão. DL e RO também tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “Estão desordenados, quando um desses dominós é empurrado, alguns que forme encostados também caem, e se pararem de cair vai ser preciso empurrarem novamente”.

AB e ME tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “No estado normal a corrente elétrica só será constante na presença de um campo elétrico (gerador), como na analogia. No estado supercondutor os elétrons se atraem



*mutuamente, e necessitam um do outro, então ao contrário do que se apresenta a analogia do estado normal, se o primeiro dominó for empurrado, todos os outros cairão”.*

FE e RS tiveram sua resposta classificada como categoria 4: *“Quando os dominós caem de forma desordenada comparamos aos elétrons de um condutor perfeito; quando eles caem ordenadamente (enfileirados), comparamos aos elétrons do estado supercondutor.*

3. Novamente discuta com seu colega e anote as características relevantes da animação dos pares de Cooper.

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

Categoria 1: Resposta confusa;

Categoria 2: Resposta com falta de informações;

Categoria 3: Respondeu precisamente.

Na tabela 24 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à terceira questão do item 9, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 24

Questão 3 – item 9.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN			X
AL e GE	X		
AB e ME		X	
CA e NA		X	
CR e LO		X	
DN e SE		X	
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS	X		
IA	X		

A dupla AL e GE teve sua resposta classificada como categoria 1: “Os elétrons podem modificar a rede cristalina através da atração coulombiana, pois são muito ligados a esta”.

A dupla CR e LO teve sua resposta classificada como categoria 2: “Os pares de Cooper dependem uns dos outros e dessa maneira se alterarmos um par, o conjunto de pares do supercondutor serão afetados”.

A dupla DO e LN teve sua resposta classificada como categoria 3: “Quando esses elétrons (dos pares de Cooper) viajam pela rede cristalina constituída por íons positivos, provocam uma ligeira distorção dessa mesma rede (devido a atração coulombiana – cargas de sinais opostos se atraem) entre o par de elétrons e os íons positivos. Esse movimento de inúmeros pares de Cooper é infinito, ou seja, a corrente elétrica flui indefinidamente, ou seja, o material apresenta resistividade nula.

4. Anote as características relevantes da analogia “efeito colchão”.

As respostas estão classificadas em duas categorias distintas:

Categoria 1: Há dificuldade em escrever suas idéias;

Categoria 2: Respondeu precisamente.

Na tabela 25 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quarta questão do item 9, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 25  
Questão 4 – item 9.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2
DO e LN		X
AL e GE	X	
AB e ME		X
CA e NA		X
CR e LO	X	
DN e SE	X	
DL e RO		X
BA e BO		X
FE e RS	X	

IA	X
----	---

Para ilustrar as respostas dadas e classificadas como categoria 1, cita-se a dupla DN e SE: *“No colchão onde não há deformação, em retilínea, os elétrons, de cargas iguais, sofreram repulsão; no colchão onde a deformação é grande, ocorre porque os elétrons além de se repelirem sofreram uma atração bem superior”*.

BA e BO tiveram sua resposta classificada como categoria 2: *“Na analogia do efeito colchão os elétrons, além da repulsão coulombiana, sofrem uma força de atração que poderá ser superior à força elétrica de repulsão”*.

5. Compare a analogia do “efeito colchão” com a animação dos pares de Cooper. Quais as semelhanças encontradas?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

Categoria 1: Resposta confusa;

Categoria 2: Respondeu sem precisão nas informações;

Categoria 3: Respondeu precisamente.

Na tabela 26 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à quinta questão do item 9, de acordo com as categorias acima identificadas.

Tabela 26  
Questão 5 – item 9.

DUPLAS	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
DO e LN	X		
AL e GE			X
AB e ME		X	
CA e NA		X	
CR e LO			X
DN e SE		X	
DL e RO			X
BA e BO			X
FE e RS		X	
IA		X	

DO e LN tiveram sua resposta classificada como categoria 1: “*Que é como as esferas elétrons negativos afastam o campo magnético que é positivo*”.

CA e NA tiveram sua resposta classificada como categoria 2: “*Os pares de Cooper são representados pela esferas e o colchão seria a rede cristalina, que se deforma com a passagem dos elétrons*”.

AL e GE tiveram sua resposta classificada como categoria 3: “*Tanto no efeito colchão como os pares de Cooper há uma deformação na rede cristalina – representada pelo colchão no primeiro caso e dos íons positivos no segundo caso – pelos elétrons que se atraem contrariando aparentemente a repulsão coulombiana*”.

\* **Oitava aula (2 horas-aula no dia 21/11/2006):** No laboratório de informática os alunos leram e discutiram as aplicações (transmissão de potência e levitação magnética). Também pesquisaram outras aplicações do fenômeno no próprio site desenvolvido para o estudo do tema, bem como em *sites* de busca. Foram incentivados a procurar por mais aplicações dos materiais supercondutores em sites de busca. A maioria dos alunos (AB, AL, BA, DL, DO, DN, GE, LN, ME, RS e RO) teve curiosidade em entender melhor o funcionamento do Mag-Lev; CA, DN, LN, RO procuraram o significado dos SQUIDS; CR, DN, IA, LO, LN, ME, NA, SE se ocuparam em saber mais sobre o transporte de energia; GE interessou-se em saber mais sobre os cupratos supercondutores.

Entregou-se o questionário final para que os alunos respondessem às questões propostas. Dessa maneira, encerraram-se as aulas de Física dos supercondutores, com a certeza da empolgação da turma pelo tema e com elogios incansáveis de muitos a respeito da proposta, da concepção e execução do material didático. As questões foram respondidas individualmente e sem consulta.

Combinamos o prazo da entrega das questões dos itens disponíveis no material, que foram discutidas e respondidas no decorrer das aulas em que o tema da supercondutividade foi estudado.

## 5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se as questões que foram encaminhadas aos alunos da turma no primeiro dia da implementação do projeto. O questionário inicial (Apêndice 01) teve propósito de obter manifestações que evidenciassem o posicionamento dos alunos e seu nível de conhecimento a respeito do tema escolhido, a supercondutividade. O questionário inicial está composto por uma questão aberta e onze questões de múltipla escolha, que aproveitamos para verificar o conhecimento e as dificuldades dos alunos sobre assuntos já trabalhados no Ensino Médio de Física. A turma estava composta por dezenove alunos, sendo que todos responderam ao questionário. Quando se iniciou a entrega da folha do questionário inicial, RZ questionou: “como vou responder algo que não sei nada a respeito?”. Justificou-se a necessidade de identificar o conhecimento prévio da turma, para um bom andamento das aulas.

Após a aplicação do questionário inicial, as aulas ocorreram de maneira tranqüila e surpreendentemente atrativa. Não pareciam os mesmos alunos dos bimestres anteriores que estavam trabalhando com o material produzido. Embora o ano letivo do terceiro ano estivesse quase no final, foi possível envolver os alunos de maneira tal que grande parte desenvolveu todas as atividades sugeridas com afinco.

A compreensão dos fenômenos envolvidos nas atividades experimentais desenvolvidas na quarta aula (Indução magnética) e na sexta aula (demonstração do fenômeno da levitação magnética) ficou completa quando as discussões foram feitas no laboratório de informática através das animações preparadas especialmente para essa finalidade. Torna-se evidente que a atividade prática não pode ser substituída completamente pela visualização computacional, mas a discussão dos fenômenos envolvidos nas atividades práticas fica mais consistente.

Na última aula, os alunos responderam ao questionário final (Apêndice 01), para que a implementação do projeto pudesse ser avaliada a partir de instrumentos que tornassem evidentes a aprendizagem significativa dos alunos sobre o tema. O questionário final está composto por seis questões abertas objetivando verificar o

entendimento de cada aluno da turma a respeito do tema proposto, do material didático preparado para o estudo do tema, e também dos aspectos epistemológicos apresentados. Também constam seis questões de múltipla escolha sobre o tema da supercondutividade.

A seguir apresentam-se as respostas dadas pelos alunos aos questionários inicial e final.

### 5.1 Questionário inicial

QUESTÃO A - Você teve oportunidade de ouvir ou ler algo sobre o fenômeno da supercondutividade? Caso sua resposta for positiva, procure fazer uma breve descrição sobre suas idéias.

As respostas estão classificadas em cinco categorias distintas:

- Categoria 1: Não respondeu;
- Categoria 2: Não há conhecimento algum sobre o tema;
- Categoria 3: Resposta confusa;
- Categoria 4: Responde com suas palavras, sem muito conhecimento preciso;
- Categoria 5: Resposta precisa.

Na tabela 27 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão A, de acordo com as categorias acima identificadas

Tabela 27  
Questionário inicial – questão A.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	BA; CR; NA; RO; SE
2	AB; BO; CA; FE; LO; LN; ME
3	AL; DO; GE; IA; RS
4	DL; DN
5	Nenhum

Nenhum aluno respondeu com precisão a questão A, indicando que o fenômeno da supercondutividade é desconhecido por grande parte da turma. Alguns eram conhecedores de alguma aplicação prática do fenômeno, sem maiores detalhes de funcionamento.

O aluno DO teve sua resposta classificada como categoria 3: *“É uma super condução de alguma forma de energia através do condutor”*.

DN teve sua resposta classificada como categoria 4: *“Sim, é um novo assunto a ser estudado e é muito interessante, tenho pouco conhecimento mas gostei do trem que levita e outras aplicações. E acho interessante estudar mais os átomos do seu início até o fim”*. DL também teve sua resposta classificada como categoria 4: *“Eu somente li um artigo de uma revista científica que dizia que daqui a alguns anos haverá um elevador até o espaço através de supercondutores”*.

A questão B é composta por onze perguntas objetivas que visam detectar possíveis lacunas a respeito de conteúdos já estudados pelos alunos nos anos anteriores.

QUESTÃO B – Marque a alternativa correta para cada questão:

1. Uma dada substância pode receber calor e manter sua temperatura constante?

a) Sim. Ocorre quando a substância estiver mudando de estado físico. (04)

b) Não. Sempre que uma substância recebe calor sua temperatura varia. (09)

c) Sim, porém isso ocorre somente quando a substância estiver submetida a altas pressões. (06)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”. Quinze alunos erraram (83,3%). Isso demonstra que existe dificuldade na compreensão do significado de calor latente, ou seja, de que existe troca de calor sem necessidade de haver mudança de temperatura em circunstâncias especiais.

2. Ao retirar calor de uma substância que se encontra na fase gasosa (mantendo a pressão constante), observa-se que:

a) Ocorre variação de temperatura até que a substância mude completamente de estado físico. (06)

b) Ocorre variação de temperatura até que a substância inicia o processo de mudança de estado físico. Nesse instante observa-se que a retirada de calor é necessária para a completa mudança de estado físico. (10)

c) Não acontece nada, pois para ocorrer mudança de estado físico é necessário que seja fornecido calor à substância. (03)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”, portanto nove alunos erraram (44,4%). Confirma a dificuldade que existe na compreensão das conseqüências da transmissão de calor sob pressão constante. Em outras palavras, as variáveis termodinâmicas não foram bem assimiladas pelos alunos.

3. Em pistas de patins para gelo, quando o patinador passa por uma determinada posição, por um curto intervalo de tempo, observa-se a fusão do gelo. Após sua passagem, a água volta a congelar (fenômeno conhecido por “regelo”). A fusão ocorre, pois:

a) Ocorre uma mudança de temperatura no momento em que o patinador passar. (03)

b) Ocorre um aumento de temperatura e redução na pressão no momento em que o patinador passar. (01)

c) A fusão ocorre porque a temperatura é constante e ocorre um aumento de pressão devido à passagem do patinador. Após a passagem, a água volta a congelar, pois a pressão do ar voltará a atuar exclusivamente no local. (15)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “c”. Apenas quatro alunos erraram (22,2%). O resultado nos mostra que os alunos relacionam a variação de pressão à mudança de estado físico da matéria.

4. Entende-se por modelo físico:

a) Imagem idealizada que se pretende discutir, dentro da teoria científica atualmente aceita. (13)

b) Imagem real daquilo que se pretende discutir. (02)



c) Uma imagem idealizada que se pretende discutir sem que se leve em consideração a teoria científica atualmente aceita. (04)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”; seis alunos erraram (33,3%). Os alunos da turma entendem que um modelo físico é uma imagem ideal que existe na natureza, que é discutida a partir de uma teoria científica já existente e aceita pela comunidade.

5. Um modelo simplificado de metal consiste em:

a) Uma rede cristalina de íons positivos (que oscilam em torno de suas posições de equilíbrio devido à sua agitação térmica) envolta por elétrons livres que se movimentam aleatoriamente. (09)

b) Uma rede cristalina de íons positivos envolta por uma nuvem de elétrons. (03)

c) Uma rede cristalina de íons positivos envolta por uma nuvem de prótons. (07)

RESULTADO: Considera-se alternativa certa a letra “a” pela riqueza de informações. Também podemos considerar certa a alternativa “b”, embora esteja com poucos detalhes. 07 alunos erraram (36,84%). Apesar de esse conceito ter sido trabalhado anteriormente, ainda é pouco entendido o modelo de metal apresentado.

6. Podemos afirmar que uma corrente elétrica é estabelecida em um circuito somente quando nele se aplica uma diferença de potencial (ddp).

a) Não, pois existe movimento de elétrons livres no circuito mesmo sem aplicação da ddp. (01)

b) Sim, pois embora exista movimentação desordenada dos elétrons livres, com aplicação da ddp essa movimentação passará a ter uma direção preferencial. (17)

c) Sim, pois somente quando se aplica uma ddp no circuito haverá movimentação de elétrons livres. (01)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”. Apenas dois alunos erraram (11,1%). A turma conseguiu compreender o conceito de corrente elétrica com o

trabalho feito nas aulas anteriores através de analogias, modelagem computacional (com auxílio do software modellus<sup>6</sup>).

7. Entende-se por resistor:

a) Um componente qualquer do circuito elétrico. (01)

b) Um componente do circuito que transforma praticamente toda energia elétrica em energia térmica. (05)

c) Um componente do circuito que transforma toda energia elétrica em energia térmica e luminosa. (13)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”; treze alunos erraram (72,2%). Um grande número de alunos não acertou a questão, embora já tenham trabalhado com o conceito anteriormente. Acredita-se que pela formulação da questão os alunos foram induzidos a imaginar uma lâmpada incandescente como único tipo de resistor existente.

8. Resistência elétrica...

a) É a falta de mobilidade dos elétrons livres devido à sua velocidade de arraste ser muito pequena. (01)

b) É a dificuldade que um condutor impõe à passagem de elétrons livres. (17)

c) É a dificuldade que um condutor impõe à passagem de prótons. (01)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”; dois alunos erraram (11,1%). O conceito de resistividade está bem assimilado pela turma.

9. A resistividade elétrica é uma característica específica do material, ou seja, varia de um material para outro por dois motivos:

---

<sup>6</sup> O software Modellus foi concebido pelo professor Vitor Duarte Teodoro, da Universidade Nova de Lisboa, e desenvolvido por João Duque Vieira e Filipe Costa Clérigo. O Modellus já recebeu importantes prêmios internacionais desde seu lançamento em 1996. É um programa livre para fins educacionais e pode ser encontrado através do endereço <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>.

a) O número de elétrons livres por unidade de volume é diferente em cada material; cada material é organizado por quantidade de íons diferentes, formando uma rede cristalina diferente para cada material. (14)

b) O número de elétrons livres por unidade de volume é igual em cada material; a rede cristalina para cada material é diferente. (04)

c) O número de elétrons livres por unidade de volume é diferente em cada material; rede cristalina para cada material é a mesma, produzindo assim um fluxo de elétrons diferente em cada material. (01)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”; cinco alunos erraram (27,8%). Percebemos que, além de assimilar o conceito de resistividade, a grande maioria dos alunos entende o motivo pelo qual a resistividade pode variar de um material para outro.

10. As grandezas físicas que interferem na resistência de um resistor são:

a) Comprimento e diâmetro. (01)

b) Tipo de material e a temperatura. (01)

c) A geometria do material (comprimento e diâmetro), tipo de material e a temperatura. (17)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “c”. Apenas dois alunos erraram (11,1%). A turma conseguiu compreender o conceito de corrente elétrica com o trabalho feito nas aulas anteriores através de analogias, modelagem computacional (com auxílio do software modellus).

11. A afirmação: “As linhas de indução magnética fecham um ciclo”.

a) É verdadeira, pois: na parte interna de um ímã as linhas de campo vão do pólo sul ao pólo norte e na parte externa seguem do pólo norte ao sul. (09)

b) É falsa, pois: na parte interna de um ímã não existem linhas de campo. As linhas de campo seguem externamente do pólo norte ao sul. (04)

c) É verdadeira, pois: na parte interna de um ímã as linhas de campo vão do pólo sul ao pólo norte e na parte externa seguem do pólo sul ao norte. (06)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”. Nove alunos erraram (50%). Embora os alunos tenham visualizado as linhas de campo criadas por um campo

magnético através de atividades práticas desenvolvidas anteriormente, ainda não conseguiram assimilar o conceito fundamental das linhas de indução magnética.

Cabe ressaltar que um ímã é composto de átomos com momentos magnéticos relativamente bem orientados, chamados ímãs elementares. Portanto, inclusive dentro do ímã, as linhas vão do norte de um átomo para o sul de outro. Esses detalhes não estão bem descritos em livros didáticos de nível médio.

## 5.2 Questionário final

Após a inserção do tema supercondutividade, na última aula, encaminhou-se o questionário final aos alunos da turma.

Procure responder com suas palavras:

QUESTÃO A: O que você aprendeu sobre o fenômeno da supercondutividade? Faça algum comentário:

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Começa a fazer uma construção mais clara;
- Categoria 3: Resposta precisa.

Na tabela 28 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão A do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 28  
Questionário final – questão A.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	RS; SE
2	AB; CA; CR; DL; FE; GE; IA; NA; RO; DN
3	AL; BA; BO; LO; LN; ME;

A aluna SE teve sua resposta classificada como categoria 1: “*Envolve energia, condução de energia que passa de um objeto à outro (metal)*”.

AB teve sua resposta classificada como categoria 2: “*O fenômeno da supercondutividade seria um condutor que não admite perda de energia*”.

ME, teve sua resposta classificada como categoria 3: “*Material supercondutor é um material com resistividade nula a uma temperatura crítica. No efeito Meissner, o material na temperatura crítica expulsa o campo magnético interno, conservando somente o externo*”.

Considera-se que houve evidências de aprendizagem sobre aspectos do fenômeno da supercondutividade. No questionário inicial percebeu-se que nenhum aluno possuía informações relevantes a respeito do fenômeno e, após o estudo do tema, os alunos conseguiram alcançar alguma compreensão a respeito dele. Grande parte diferencia corretamente um condutor perfeito de um supercondutor, outros identificam aplicações para o fenômeno e alguns ainda associam o estado supercondutor a uma temperatura crítica e campo magnético crítico. Alguns identificam a característica da ausência de resistividade de um supercondutor. Apenas 11,11% da turma não souberam responder coerentemente a questão A.

QUESTÃO B - Que aplicações você acha que podem existir para esse fenômeno?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Cita uma aplicação correta e outra falsa;
- Categoria 3: Cita apenas uma aplicação;
- Categoria 4: Resposta precisa.

Na tabela 29 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão B do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 29

Questionário final – questão B.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	BO; CR; SE.
2	AL; FE.
3	AB; BA; DL; DO; IA; LO; NA; RS.
4	CA; DN; GE; LN; ME; RO.

CR teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Nas casas, escolas, etc...”*.

FE teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Da levitação até um simples dominó”*.

NA teve sua resposta classificada como categoria 3: *“A criação de uma nova rede elétrica onde não se perdesse energia nem calor”*.

ME teve sua resposta classificada como categoria 4: *“Equipamento médico, meios de transporte, transmissão de energia”*.

Esperava-se uma melhor ligação entre os conceitos teóricos e as aplicações práticas. As aplicações do fenômeno da supercondutividade foram estudadas na última aula de Física, que ocorreu na última semana de aula da turma (que já estava em ritmo de férias, organizando os eventos da formatura, festa, entre outros preparativos). Acredita-se que esses fatores atrapalharam a concentração dos alunos na leitura e na compreensão de importantes aplicações do fenômeno em estudo, embora demonstrassem interesse na aula, consultando o material preparado para o ensino médio, no link aplicações – disponível na página desenvolvida – e também em outros *sites* de busca, conforme descrito no andamento da oitava aula.

No item em que se tratou da Lei de Faraday mostrou-se uma aplicação: nas lombadas eletrônicas existem bobinas instaladas abaixo do solo. Alguns alunos confundiram essa aplicação com a aplicação do fenômeno da supercondutividade. Citamos a aluna AL que teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Das lombadas eletrônicas, de novos trens magnéticos”*.

QUESTÃO C - O assunto poderia ser explorado com maior profundidade?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Sim – mais atividades experimentais;
- Categoria 2: Não definiu;
- Categoria 3: Sim – apresenta grande potencial de pesquisas em evolução;
- Categoria 4: Não – satisfatório para o nível de ensino.

Na tabela 30 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão C do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 30  
Questionário final – questão C.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	AB.
2	SE.
3	AL; DL; DN; FE; GE; IA; LO; LN; ME; NA; RS.
4	BA; BO; CA; CR; DO; RO.

AB teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Sim poderia, fazendo mais experiências”*.

SE teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Depende da profundidade”*.

Os alunos AL, ME e DN tiveram suas respostas classificadas como categoria 3, que serão ilustradas a seguir, respectivamente: *“Eu acho que sim, pois ainda devem haver outros tipos de materiais condutores e supercondutores”*; *“Poderia, mas foi muito bem desenvolvido e aprofundado para o nível de aprendizado em que necessitamos”*; *“Eu acho que sim, pois os alunos demonstraram grande interesse”*.

Pelas respostas dadas, percebe-se claramente que o assunto atingiu os alunos de maneira positiva, sendo que grande parte da turma estaria disposta a aprofundar o assunto que foi de seu interesse, principalmente pela forma como foi apresentado – através de demonstrações e atividades experimentais, bem como por recursos tecnológicos que fazem parte do dia-a-dia de todos. Alguns apontam para que os cientistas continuem com suas pesquisas a respeito dos materiais supercondutores, pois perceberam a importância do fenômeno para a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

QUESTÃO D - O uso das analogias (dominó, colchão, entre outras) facilitou o entendimento do assunto?

As respostas estão classificadas em três categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Confirma, porém com argumentos sem fundamentação;
- Categoria 3: Confirma com resposta precisa.

Na tabela 31 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão D do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 31  
Questionário final – questão D.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	AB.
2	CR; DL; DO; DN; LO; NA; RS; RO.
3	AL; BA; BO; CA; FE; GE; IA; LN; ME; SE.

AB teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Sim, dos elétrons livres nos condutores e supercondutores”*.

RO e LO tiveram sua resposta classificada como categoria 2. As respostas dadas são, respectivamente: *“Sim. Tudo que podemos visualizar podemos entender melhor”*; *“Sim, com certeza”*.

GE foi um dos alunos que teve sua resposta classificada como categoria 3: *“Sim, ajudou muito no entendimento, pois os modelos lá demonstrados podem nos dar esclarecimentos sobre as animações executadas”*.

As analogias funcionam para que a imaginação seja direcionada a algo que já tenha sido visto pelo aluno, ou seja, que ele já tenha conhecimento prévio de algo que possa ser comparado à situação em estudo. Através dos depoimentos dados pelos alunos, é notável a necessidade do uso de analogias para a compreensão de fenômenos que não podem ser visualizados.

QUESTÃO E - A ciência evoluiu muito nas últimas décadas. Você imaginava que essa evolução aconteceu em decorrência do uso do método científico (método que prevê a observação livre de conhecimento prévio, entre outros passos)? Caso sua resposta seja positiva, comente sobre o método de fazer ciência sem levar em conta os pressupostos teóricos, a criatividade do cientista, entre outros aspectos. Você acha possível a Ciência evoluir se eles não estivessem presentes?

As respostas estão classificadas em cinco categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Não conseguiu entender o aspecto epistemológico envolvido no projeto;



- Categoria 3: Começa fazer uma construção mais clara sobre os aspectos epistemológicos envolvidos;
- Categoria 4: Demonstra uma mudança conceitual clara sobre concepção de ciência.

Na tabela 32 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão E do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 32  
Questionário final – questão E.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	BA; DL.
2	BO; CR; DO; DN; FE; LO; LN; NA; RS; SE; RO.
3	GE; IA; ME.
4	AB; AL; CA.

A aluna BA teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Acho que a ciência evoluiu através de experiências, observações...”*.

O aluno BO teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Não, pois os cientistas precisam se fixar em algo para estudar”*.

GE teve sua resposta classificada como categoria 3: *“Sim, com base na observação do método científico, assim levantando hipóteses sobre seu funcionamento. Através da observação, houve muita evolução. Porém, é necessário antes da observação ter o conhecimento sobre o assunto a ser pesquisado/estudado”*.

AL e CA tiveram suas respostas classificadas como categoria 4: *“Eu sempre achava que os cientistas descobriam as coisas ao acaso, mas imaginava que eles deveriam conhecer sobre o assunto. O estudo que foi feito não deixou dúvidas quanto a isso e deixou bem claro que nenhuma descoberta é feita ao acaso. Se os cientistas não estivessem presentes, talvez não saberíamos ao certo os fenômenos que aconteceram, pois eles os estudaram e por isso nós temos maior evolução no conhecimento”; “Imaginava que o método científico era o único método de fazer leis e teorias tornarem-se válidas. Concordo com a forma de evolução da ciência atual que foi apresentada para nós pela primeira vez desde que estamos estudando”*.

A forma como a ciência evolui foi alvo de intensos debates e discussões durante a aplicação do projeto. Apesar de todas as discussões feitas durante as aulas, alguns alunos não conseguiram assimilar a idéia de que os cientistas possuem expectativas sobre o assunto ao qual estão empenhados em estudar, que a observação não é fator isolado para que as idéias possam evoluir a partir dela. Acredita-se que seria necessário maior aprofundamento a respeito do assunto, com textos complementares a respeito da oposição ao empirismo-indutivismo, que vem sendo divulgado como verdade única nos livros didáticos de todos os níveis de ensino.

Alguns alunos tiveram dificuldades na interpretação da questão, que poderia ter sido mais bem formulada, quem sabe até separando-a para que as idéias a respeito do aspecto epistemológico e da maneira de ser e agir dos cientistas pudessem ser mais bem exploradas.

QUESTÃO F - Estudamos o fenômeno da supercondutividade desde a sua descoberta até os dias atuais. A partir desse estudo, que imagem você tem dos cientistas da atualidade?

As respostas estão classificadas em quatro categorias distintas:

- Categoria 1: Resposta confusa;
- Categoria 2: Possui uma imagem positiva do cientista (criativos, esforçados, persistentes, dedicados, entre outras qualidades);
- Categoria 3: Identifica o cientista atual como aperfeiçoador de teorias passadas;
- Categoria 4: Identifica os cientistas como pessoa que irá aplicar o conhecimento científico em tecnologia.

Na tabela 33 apresentam-se as respostas dadas pelos alunos à questão E do questionário final, de acordo com as categorias acima identificadas:

Tabela 33  
Questionário final – questão F.

CATEGORIAS	ALUNOS
1	FE; CR
2	BO; GE; AL; CA; ME; BA; IA; LN; AB; RO; RS
3	DL; DN; SE; LO; NA
4	DO

O aluno FE teve sua resposta classificada como categoria 1: *“Que eles foram os primeiros a dar o pontapé inicial no assunto”* assim como CR: *“Os cientistas descobriram muitas coisas”*.

CA teve sua resposta classificada como categoria 2: *“Perfeitos no seu fazer – com dedicação e persistência”*; IA diz: *“Pessoas muito inteligentes, atualizadas e que estão sempre buscando novas descobertas”*; AB diz: *“Não é uma pessoa superdotada. É apenas alguém esforçado, estudioso e persistente”*.

A aluna SE teve sua resposta classificada como categoria 3: *“Os cientistas da atualidade vêm aperfeiçoando as descobertas dos cientistas mais antigos, atualmente descobrindo novas formas e maneiras de aplicarem suas descobertas, modernizando e evoluindo a pesquisa”*.

O mito de que o cientista é dono da verdade absoluta, que é um ser especial, dotado de inteligência superior às demais pessoas perdeu-se ao longo da apresentação da proposta. Conseguiu-se passar a idéia de que o cientista é uma pessoa normal, que qualquer pessoa com interesse, dedicação, criatividade e força de vontade consegue atuar na linha de pesquisa científica.

QUESTÃO G - Marque a alternativa correta para cada questão:

1. Entende-se por corrente elétrica...

a) Movimento ordenado de elétrons livres, em apenas uma direção e sentido, devido a ação de um campo elétrico. (06)

b) Movimento aleatório de elétrons livres numa direção preferencial, devido à ação de um campo elétrico. (13)

c) Movimento aleatório de elétrons livres numa direção preferencial, sem necessidade de haver campo elétrico. (nenhum)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”. Seis alunos erraram (33,3%). No questionário inicial fizemos a mesma pergunta utilizando palavras diferentes e

11,1% dos alunos assinalaram respostas erradas. Embora o termo “movimento aleatório” tenha sido utilizado no hipertexto, acredita-se que o mesmo não tenha sido compreendido pelos alunos.

2. Para que um composto (ou uma liga metálica) seja supercondutor, é necessário que todos os componentes sejam elementos supercondutores?

a) Sim, pois essa regra é essencial. (nenhum)

b) Não, pois quando é feito o material, os diferentes elementos (supercondutores ou não) podem interagir entre si e formar um elemento supercondutor. (19)

c) Não, pois existem somente supercondutores naturais. (nenhum)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”. Pode-se verificar que 100% dos alunos da turma assimilaram a idéia de que para formar os compostos supercondutores ou as ligas supercondutoras podemos ter componentes que não sejam elementos supercondutores.

3. Uma diferença entre um material supercondutor e um condutor perfeito em temperaturas muito baixas é:

a) Um supercondutor sofre a ação do efeito Meissner e o condutor perfeito não. (12)

b) O condutor perfeito obedece à lei de indução eletromagnética e o supercondutor não. (05)

c) Supercondutor e condutor perfeito não podem ser diferenciados por efeito Meissner ou pela lei da indução eletromagnética. (02)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”. Seis alunos erraram (33,3%). Houve um nível bom de entendimento das diferenças existentes entre condutor perfeito e supercondutor quanto ao seu comportamento quando submetidos a um campo magnético.

4. Duas das principais propriedades que caracterizam um supercondutor são:

a) Resistividade elétrica nula e corrente elétrica induzida. (04)

b) Resistividade elétrica bem próxima de zero e efeito Meissner. (02)

c) Resistividade elétrica nula e efeito Meissner. (13)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “c”. Seis alunos erraram (33,3%). Houve uma boa compreensão das principais características do estado supercondutor.

5. Na demonstração da levitação magnética feita em aula, o ímã levitou, pois:

a) A força magnética superou o peso do ímã. (09)

b) O peso do ímã superou a força magnética. (01)

c) O peso do ímã se igualou à força magnética. (09)

RESULTADO: Inicialmente consideramos certa a alternativa “c” sendo que nove alunos (47,37%) haviam assinalado corretamente. Durante a demonstração do fenômeno da levitação magnética os alunos puderam comprovar o fato. No item da página: “levitação magnética” dispomos algumas animações enriquecidas com os vetores representando as forças que atuam no ímã no momento da levitação. Analisando a questão e as alternativas disponíveis, percebemos que não especificamos o momento do equilíbrio do ímã, ou seja, quando ele parou de subir. Portanto, a alternativa “a” também pode ser considerada como certa, tanto que 09 alunos (47,37%) assinalaram que para haver movimento, a força magnética inicial deve aumentar gradativamente para haver equilíbrio do ímã.

6. Os elementos supercondutores que existem na natureza não apresentam o fenômeno à temperatura ambiente, pois:

a) É necessário que cada elemento atinja uma temperatura definida, ou seja, a temperatura crítica na qual o elemento passa do estado normal para o estado supercondutor, ou seja, há uma transição de fase para o estado supercondutor. (16)

b) É necessário atingir uma temperatura crítica, que é a mesma para todos os elementos supercondutores. (nenhum)

c) É necessário atingir temperatura próxima de zero absoluto. (03)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “a”.Três alunos erraram (16,7%). Foi satisfatória a compreensão de que todo composto atinge o estado supercondutor a uma temperatura definida, característica própria de cada composto, a chamada

temperatura crítica, sendo que essa temperatura é inferior à do ambiente para todos os elementos supercondutores.

7. Na transição do estado normal para o estado supercondutor, uma das grandezas físicas envolvidas é a temperatura e a outra é o campo magnético aplicado. A afirmação é:

a) Falsa. A única grandeza envolvida na transição do estado normal para o supercondutor é a temperatura. (01)

b) Verdadeira. Assim como existe uma temperatura crítica que define a passagem do estado normal para o estado supercondutor, também existe um campo magnético crítico. (16)

c) Verdadeira. Sempre que for aplicado um campo magnético numa amostra supercondutora, ela sempre poderá passar do estado normal para o supercondutor. (02)

RESULTADO: A alternativa certa é a letra “b”. Três alunos erraram (16,7%). As características do estado supercondutor foram bem assimiladas pela turma.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, a supercondutividade foi o tema de Física Moderna e Contemporânea (FMC) escolhido para implementação em curso dirigido para turmas de nível médio. Este tópico pôde ser integrado a diferentes áreas da Física – termologia e eletromagnetismo. Essa integração entre diferentes áreas da Física é também uma preocupação das novas orientação curriculares, que propõem uma releitura das áreas tradicionalmente trabalhadas e estabelecem que competências e habilidades se desenvolvem por meio de ações concretas baseadas em temas estruturadores. Por exemplo “Matéria e Radiação” contemplados nos PCN<sup>7</sup><sub>+</sub> - nos quais está contemplada a necessidade de proporcionarmos aos estudantes uma compreensão mais abrangente sobre a constituição da matéria e os diferentes modelos de explicação propostos. Portanto, preparamos um material didático, em português, sobre supercondutividade, disponibilizado na *internet*. O material didático foi preparado procurando-se usar um vocabulário acessível ao aluno de Ensino Médio e que seu conteúdo estivesse em sintonia com visões de ciência contemporâneas. Procurou-se inicialmente elencar os conteúdos necessários para aplicação do tema “supercondutividade”, de modo que o mesmo pudesse ser articulado ao currículo a partir de princípios físicos usualmente tratados nesse nível de ensino. Optou-se por iniciá-lo revisando conceitos de Física Clássica já estudados e que são imprescindíveis para a compreensão de conceitos relacionados ao fenômeno da supercondutividade. Ao revisar o conceito de resistividade, salientamos a dependência dessa propriedade com a temperatura ao

---

<sup>7</sup> Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN<sub>+</sub>), MEC-SEMTEC, 2002.

qual o condutor está submetido. A partir desse ponto, diferenciamos os condutores perfeitos dos supercondutores, desenvolvendo o material didático com preocupação em motivar o aluno a ler com atenção os textos, que o auxilia na compreensão dos tópicos estudados através de animações, tabelas e gráficos. No final de cada item proposto, são disponibilizadas algumas questões relevantes sobre o assunto apresentado para que os alunos, dispostos em duplas, pudessem ter oportunidade de discutir sobre os aspectos fundamentais apresentados. Durante a implementação do tema, a metodologia utilizada foi basicamente pautada na utilização do material didático preparado especialmente para essa finalidade, buscando gerar discussões a respeito dos fenômenos apresentados entre colegas de dupla, duplas vizinhas e com a professora intermediando as discussões. Foi proposta a realização de algumas atividades práticas sobre a indução eletromagnética no Laboratório de física do colégio. Os alunos foram responsáveis por montar o equipamento, desenvolver a atividade e obter conclusões que, posteriormente, seriam discutidas entre os grupos com intervenção da professora. A indução eletromagnética também faz parte de um dos itens do material hipermídia, que não substitui a atividade prática, mas a complementa com animações imprescindíveis, sobretudo para a compreensão da formação das linhas de campo que, em grande parte das vezes, o aluno tem dificuldades em visualizar. Todas as discussões realizadas em aula e as questões respondidas pelos alunos encontram-se na descrição das aulas. As respostas foram classificadas em várias categorias, objetivando verificar a compreensão dos fenômenos apresentados e discutidos.

O período letivo em que ocorreu a implementação das aulas – outubro e novembro – não é favorável para realização de propostas diferenciadas para o Ensino de Física para alunos do terceiro ano devido à proximidade de eventos tais como: formatura, vestibular, mudança de residência para no ano seguinte iniciar um curso superior ainda indefinido. Algumas duplas não tiveram a atenção necessária para a compreensão dos fenômenos apresentados pois, apesar dos intensos debates durante a aula, não conseguiram responder precisamente às questões apresentadas no material, sendo necessário um último encontro para comentar as respostas das duplas. Também identificamos que os alunos de Ensino Médio possuem dificuldades não somente no entendimento das equações matemáticas apresentadas e nas interpretações de gráficos, mas também na interpretação de



textos. Foram constatadas falta de vocabulário e dificuldade na redação das idéias. Contudo, verificando o nível de conhecimento prévio dos alunos através do questionário inicial e da motivação que os mesmos apresentavam durante as aulas que antecederiam a implementação do projeto, considera-se válida a aposta que se fez na implementação de um tema de FMC com auxílio do material hipermédia desenvolvido.

Através dos resultados encontrados no questionário inicial, foram oportunizados momentos com maior focalização nos itens em que os alunos demonstraram possuir maiores lacunas. Na física térmica identificamos certa dificuldade na compreensão da existência do calor latente na transmissão de calor sob pressão constante e suas conseqüências. Em outras palavras, trabalhou-se para uma melhor compreensão da influência das variáveis termodinâmicas na mudança de estado físico da matéria, conceito fundamental para compreensão da passagem do estado normal para o estado supercondutor, como processo reversível que depende da temperatura, pressão e campo magnético. Foi necessário revisar conceitos básicos também vistos em anos anteriores como: modelo de metal, a formação da rede cristalina dos metais, suas formas geométricas e que um mesmo elemento químico pode formar materiais diferentes. Por exemplo, a partir do carbono pode-se obter grafite, diamante, fullerenos, entre outros. Inicialmente a compreensão do conceito de corrente elétrica foi considerada satisfatória pelo índice de acertos do questionário inicial e, com isso, julgou-se necessário utilizar mais tempo na compreensão de outros conceitos e na análise do questionário inicial. Os resultados do questionário final a respeito do conceito de corrente elétrica mostram que é importante aprofundar os debates a respeito do assunto – disponíveis no material elaborado – para proporcionar melhor compreensão a respeito das analogias apresentadas e do vocabulário apresentado. Os alunos da turma tiveram pouco contato com fenômenos ligados ao eletromagnetismo. Portanto, precisou-se investir nas discussões a respeito dos conceitos de linhas de campo magnético e suas propriedades.

Analisando o questionário final composto por seis questões abertas e sete objetivas – todas relacionadas às propriedades dos supercondutores, evolução do conhecimento científico e aplicação do fenômeno – percebeu-se que, de modo geral, a turma conseguiu obter uma aprendizagem significativa através da interação

entre colegas, consulta à professora leitura do material didático especialmente preparado para essa finalidade. Foi significativo o nível de dificuldade apresentado pelos alunos em expressar suas idéias de maneira precisa e com todos os detalhes necessários para compreensão do fenômeno. Os alunos enfatizaram várias vezes ser imprescindível o uso das analogias na compreensão dos fenômenos embora, muitas vezes, a transposição da analogia para o fenômeno físico real fosse difícil, talvez pela dificuldade dos alunos em se expressar na forma escrita (conforme citamos anteriormente).

Quanto ao aspecto epistemológico abordado, embora não fosse a principal ênfase do presente trabalho, o mesmo rendeu discussões calorosas por parte dos alunos que defendiam o empirismo-indutivismo como única forma de evolução da ciência. Com o passar das aulas, várias idéias foram apresentadas através do material que combatiam as visões ingênuas a respeito da evolução da ciência, evidenciando-se um início de mudanças de paradigma por parte de alguns alunos que buscavam fazer uma construção mais clara sobre os aspectos epistemológicos envolvidos. Alguns comentários dos alunos nas respostas dadas às questões propostas no final de alguns itens apresentados no material didático ou no questionário final nos levaram a crer que é impossível combater idéias epistemológicas ingênuas que são transmitidas durante toda vida escolar e, em poucas semanas, substituí-las por idéias mais consistentes.

A página elaborada e fundamentada em epistemologias contemporâneas para o estudo de um tema de FMC – supercondutividade – mostrou-se um material didático capaz de envolver o aluno em discussões interessantes durante a aula e contribuir para sua motivação em aprender Física. Este fato foi percebido através das opiniões emitidas pelos alunos durante as aulas, pela receptividade que estes apresentaram em relação aos conteúdos históricos, filosóficos e fenomenológicos envolvidos na implementação do projeto.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. Sobre o discreto charme das partículas elementares. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1. p. 38-44, maio 2005.

ALVES, R. **Filosofia da Ciência**. 17. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

ARTERO, A. F. A Nova Revolução dos Supercondutores. **Super interessante**, São Paulo, n. 217, p. 22-31, set. 2005.

BRANÍCIO, P. S. Introdução à Supercondutividade, suas Aplicações e a Mini-Revolução Provocada pela Redescoberta do  $MgB_2$ : uma abordagem didática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 381-390, dez. 2001.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, set./dez. 2005. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ienci/>>.

CANFIELD, P. C.; BUD'KO, S. L. Supercondutor de Baixa Temperatura em Alta. **Scientific American** – Brasil, São Paulo, n. 35, p. 76-81, maio, 2005.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As Faces da Física**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CATELLI, F.; PEZZINI, S. Laboratório Caseiro: observando espectros luminosos; espectroscópio portátil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 264-269, ago. 2002.

CATELLI, F.; VICENZI, S. Laboratório Caseiro: interferômetro de Michelson. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 1, p. 108-116, abr. 2001.

\_\_\_\_\_. Laboratório Caseiro: transformando um laser de diodo para experimentos de óptica física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 393-406, dez. 2002.

CAVALCANTE, M. A. et al. Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades. **Física na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 24-29, maio 2002.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; HAAG, R. Experiências em Física Moderna. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 75-82, maio 2005.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CHALMERS, A. F. *¿Qué es esa cosa llamada ciência?* 5. ed. Madri: Siglo Veintiuno Editores, 1987.

COSTA, L. G.; COSTA, A. P. A. Ensino de Física das Radiações na Formação de Auxiliares de Enfermagem e Atendentes de Consultórios Odontológicos: sondagem de concepções sobre os raios-X com enfoque na prevenção e tecnologia. **Ciência & Educação**. Bauru, v. 8, n. 2, p. 161-165, jul./dez. 2002.

COTRIM, G. **Fundamentos da Filosofia: história e grandes temas**. 15. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. **Física: básica**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2004.

GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2000. v. 3.

GRANT, P.; STARR, C.; OVERBYE, T. J. Rede de Força numa Economia Baseada no Hidrogênio. **Scientific American – Brasil**, São Paulo, n. 59, p. 70-77, abr. 2007.

IRWIN, K. D. Enxergando com Supercondutores. **Scientific American – Brasil**, São Paulo, n. 55, p. 76-83, dez. 2006.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C. de S.; COIMBRA, D. Relatividades no Ensino Médio: o Debate em Sala de Aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 105-114, jan./mar. 2007.

\_\_\_\_\_. Tempo Relativístico no Início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 373-386, jul./out. 2006.

KELLER, F. J. et al. **Física**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1999. v. 2.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma Discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 36-70. abr. 2005.

KRAPAS, S.; SANTOS, P. A. M. dos. Modelagem do Espalhamento de Rayleigh da Luz com Propósitos de Ensino e de Aprendizagem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 341-350, dez. 2002.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza, 1989.

LAUDAN, L. **Progress and its Problems**. Berkeley: University of California Press, 1977.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da Inserção de Conteúdos de Teoria Quântica nos Currículos de Física do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 119-132, jan./jul. 2005.

LOPES, E. M.; LABURÚ, C. E. Diâmetro de um Fio de Cabelo por Difração: um experimento simples. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 240-247, ago. 2001.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. **Física**. São Paulo: Scipione, 2007.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Curso de física**. São Paulo: Scipione, 2005. 3.v.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de Conceitos de Física Moderna e sobre a Natureza da Ciência com o Suporte da Hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473-485, out./dez. 2006.

MACHADO, A. C. B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M. C. Usando a Antimatéria na Medicina Moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 407-416, out./dez. 2006.

MARQUES, A. J.; SILVA, C. E. Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 34-35, out. 2005.

MASSONI, N. T. **Epistemologias do Século XX**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2005. (Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 16, n. 3).

MEDEIROS, A. Eric Rogers e o Ensino de Física Moderna. **Física na Escola**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 40-42, maio 2007.

MOREIRA, M. A. **As teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

\_\_\_\_\_. Partículas e Interações. **Física na escola**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 10-14, out. 2004.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Teorias Construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1999. (Textos de Apoio ao Professor de Física, n. 10).

NICOLAU, G. F. et al. **Física: ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2001.

OSTERMANN, F. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 184-196, dez. 1996.

\_\_\_\_\_. **Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física.** 2000. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Um Pôster para Ensinar Física de Partículas na Escola. **Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 13-18, maio 2001.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do Currículo de Física na Escola de Nível Médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, ago. 2001.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, jan./abr. 2000. (<http://www.if.ufrgs.br/ienci/>)

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 18, n. 3, p. 391-404, nov. 2000.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. A Física Quântica como uma Tradição de Pesquisa: uma análise a partir da epistemologia de Larry Laudan. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005. Bauru. **Anais.** [S.l.: s.n.] [2005]. 1 CD-ROM.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. dos S. F. Desenvolvimento de um Software para o Ensino de Fundamentos de Física Quântica. **Física na Escola**, São Paulo, v. 7, n.1, p. 22-25, maio 2006.

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

OSTERMANN, F.; RICCI, T. Construindo uma Unidade Didática Conceitual sobre Mecânica Quântica: um estudo na formação de professores de física. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 2, p. 235-257, 2004.

\_\_\_\_\_. Relatividade Restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.

PARANÁ, D. N. S. **Física.** São Paulo: Ática, 2000. (Série novo ensino médio).

PENA, F. L. A. Por que, nós Professores de Física do Ensino Médio, Devemos Inserir Tópicos e Idéias de Física Moderna e Contemporânea na Sala de Aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 1-2, jan./mar. 2006.

PESA, M.; OSTERMANN, F. La ciencia como actividad de resolución de problemas: la epistemología de Larry Laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en ciencias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.19, p. 84-99, jun. 2002. n. esp.

POPPER, K. R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. 9. ed. São Paulo: Cultrix, 1993.

POPPER, K. **História do Pensamento**. São Paulo: Nova Cultural, 1987. 4v.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. Formação de Professores de Física no Ambiente Virtual Interage: um exemplo voltado para a introdução da FMC no ensino médio. **Física na Escola**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 15-19, out. 2004.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. O Ensino das Ciências no Nível Médio: um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 19, n. 3, p.351-370, dez. 2002.

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

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Física: ensino médio**. São Paulo: Saraiva, 2003.

SILVEIRA, F. L. da. A Metodologia dos Programas de Pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13. n. 3, p. 219-230, dez. 1996.

\_\_\_\_\_. A Insustentabilidade da Proposta Indutivista de Descobrir a Lei a Partir de Resultados Experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, p. 7-27, jun. 2002. n. especial.

SCHULZ, P. A. B. Nanociência de Baixo Custo em Casa e na Escola. **Física na Escola**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 4-9, maio 2007.

SCHULZ, P. A. B. O que é Nanociência e para que Serve a Nanotecnologia? **Física na Escola**, São Paulo, v.6, n.1, p. 58-62, maio 2005.

STUDART, N. Prêmio Nobel de Física 2003. Supercondutividade e Superfluidez: manifestação de efeitos quânticos na escala macroscópica. **Física na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 28-29, out. 2003.

TORRES, C. M. A. et al. **Física : ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **A formação Social da Mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

## APÊNDICES



## APÊNDICE 01 - QUESTIONÁRIOS INICIAL E FINAL

COLÉGIO FREDERICO JORGE LOGEMANN

### SUPERCONDUTIVIDADE

NOME: \_\_\_\_\_  
TURMA: \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

PROF. Carla Beatriz Spohr

#### QUESTIONÁRIO INICIAL:

A – Você teve oportunidade de ouvir ou ler algo sobre o fenômeno da supercondutividade? Caso sua resposta for positiva, procure fazer uma breve descrição sobre suas idéias.

B – Marque a alternativa correta para cada questão:

1. Uma dada substância pode receber calor e manter sua temperatura constante?

- a) Sim. Ocorre quando a substância estiver mudando de estado físico.
- b) Não. Sempre que uma substância recebe calor sua temperatura varia.
- c) Sim, porém isso ocorre somente quando a substância estiver submetida a altas pressões.

2. Ao retirar calor de uma substância que se encontra na fase gasosa (mantendo a pressão constante), observa-se que:

- a) Ocorre variação de temperatura até que a substância mude completamente de estado físico.
- b) Ocorre variação de temperatura até que a substância inicie o processo de mudança de estado físico. Nesse instante observa-se que a retirada de calor é necessária para a completa mudança de estado físico.
- c) Não acontece nada, pois para ocorrer mudança de estado físico é necessário que seja fornecido calor à substância.

3. Em pistas de patins para gelo, quando o patinador passa por uma determinada posição, por um curto intervalo de tempo observa-se a fusão do gelo. Após sua passagem, a água volta a congelar (fenômeno conhecido por “regelo”). A fusão ocorre, pois:

- a) ocorre uma mudança de temperatura no momento em que o patinador passar.
- b) ocorre um aumento de temperatura e redução na pressão no momento em que o patinador passar.
- c) a fusão ocorre porque a temperatura é constante e ocorre um aumento de pressão devido à passagem do patinador. Após a passagem, a água volta a congelar, pois a pressão do ar voltará a atuar exclusivamente no local.

4. Entende-se por modelo físico:

- a) imagem idealizada que se pretende discutir, dentro da teoria científica atualmente aceita.

- b) imagem real daquilo que se pretende discutir.
- c) uma imagem idealizada que se pretende discutir sem que se leve em consideração a teoria científica atualmente aceita.

5. Um modelo simplificado de metal consiste em:

- a) uma rede cristalina de íons positivos (que oscilam em torno de suas posições de equilíbrio devido à sua agitação térmica) envolta por elétrons livres que se movimentam aleatoriamente.
- b) uma rede cristalina de íons positivos envolta por uma nuvem de elétrons.
- c) uma rede cristalina de íons positivos envolta por uma nuvem de prótons.

6. Podemos afirmar que uma corrente elétrica é estabelecida em um circuito somente quando nele se aplica uma diferença de potencial (ddp).

- a) Não, pois existe movimento de elétrons livres no circuito mesmo sem aplicação da ddp.
- b) Sim, pois embora exista movimentação desordenada dos elétrons livres, com aplicação da ddp essa movimentação passará a ter uma direção preferencial.
- c) Sim, pois somente quando se aplica uma ddp no circuito haverá movimentação de elétrons livres.

7. Entende-se por resistor:

- a) Um componente qualquer do circuito elétrico.
- b) Um componente do circuito que transforma praticamente toda energia elétrica em energia térmica.
- c) um componente do circuito que transforma toda energia elétrica em energia térmica e luminosa.

8. Resistência elétrica...

- a) É a falta de mobilidade dos elétrons livres devido à sua velocidade de arraste ser muito pequena.
- b) É a dificuldade que um condutor impõe à passagem de elétrons livres.
- c) É a dificuldade que um condutor impõe à passagem de prótons.

9. A resistividade elétrica é uma característica específica do material, ou seja, varia de um material para outro por dois motivos:

- a) o número de elétrons livres por unidade de volume é diferente em cada material; cada material é organizado por quantidade de íons diferentes, formando uma rede cristalina diferente para cada material.
- b) o número de elétrons livres por unidade de volume é igual em cada material; a rede cristalina para cada material é diferente.
- c) o número de elétrons livres por unidade de volume é diferente em cada material; rede cristalina para cada material é a mesma, produzindo assim um fluxo de elétrons diferente em cada material.

10. As grandezas físicas que interferem na resistência de um resistor são:

- a) comprimento e diâmetro.
- b) tipo de material e a temperatura.
- c) a geometria do material (comprimento e diâmetro), tipo de material e a temperatura.

11. A afirmação: "As linhas de indução magnética fecham um ciclo".

- a) É verdadeira, pois: na parte interna de um ímã as linhas de campo vão do pólo sul ao pólo norte e na parte externa seguem do pólo norte ao sul.  
 b) É falsa, pois: na parte interna de um ímã não existe linhas de campo. As linhas de campo seguem externamente do pólo norte ao sul.  
 c) É verdadeira, pois: na parte interna de um ímã as linhas de campo vão do pólo sul ao pólo norte e na parte externa seguem do pólo sul ao norte.

#### GABARITO

- |      |       |
|------|-------|
| 1) a | 7) b  |
| 2) b | 8) b  |
| 3) c | 9) a  |
| 4) a | 10) c |
| 5) a | 11) a |
| 6) b |       |

### COLÉGIO FREDERICO JORGE LOGEMANN **SUPERCONDUTIVIDADE**

NOME: \_\_\_\_\_  
 TURMA: \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

PROF. Carla Beatriz Spohr

#### QUESTIONÁRIO FINAL:

Procure responder com suas palavras:

A) O que você aprendeu sobre o fenômeno da supercondutividade? Faça algum comentário:

B) Que aplicações você acha que podem existir para esse fenômeno?

C) O assunto poderia ser explorado com maior profundidade?

D) O uso das analogias (dominó, colchão, entre outras) facilitou o entendimento do assunto?

E) A ciência evoluiu muito nas últimas décadas. Você imaginava que essa evolução aconteceu em decorrência do uso do método científico (método que prevê a observação livre de conhecimento prévio, entre outros passos)? Caso sua resposta for positiva, comente sobre o método de fazer ciência sem levar em conta os acasos, a criatividade do cientista, entre outros aspectos. Você acha possível a Ciência evoluir se eles não estivessem presentes?

F) Estudamos o fenômeno da supercondutividade desde a sua primeira observação até os dias atuais. A partir desse estudo, que imagem você tem dos cientistas da atualidade?

G) Marque a alternativa correta para cada questão:

1. Entende-se por corrente elétrica...

- a) movimento ordenado de elétrons livres, em apenas uma direção e sentido, devido a ação de um campo elétrico.
- b) movimento aleatório de elétrons livres numa direção preferencial, devido à ação de um campo elétrico.
- c) movimento aleatório de elétrons livres numa direção preferencial, sem necessidade de haver campo elétrico.

2. Para que um composto (ou uma liga metálica) seja supercondutor, é necessário que todos os componentes sejam elementos supercondutores?

- a) Sim, pois essa regra é essencial.
- b) Não, pois quando é feito o material, os diferentes elementos (supercondutores ou não) podem interagir entre si e formar um elemento supercondutor.
- c) Não, pois existem somente supercondutores naturais.

3. Uma diferença entre um material supercondutor e um condutor perfeito em temperaturas muito baixas é:

- a) Um supercondutor sofre a ação do efeito Meissner e o condutor perfeito não.
- b) O condutor perfeito obedece à lei de indução eletromagnética e o supercondutor não.
- c) Supercondutor e condutor perfeito não podem ser diferenciados por efeito Meissner ou pela lei da indução eletromagnética.

4. Duas das principais propriedades que caracterizam um supercondutor são:

- a) resistividade elétrica nula e corrente elétrica induzida.
- b) resistividade elétrica bem próxima de zero e efeito Meissner.
- c) resistividade elétrica nula e efeito Meissner.

5. Na demonstração da levitação magnética feita em aula, o ímã levitou, pois:

- a) a força magnética superou o peso do ímã.
- b) o peso do ímã superou a força magnética.
- c) o peso do ímã se igualou à força magnética.

6. Os elementos supercondutores que existem na natureza não apresentam o fenômeno à temperatura ambiente, pois:

- a) É necessário que cada elemento atinja uma temperatura definida, ou seja, a temperatura crítica na qual o elemento passa do estado normal para o estado supercondutor, ou seja, há uma transição de fase para o estado supercondutor.
- b) É necessário atingir uma temperatura crítica, que é a mesma para todos os elementos supercondutores.
- c) É necessário atingir temperatura próxima de zero absoluto.

7. Na transição do estado normal para o estado supercondutor, uma das grandezas físicas envolvidas é a temperatura e a outra é o campo magnético aplicado. A afirmação é:

- a) Falsa. A única grandeza envolvida na transição do estado normal para o supercondutor é a temperatura.
- b) Verdadeira. Assim como existe uma temperatura crítica que define a passagem do estado normal para o estado supercondutor, também existe um campo magnético crítico.
- c) Verdadeira. Sempre que for aplicado um campo magnético numa amostra supercondutora, ela sempre poderá passar do estado normal para o supercondutor.

## APÊNDICE 02 - Descrição do produto educacional (página na *internet*)

### SUPERCONDUTORES

A seguir, apresenta-se o material didático\*, em forma de página na *internet*, concebido, desenvolvido e utilizado como principal recurso pedagógico para o estudo do tema da supercondutividade por alunos do terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Frederico Jorge Logemann do município de Horizontina/RS. São abordados os aspectos históricos da descoberta do fenômeno da supercondutividade, os Prêmios Nobel relacionados ao fenômeno, tópicos da teoria dirigida a professores e um módulo desenvolvido especialmente para a implementação do tema com alunos do Ensino Médio. Também dispõe de uma filmagem da levitação magnética realizada no laboratório de supercondutividade e magnetismo da UFRGS, pois sabemos que em muitas escolas não será possível a realização dessa atividade prática, embora seja de simples fabricação.

No desenvolvimento do módulo dirigido ao ensino médio, procura-se enfatizar apenas os aspectos teóricos envolvidos nessa teoria, com base na principal convergência entre as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977): a oposição ao empirismo-indutivismo.

O desenvolvimento dessa página foi realizado com o software Flash que é amplamente utilizado em ambientes interativos próprios para fins educativos.

Inicialmente identificamos os conteúdos necessários para introdução do tema e os mesmos são abordados na forma de itens – *links*. Os conceitos abordados para o estudo do tema proposto foram os seguintes:

1. Um modelo de metal
2. Corrente elétrica
3. Resistividade elétrica
4. Supercondutor x Condutor perfeito
5. Materiais Supercondutores
6. Indução Magnética
7. Propriedades do estado supercondutor
  - 7.1. Resistividade nula
  - 7.2. Efeito Meissner
  - 7.3. Levitação magnética
8. Transição do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico
9. Teoria BCS - Analogias
  - 9.1. Resistividade nula e pares de Cooper
  - 9.2. Efeito Colchão
10. Aplicações

---

\* Endereço provisório: <http://www.inf.ufrgs.br/~rosilva/supercondutores/>

A abordagem epistemológica contemporânea guiou a introdução dos conceitos de modelo de metal e corrente elétrica, por exemplo, ao expormos os modelos teóricos atuais, sem partir da observação, como está previsto no primeiro passo do método científico. Mostramos ao aluno que o cientista inicia suas investigações tendo claro seus objetivos, ou seja, sabe exatamente o que deve ser observado. Portanto, se algo saiu de forma inesperada, serão feitas várias investigações a respeito do novo comportamento, desmistificando a idéia de que a evolução do conhecimento científico acontece “por acaso”. Os outros tópicos também serão desenvolvidos através de analogias, exemplos, fatos históricos sem que haja uma suposta observação neutra dos fenômenos envolvidos.

A figura 1 mostra o *layout* da página inicial do material desenvolvido. Visualiza-se inicialmente uma linha do tempo na qual alguns aspectos históricos podem ser identificados clicando na parte clara da linha horizontal que indica a década da ocorrência do fato. Também estão destacados os supercondutores: Hg e  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , elementos marcantes na história dos supercondutores – ao clicar sobre o elemento, visualiza-se a abordagem histórica da evolução aos elementos citados. Na barra superior são visualizados sete “botões de navegação”: o botão “início” serve para voltar ao menu inicial sempre que necessário; o botão “elementos supercondutores” mostra uma tabela periódica com todos os elementos supercondutores existentes na natureza em destaque; o botão “tópicos” foi desenvolvido com objetivo de proporcionar um aprofundamento no estudo dos supercondutores - para professores de Física ou outros interessados; o botão “levitação” leva a um vídeo produzido no Instituto de Física da UFRGS para visualização do efeito Meissner; o botão “aplicações” possibilita verificar as tecnologias disponíveis que dependem de materiais supercondutores; o botão “ensino médio” (cujo conteúdo está sendo descrito) e o botão “créditos” para identificação dos responsáveis pela concepção, desenvolvimento e criação desse material de divulgação científica.



Figura 1. Página inicial do material construído para o ensino do tema da supercondutividade.

## LINK: ENSINO MÉDIO

### 1. Modelo de metal

Optamos por introduzir o assunto com uma breve revisão da eletrodinâmica para que o aluno pudesse entender o fenômeno da supercondutividade sem “esbarrar” em conceitos já estudados nesse nível de ensino. Levamos ao aluno a idéia de que “modelo físico” é um exemplar que copiamos, imitamos, ou seja, a imagem daquilo que pretendemos reproduzir a partir de algumas hipóteses sobre o comportamento de um sistema físico no âmbito de uma teoria científica aceitável.

Apresenta-se o modelo de metal que atualmente está sendo utilizado, apresentando ao aluno uma animação – visualizada na figura 2 – destacando a formação da rede cristalina de um sólido, formada por íons positivos oscilando em torno de suas posições de equilíbrio e um elétron livre movendo-se aleatoriamente, batendo na rede cristalina.

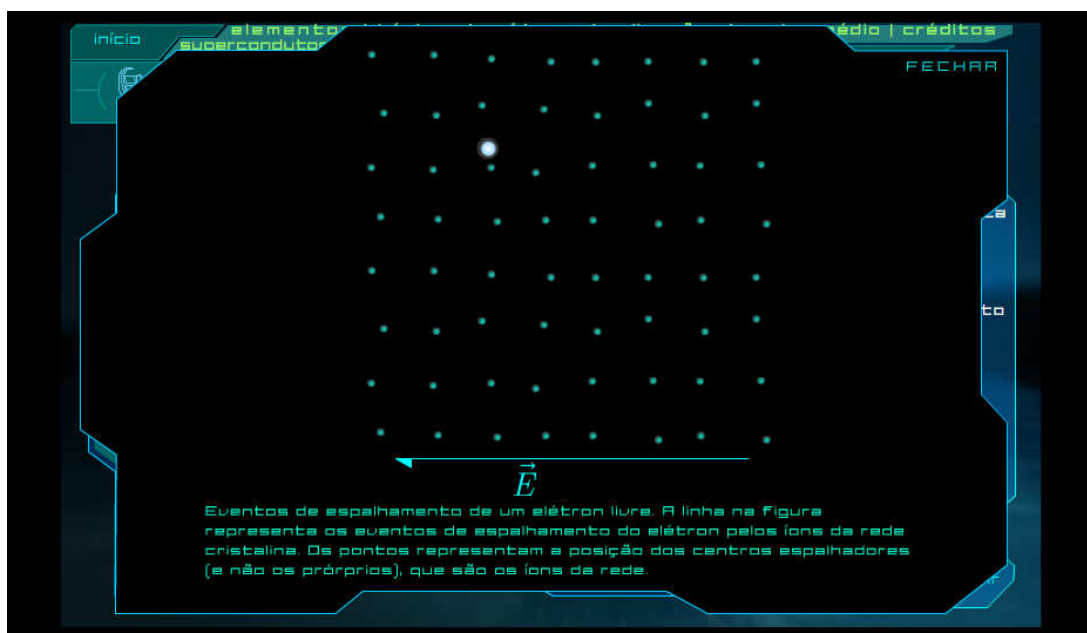


Figura 2. Modelo de metal.

### 2. Corrente elétrica

Revisa-se o conceito de corrente elétrica, definindo a velocidade de arraste lançando mão de algumas analogias com situações vivenciadas pelo aluno: comparamos os elétrons livres existentes nos condutores com inúmeras pessoas que se encontram no interior de um salão de festas no instante em que toca o alarme de incêndio, sendo que no local está disponível apenas uma possível saída. Cada pessoa vai tentar chegar até a saída por caminhos diferentes, passando por obstáculos diferentes – cadeiras, mesas, pessoas (que representam a rede cristalina do condutor e também as impurezas que o mesmo apresenta). Concluímos afirmando que a movimentação das pessoas consiste na “velocidade de arraste”, assim como os elétrons livres possuem uma pequena velocidade de deriva na direção do campo elétrico, dando origem a um movimento em uma direção preferencial e a esse movimento de elétrons em uma direção preferencial chamamos de “corrente elétrica”. Possibilitamos uma animação para visualização do movimento desordenado de elétrons quando o condutor não está submetido a uma



diferença de potencial, bem como do movimento ordenado de elétrons quando o condutor está submetido a uma diferença de potencial (figura 3).

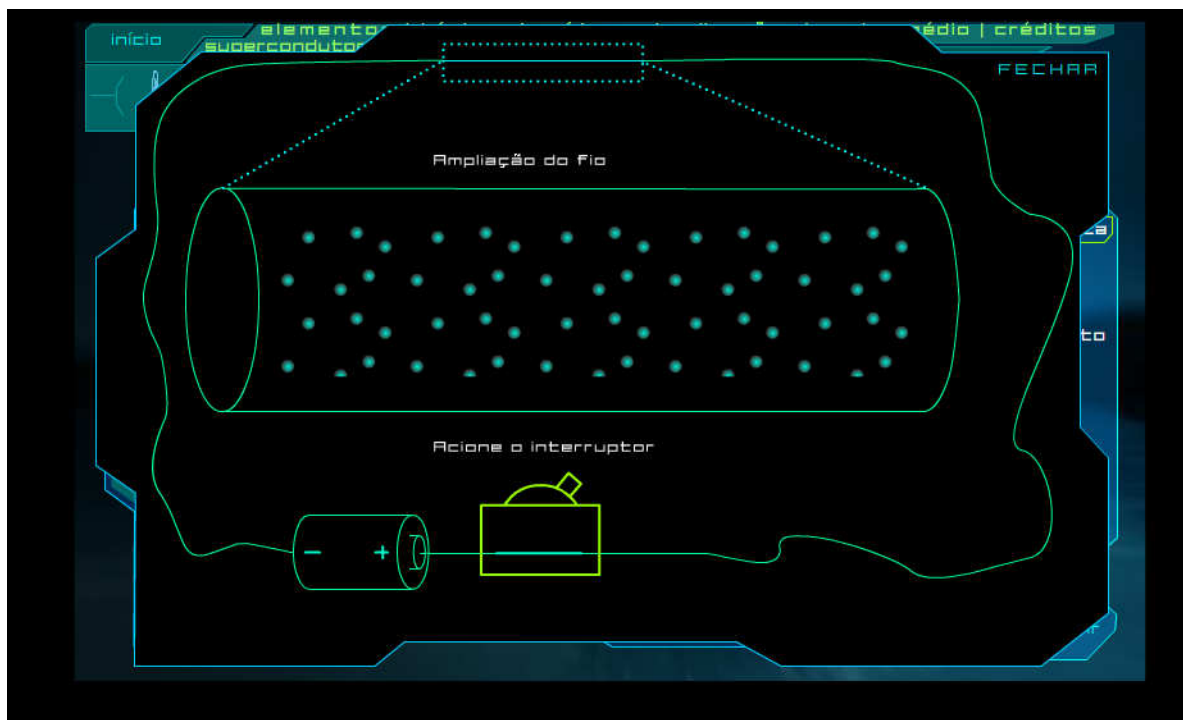


Figura 3. Animação da velocidade de arraste dos elétrons no interior de um condutor metálico quando submetido a uma diferença de potencial elétrico.

### 3. Resistividade elétrica

Segue-se fazendo um comparativo do comportamento da resistividade dos metais com a variação de temperatura através da análise de gráficos da resistividade em função da temperatura ( $\rho \times T$ ) para condutores reais (figura 4) e condutores perfeitamente puros (figura 5).

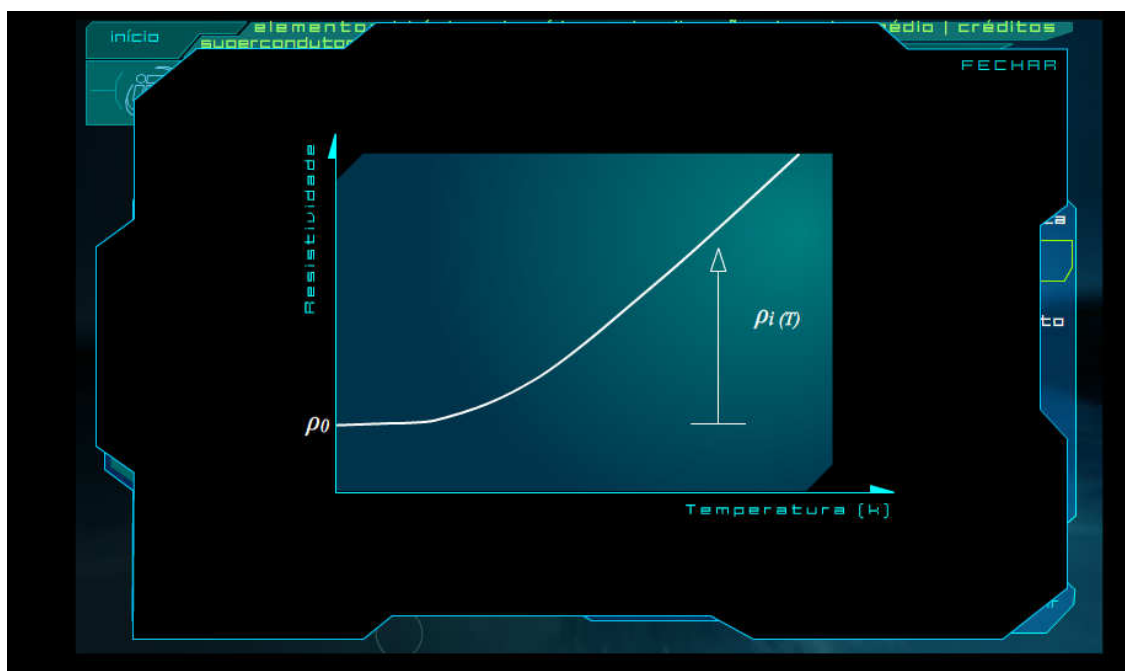


Figura 4. Gráfico  $\rho \times T$  de um condutor real.

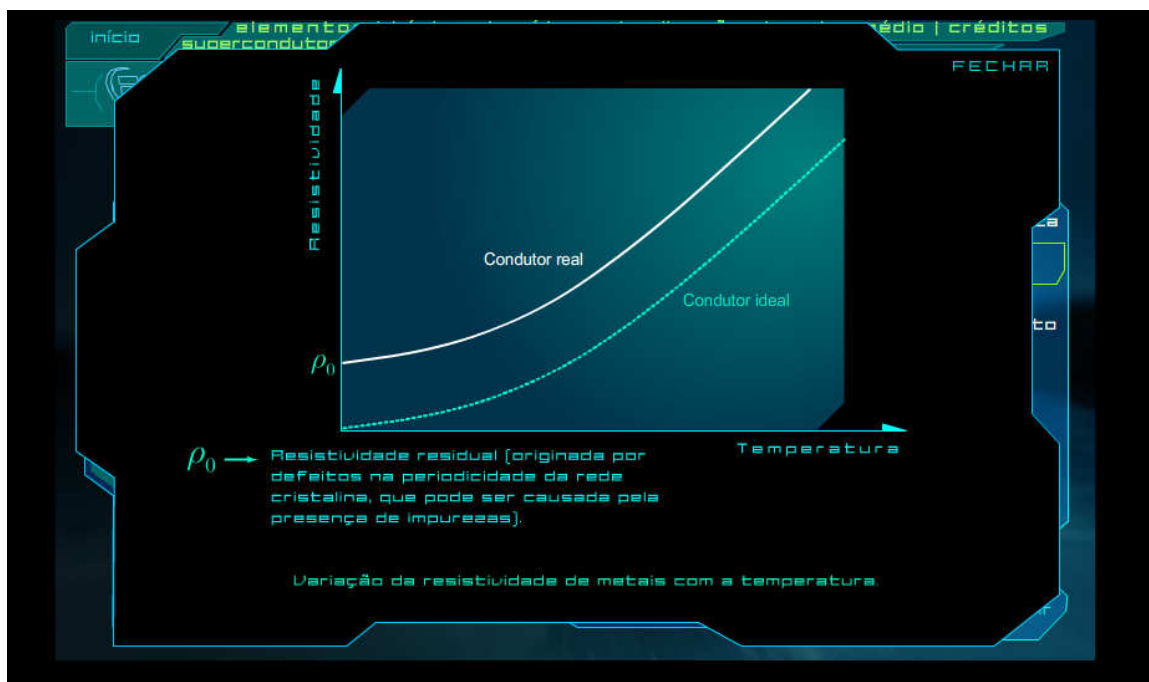


Figura 5. Gráfico  $\rho \times T$  de um condutor real comparado a um condutor ideal.

#### 4. Supercondutor x Condutor perfeito

Quando falamos em condutor perfeito, estamos considerando um modelo idealizado de metal, ou seja, um metal cujas impurezas e imperfeições na rede cristalina sejam desprezíveis.

Existem também os semicondutores, ou seja, substâncias cuja condutividade elétrica está situada na faixa intermediária entre os condutores e os isolantes – são muito utilizados pela possibilidade de se tornarem melhores condutores ao passarem por processos chamados de *dopagem*. Sua importância para a eletrônica não está restrita apenas à possibilidade de mudar a resistividade do material, mas a associações que podem ser feitas com eles, dando origem aos diodos e aos transistores.

Para a maioria dos metais, resistividade e temperatura são diretamente proporcionais. Podemos citar como exemplo o filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente: à temperatura ambiente sua resistividade é menor do que quando acesa.

Certos materiais apresentam um comportamento muito diferente daquele normalmente observado. Esse comportamento particularmente importante e ao mesmo tempo surpreendente é observado somente quando a temperatura do material se aproxima do zero absoluto (0 K). No ano de 1911, o físico holandês Heike Kamerlingh Onnes percebeu que a resistividade do mercúrio desaparece numa determinada temperatura (chamada temperatura crítica –  $T_c$ , cujo valor encontrado por Onnes para o mercúrio foi de 4 K, ou seja,  $-269^\circ\text{C}$ ). Não se trata de uma “resistividade desprezível”, ou seja, aquela que é considerada em um modelo idealizado de metal, mas da sua inexistência total.

Esse fenômeno de resistividade nula que você pode verificar no gráfico (da figura 6), Onnes chamou de supercondutividade.

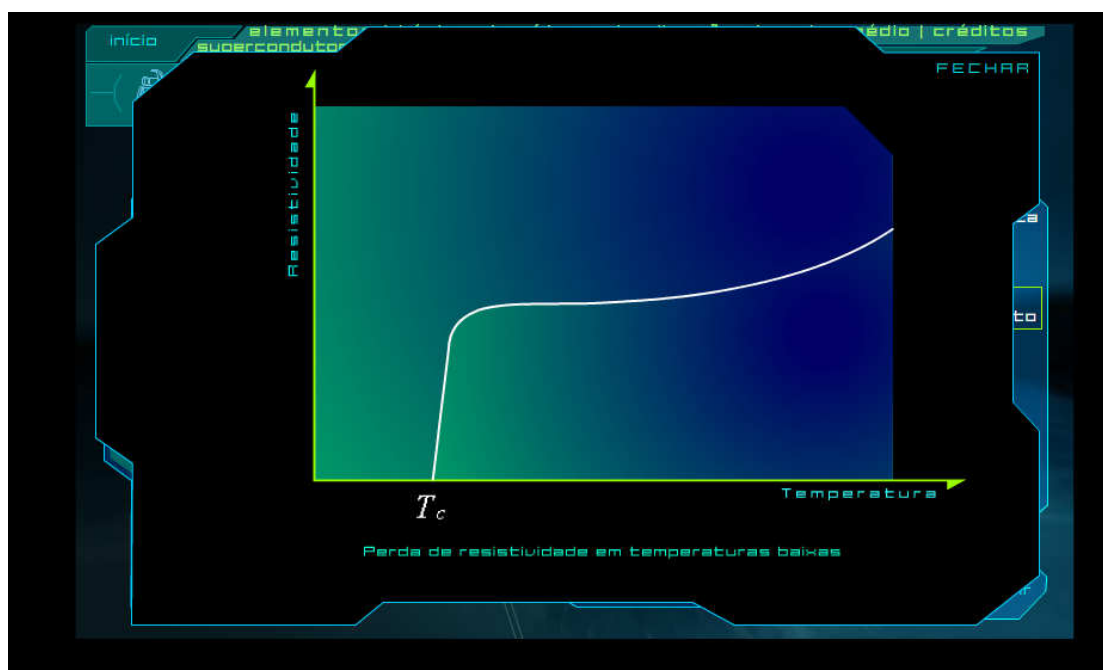


Figura 6. Gráfico pxT de um supercondutor.

Enfatizamos a existência de materiais supercondutores na natureza, apresentando a tabela periódica com os elementos supercondutores em destaque (figura 7). Evidenciamos a formação de elementos supercondutores em forma de compostos intermetálicos e sólidos de cuprato, que nada mais são do que cerâmicas (boas condutoras de eletricidade e sua temperatura crítica é maior do que em outros elementos supercondutores).

**Grupo Tchê Química - Tabela Periódica**  
www.tchêquimica.com

1 H Hidrogênio	Sólidos																Artificiais										2 He Hélio							
3 Li Lítio	4 Be Berílio 0,026	Gases O símbolo em verde marca todos os elementos não metálicos														Líquidos										10 Ne Neônio								
11 Na Sódio	12 Mg Magnésio	13 Al Alumínio 1,2	14 Si Silício	15 P Fósforo	16 S Enxofre	17 Cl Cloro	18 Ar Argônio	19 K Potássio	20 Ca Cálcio	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio 0,39	23 V Vanádio 5,3	24 Cr Cromo	25 Mn Manganês	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cúprum	30 Zn Zinco 0,88	31 Ga Gálio 1,68	32 Ge Germânio	33 As Arsênio	34 Se Selênio	35 Br Bromo	36 Kr Criptônio									
37 Rb Rubídio	38 Sr Estrôncio	39 Y Ítrio	40 Zr Zircônio 0,59	41 Nb Níbio 2,25	42 Mo Molibdênio 0,92	43 Tc Técnetio 7,17	44 Ru Ródio 0,49	45 Rh Ródio 6,00693	46 Pd Paládio	47 Ag Prata	48 Cd Cádmio 0,52	49 In Índio 3,4	50 Sn Estanho 3,72	51 Sb Antimônio	52 Te Telúrio	53 I Iodo	54 Xe Xenônio	55 Cs Césio	56 Ba Bário	57 La Lantânio	58 Ce Cério 0,09	59 Pr Praseodímio 4,47	60 Nd Néodímio 6,015	61 Pm Promécio	62 Sm Samaritério 1,70	63 Eu Europário 3,66	64 Gd Gadolínio 2,02	65 Tb Terbório	66 Dy Díscio	67 Ho Hólio	68 Er Érbio	69 Tm Tulmínio	70 Yb Ítrio	71 Lu Lutécio
87 Fr Frâncio	88 Ra Rádium	89 Ac Actínio	101 Db Dübnyum	102 Sg Seabórgio	103 Bh Bohrio	104 Hs Háscio	105 Mt Moscúvio	106 Ds Dáscio	107 Rg Roentgenio	108 Uub Ununbécio	109 Uuq Ununquécio	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130		
Lantanídeos		57 La Lantânio 4,88	58 Ce Cério	59 Pr Praseodímio	60 Nd Néodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samaritério	63 Eu Europário	64 Gd Gadolínio	65 Tb Terbório	66 Dy Díscio	67 Ho Hólio	68 Er Érbio	69 Tm Tulmínio	70 Yb Ítrio	71 Lu Lutécio	Actinídeos																	
		88 Ac Actínio	89 Th Tório 1,57	90 Pa Protactínio	91 U Urânio	92 Np Neptúncio	93 Pu Plutônio	94 Am Americônio 1,1	95 Cm Curvônio	96 Bk Berkelônio	97 Cf Califórnio	98 Es Einsteinônio	99 Fm Fermônio	100 Md Mendelevônio	101 No Nobelônio	102 Lr Lawrencônio																		

**Re** 1,70 Elementos supercondutores. Temperatura crítica em Kelvin, correspondente aos casos em que a supercondutividade ocorre em condições normais de pressão.

  Supercondutividade sob pressões elevadas ou em amostras de forma especial.

Figura 7. Tabela periódica.

## 5. Materiais supercondutores

Em geral, o conhecimento científico é obtido por meio de um procedimento definido, testado e confiável. A esse procedimento definido chamamos de método científico. O método científico foi amplamente difundido e, embora seja questionável, ainda hoje autores de livros de ciências do ensino fundamental, bem como física, química e biologia passam a professores e alunos a idéia de que toda teoria científica começa na observação livre de qualquer conhecimento prévio. Não são poucos os livros didáticos que descrevem cientistas olhando para a natureza sem nada em mente, e como se num passe de mágica percebessem alguma anormalidade ou fenômenos que lhe chamassem a atenção e então, através do desenvolvimento de experimentos (atividades práticas) e de cálculos matemáticos rígidos, algumas conclusões seriam validadas e outras não. As conclusões que foram validadas através do método científico seriam as “respostas dadas ao problema”, também chamadas de Leis Físicas.

Erroneamente o ensino de ciências difunde a idéia de que o conhecimento científico é obtido por meio de procedimento definido, testado e confiável. O suposto método (método científico) começa na observação livre de qualquer teoria e através de procedimento lógico e rígido leva à produção do conhecimento científico.

Essa visão é considerada incorreta a respeito da produção do conhecimento. Pode-se afirmar que nenhum cientista começa a observação sem que ele saiba para qual (ou quais) fenômeno dirigir sua atenção. Por isso, admite-se que toda observação está impregnada de teorias, de expectativas, de algo que foi definido previamente. O conhecimento científico não é definitivo. Faz parte de um processo evolutivo, ou seja, é uma construção e para tal é necessário que o cientista seja persistente, criativo e que tenha conhecimento das teorias que passam por constantes adaptações, sendo que o produto final é obtido através de muito esforço e, diga-se de passagem, feito por pessoas “normais”.

As novas teorias, em geral, surgem quando um cientista tem profundo conhecimento da área que está investigando e percebe que algo saiu errado durante suas investigações. A partir disso, organiza os dados novos de maneira diferente e adapta a teoria à nova área de interesse.

Como exemplo de desenvolvimento científico, vamos nos reportar ao fenômeno da supercondutividade. Em 1911, Onnes estava pesquisando as propriedades elétricas dos metais em temperaturas muito baixas e, ao verificar a resistividade elétrica do mercúrio, e percebeu que este material perdia de forma completa e inesperada a sua resistividade quando sua temperatura estava abaixo de 4 K (-269°C). Naquela época foi sugerido que essa propriedade era exclusiva do mercúrio. Porém, no ano seguinte, Onnes e seus colaboradores verificaram que o estanho (Sn) e o chumbo (Pb) também apresentavam esta encantadora propriedade, com temperaturas de 3,7K (-269,3°C) e 7,2K (-265,8°C), respectivamente. Desde então, o número de elementos com características supercondutoras não parou de aumentar.

Atualmente conhecemos 29 elementos químicos simples que são supercondutores em condições normais de pressão. As temperaturas críticas variam entre  $T_c = 0,00033$  K (-272,99967°C) para o ródio (Rh) e  $T_c = 9,25$  K (-263,75°C) para o nióbio (Nb). Alguns elementos como o silício (Si), o germânio (Ge) e também sólidos que são semicondutores em condições normais e isolantes elétricos, como é o caso do oxigênio (O), apresentam-se supercondutores quando submetidos a altas pressões. Existe também um crescente número de ligas e compostos intermetálicos que se apresentam supercondutores quando submetidos a baixas temperaturas.

Como exemplos citamos a liga Nb-Ti (Nióbio-titânio), com  $T_c = 10\text{ K}$  (- 263°C), e o composto intermetálico Nb<sub>3</sub>Sn (nióbio – estanho), para o qual  $T_c = 18\text{ K}$  (- 255°C), particularmente importantes do ponto de vista tecnológico, pois a maior parte dos fios e dispositivos supercondutores comercializados são fabricados com estes materiais.

Um material promissor para aplicações tecnológicas, devido ao fato de possuir temperatura crítica, surpreendentemente elevada, alcançando 39 K (-234°C). Trata-se do MgB<sub>2</sub> (magnésio-boro) (Figura 8).

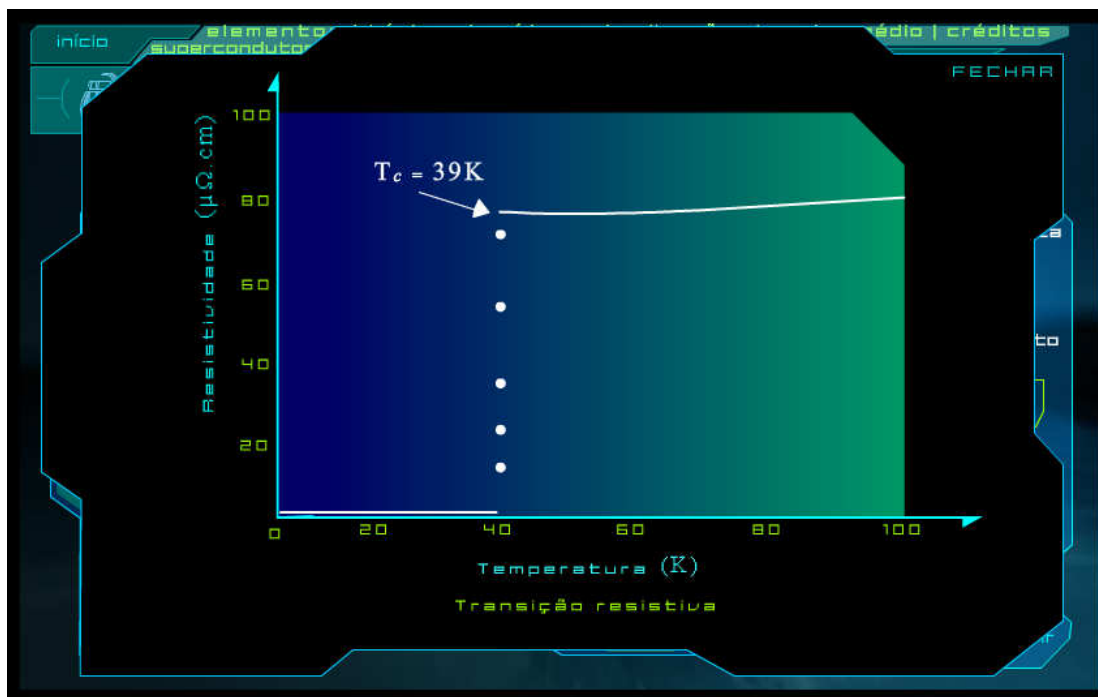


Figura 8. Mudança resistiva do MgB<sub>2</sub>

Observe a estrutura cristalina de uma célula do supercondutor MgB<sub>2</sub> (Figura 9), formada por uma seqüência de planos atômicos hexagonais de magnésio separados por planos atômicos de boro.

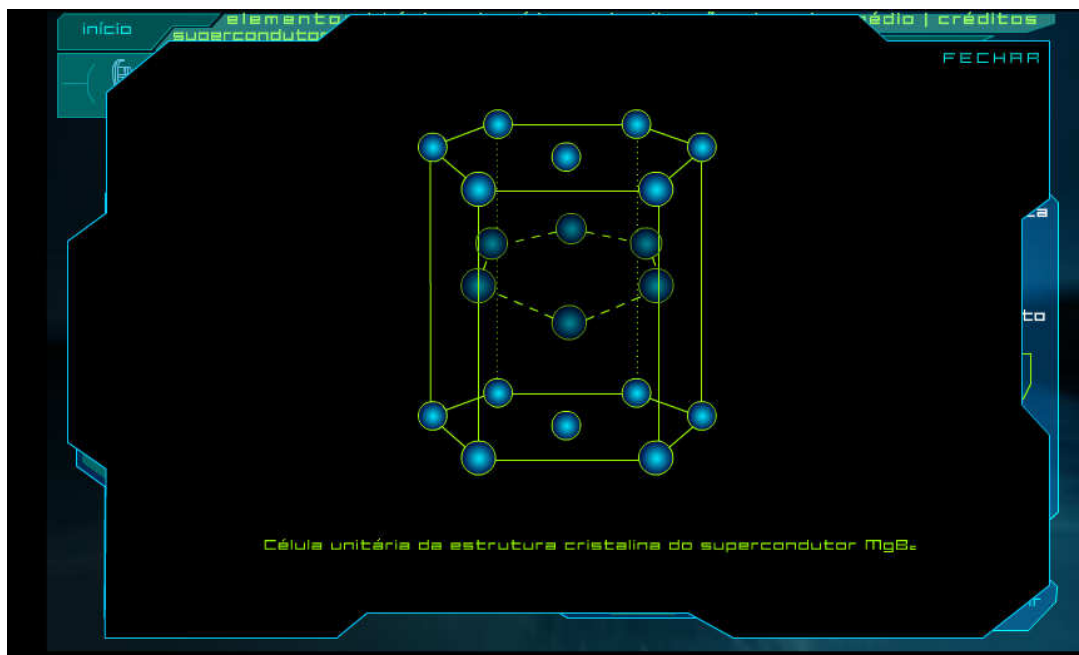


Figura 9. Estrutura cristalina do do  $MgB_2$

Os sólidos de fullerenos (sólidos cuja composição química conta com a presença do carbono – C) é outro exemplo muito interessante de supercondutores orgânicos. Esses sólidos são compostos de átomos alcalinos (molécula composta por 60 átomos de carbono). Veja a estrutura cristalina (Figura 10) de uma cela de fullereno, que tem o formato de uma bola de futebol na qual os átomos de carbono arranjam-se nos vértices de hexágonos e pentágonos regularmente distribuídos nos sólidos  $Na_3C_{60}$  (sódio-carbono) ou  $Rb_3C_{60}$  (rubídio-carbono), a estrutura cristalina é cúbica.

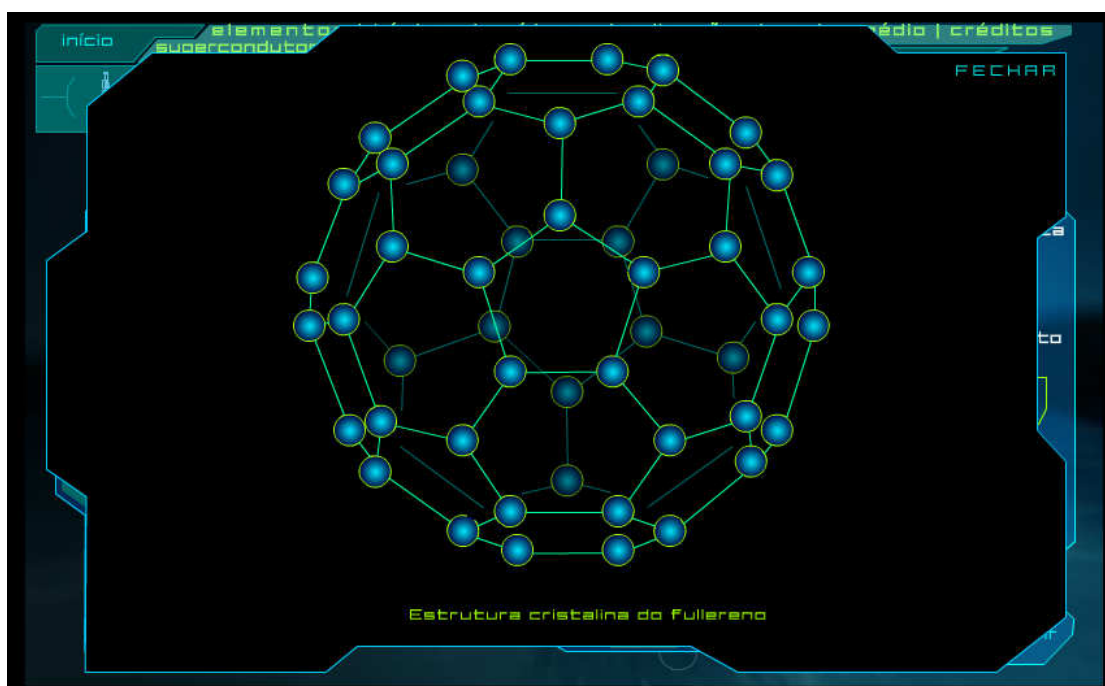


Figura 10. Estrutura cristalina do fullereno.

No final da década de 80, a descoberta dos cupratos (sólidos cuja composição química conta com a presença do cobre - Cu) supercondutores causou grande impacto na pesquisa em física dos sólidos pelo fato de que a temperatura crítica de tais elementos atinge valores superiores a 100K (-173 K). Tudo começou no ano de 1986, a partir das pesquisas feitas por Karl Alex Muller e Georg Bednorz, pesquisadores da IBM (em Zurique, na Suíça). Eles anunciaram a ocorrência de supercondutividade num composto contendo lantânio, bário, cobre e oxigênio, a uma temperatura de aproximadamente 30K (-243°C). A fórmula química do elemento é:  $\text{La}_{2-x}\text{A}_x\text{CuO}_4$  (em que A = Ba ou Sr e  $x \cong 0,15$ ), sendo que esse composto pode ser chamado de La-Ba-Cu-O.

Seguindo o trabalho original de Muller e Bednorz, em 1987, os físicos Paul Chu e Maw-Kuen Wu descobrem o famoso cuprato  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  (também chamado por YBaCuO ou apenas YBCO). Essa liga apresenta temperatura crítica de aproximadamente 92K (-181°C), justificando a empolg ação pela sua descoberta.

Os sólidos de cuprato nada mais são do que cerâmica, cuja descoberta foi apresentada com grande surpresa, pois as cerâmicas em geral não são boas condutoras de eletricidade. A grande vantagem destas cerâmicas é possuir temperatura crítica maior do que a imposta pela barreira tecnológica representada pela temperatura de ebulição do nitrogênio líquido, cujo valor é de 77K (-196°C), utilizado para manter elementos supercondutores a baixas temperaturas.

Embora a temperatura crítica desses compostos ainda seja relativamente baixa, podem ser alcançadas de maneira simples e com baixo custo, por isso as pesquisas na área podem continuar acontecendo mesmo em países em desenvolvimento, como o Brasil, causando assim grande expectativa quanto ao possível impacto econômico e social. Além disso, a obtenção da cerâmica do supercondutor YBCO pode ser preparada com recursos técnicos bastante simples. O YBCO é um dos materiais mais estudados atualmente, pois suas propriedades eletrônicas revelam comportamento singular, ou seja, não encontrado em outros materiais convencionais.

Os objetivos centrais das pesquisas em supercondutividade têm sido a obtenção das mais variadas propriedades do fenômeno, de sua melhor compreensão, bem como da procura de supercondutores que possuam temperaturas críticas próximas da temperatura ambiente, que possam ser alcançadas pelos processos comuns de refrigeração.

## 6. Indução eletromagnética – A Lei de Faraday

São trabalhados conceitos elementares de eletromagnetismo, iniciando com a Lei de Faraday-Lenz. Essas teorias foram trabalhadas no laboratório de Física através de atividades práticas dirigidas e posteriormente, no laboratório de informática os alunos puderam ler no hipertexto as aplicações da teoria, detalhes da Lei de Faraday-Lenz e algumas animações dos experimentos vivenciados na prática (Figura 11). Na figura 12, as linhas de indução são visualizadas, facilitando a compreensão do fenômeno.

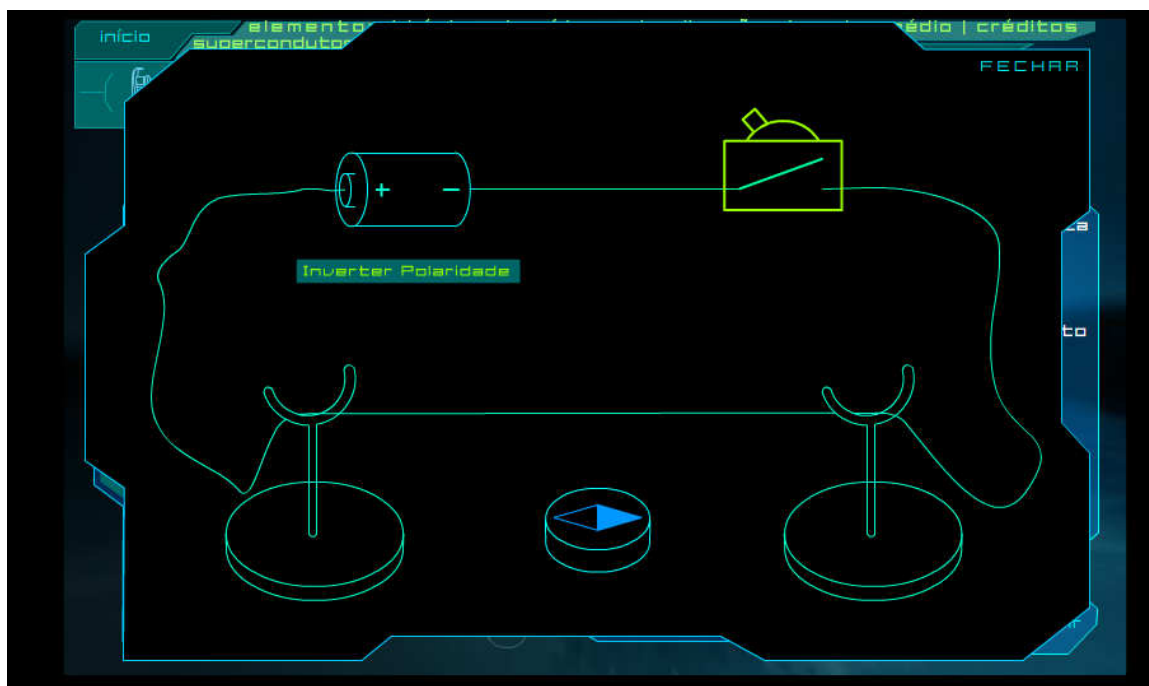


Figura 11. Animação do experimento de Oersted.

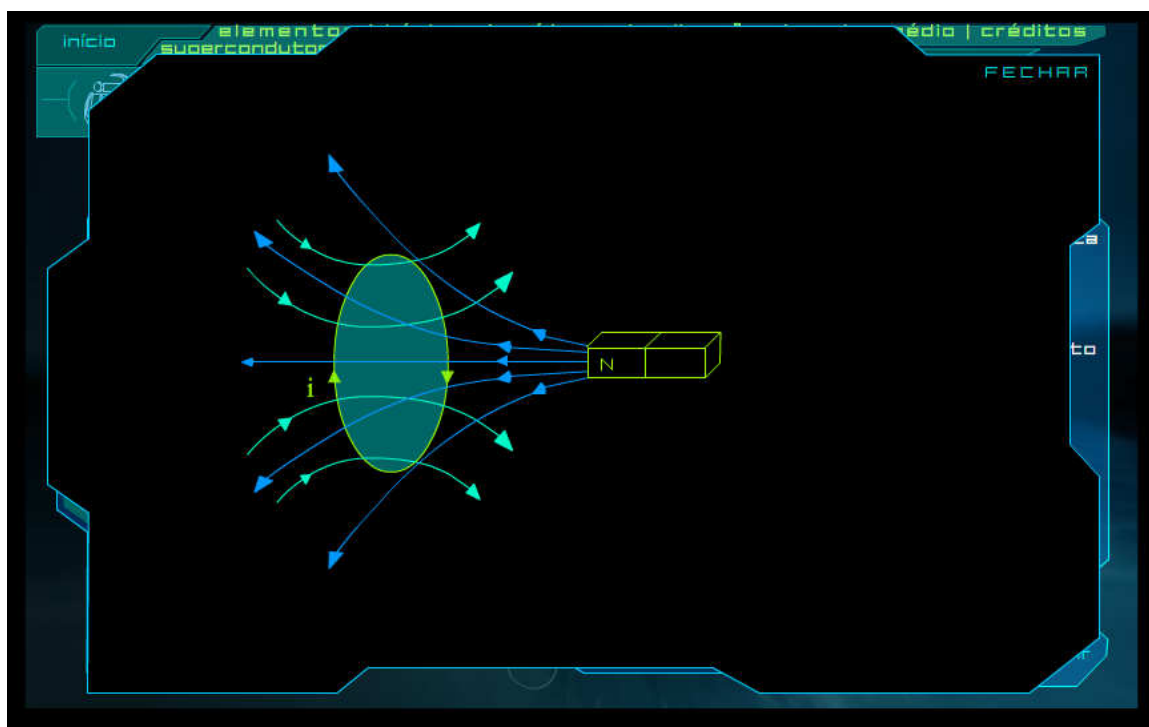


Figura 12. Linhas de campo – Lei de Lenz.

## 7. Propriedades do estado supercondutor



## 7.1. Resistividade nula

## 7.2. Efeito Meissner

Considere uma amostra que possui em seu interior um campo magnético  $\vec{B}_i$  e que surge em resposta a um campo magnético aplicado  $\vec{B}_a$ , criado por um ímã colocado nas suas proximidades. É muito importante que você saiba diferenciar a origem de cada um desses campos magnéticos. O material (amostra) reage se magnetizando, criando o campo interno  $\vec{B}_i$ . Esse campo interno, originado pela magnetização do material (que é dependente de propriedades microscópicas do mesmo – o movimento orbital dos elétrons ao redor do núcleo), não deve ser confundido com o campo induzido  $\vec{B}_{ind}$ , que também surge ao se aproximar um material condutor de um ímã, ou seja, quando for aplicado gradualmente sobre ele um campo magnético  $\vec{B}_a$ . De acordo com a Lei de Faraday-Lenz, a corrente elétrica induzida aparece sempre com um sentido tal, que o campo magnético induzido decorrente  $\vec{B}_{ind}$  se oponha à variação do campo magnético total  $\vec{B}$  através da espira. Portanto, aparecerão correntes induzidas que circularão na superfície da amostra durante o tempo em que o campo  $\vec{B}_a$  é gradualmente aplicado. Se o material condutor estiver a baixíssima temperatura (muito próxima de 0 K), sua resistividade será muito próxima de zero. Assim, essas correntes que circularão na amostra podem ser consideradas como permanentes, já que praticamente não há resistividade no condutor nesse caso. Não havendo resistividade, essas correntes podem aumentar de intensidade até criar um campo magnético induzido dentro do material que é exatamente igual e oposto ao campo magnético aplicado (Figura 13).

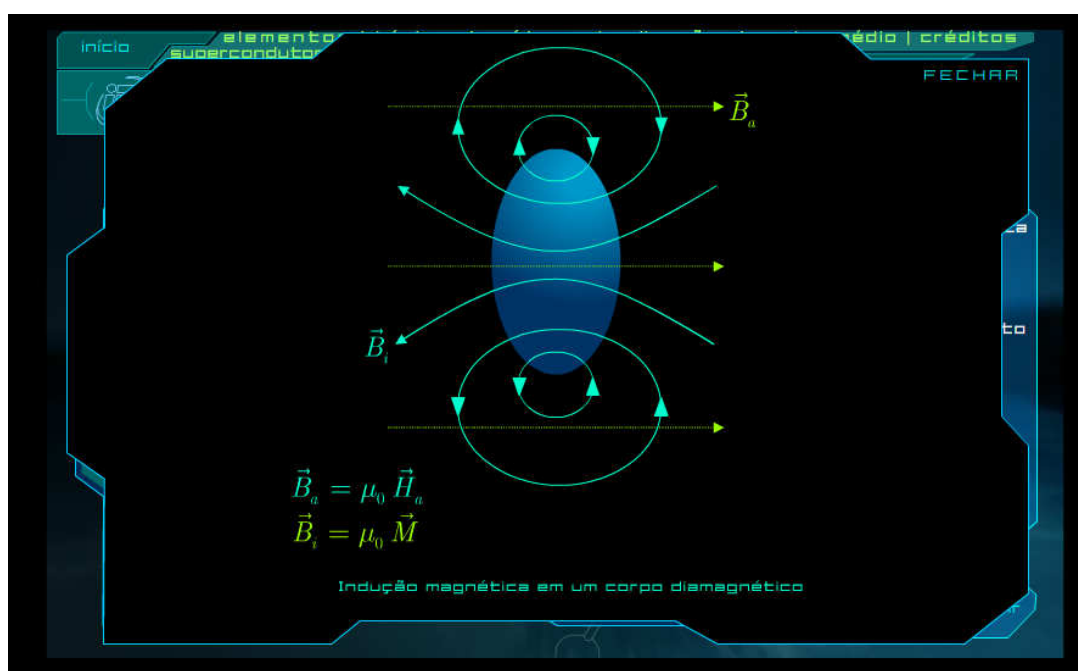


Figura 13. Indução magnética em um corpo diamagnético.

Como essas correntes são persistentes devido ao fato de não haver resistividade, o campo magnético total  $\vec{B}$  dentro do material é nulo. O campo magnético induzido não desaparece na fronteira do material, porém formam linhas contínuas e fechadas que retornam através do espaço externo. Embora  $\vec{B}_{ind}$  seja igual e oposto a  $\vec{B}_a$ , o mesmo não ocorre fora do material. A distribuição do campo magnético resultante da superposição de  $\vec{B}_{ind}$  e  $\vec{B}_a$  pode ser visto na figura 14. A amostra impede que  $\vec{B}_a$  penetre em seu interior. Todo material cujo campo magnético total  $\vec{B}$  dentro do material permanece nulo é chamado de *diamagneto perfeito*.

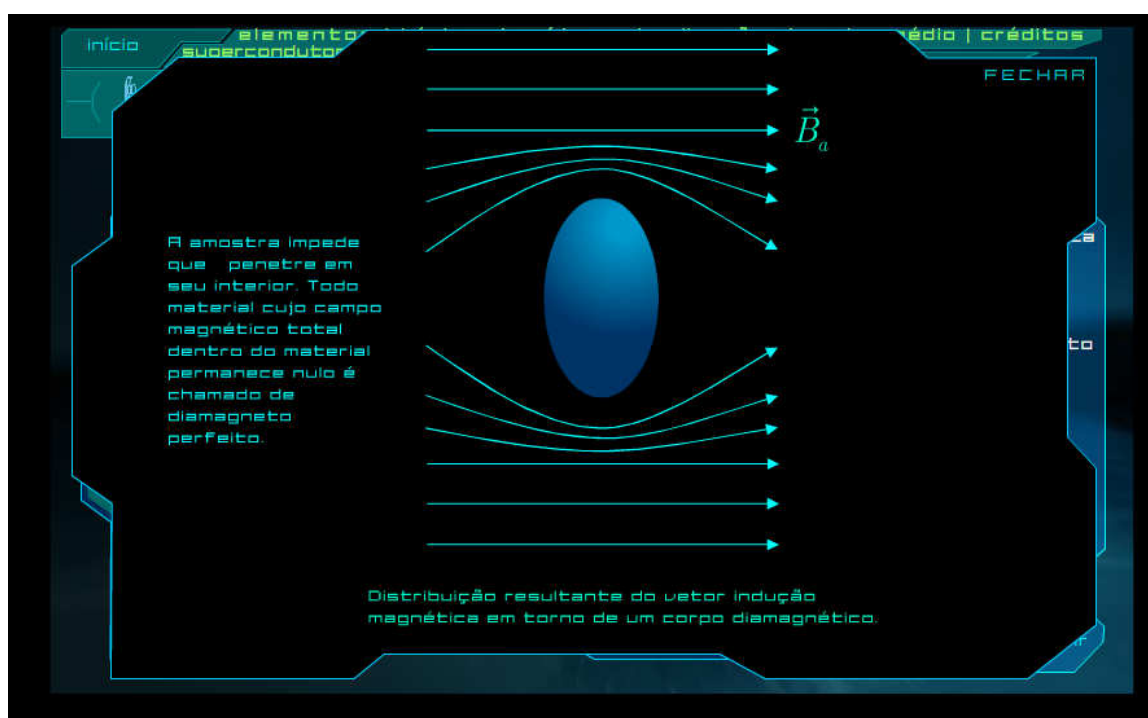


Figura 14. Distribuição do campo magnético resultante de um corpo diamagnético.

Na seqüência, são apresentadas as propriedades dos elementos no estado supercondutor, enfatizando a resistividade nula e o efeito Meissner. Através de uma seqüência de animações orientadas, pode-se concluir que um condutor perfeito obedece à Lei de Faraday-Lenz - resiste somente a variações de campo magnético externo (figura 15), enquanto que um supercondutor apresenta Efeito Meissner - reage à simples presença de um campo magnético externo (figura 16).

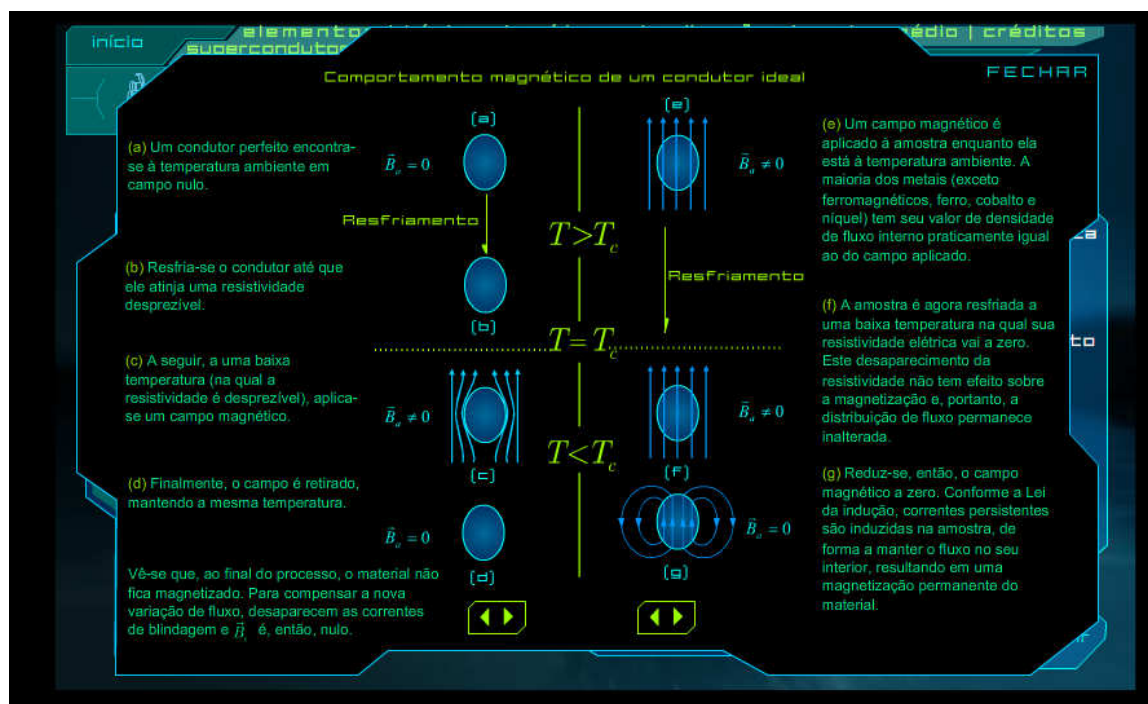


Figura 15. Comportamento magnético de um condutor perfeito.

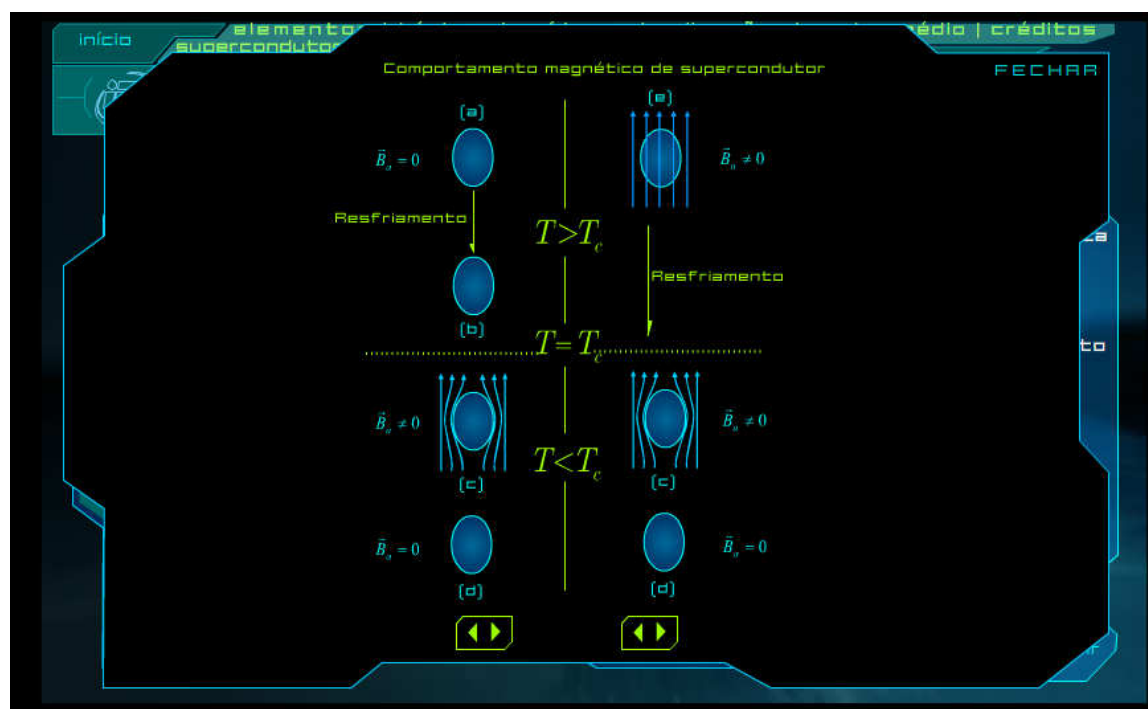


Figura 16. Comportamento magnético de supercondutor.

#### 7.4. Levitação Magnética

O fenômeno da levitação magnética foi demonstrado no laboratório de Física do colégio com o “kit levitação” fornecido pelo laboratório de supercondutividade e magnetismo da UFRGS. Disponibilizamos um vídeo (figura 17) desse fenômeno na página, considerando que grande parte das escolas de Ensino Médio no Brasil não apresenta condições para a realização da levitação.



Figura 17. Vídeo – Demonstração do efeito Meissner.

O fenômeno da levitação também pode ser ilustrado através da visualização das linhas de campo magnético que se formam na região do material supercondutor, tanto no seu estado normal quanto no seu estado supercondutor, conforme mostra a figura 18.

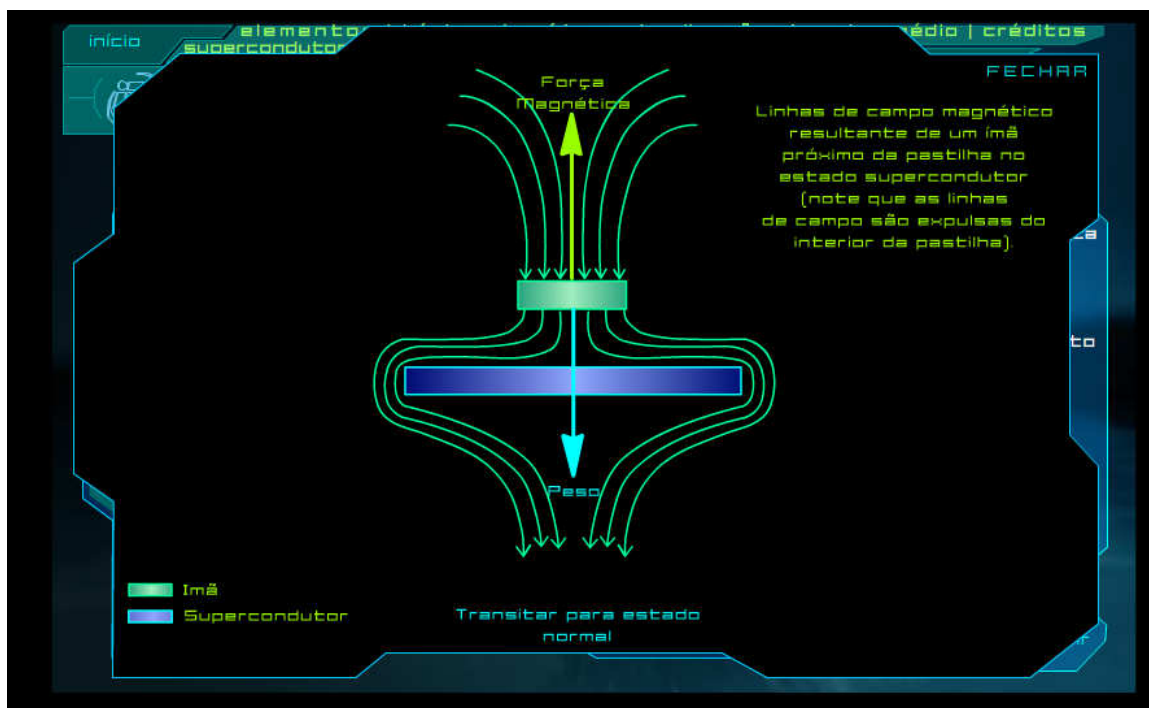


Figura 18. Linhas de campo magnético resultante de um ímã próximo da pastilha no estado supercondutor.

## 8. Transição do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico

Procura-se comparar a passagem do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico, sendo um processo reversível como tal. Dessa maneira, a supercondutividade pode ser articulada a conteúdos já ensinados nesse nível de ensino.

Com valores definidos para as variáveis termodinâmicas ( $T$  e  $P$ ), pode-se construir um gráfico da pressão em função da temperatura ( $p \times T$ ), também chamado de diagrama de fases para o sistema sólido-líquido-gasoso (Figura 19). O diagrama analisado delimita as regiões em que a substância apresenta-se no estado sólido, líquido ou gasoso, inclusive as regiões em que dois ou três estados possam coexistir.

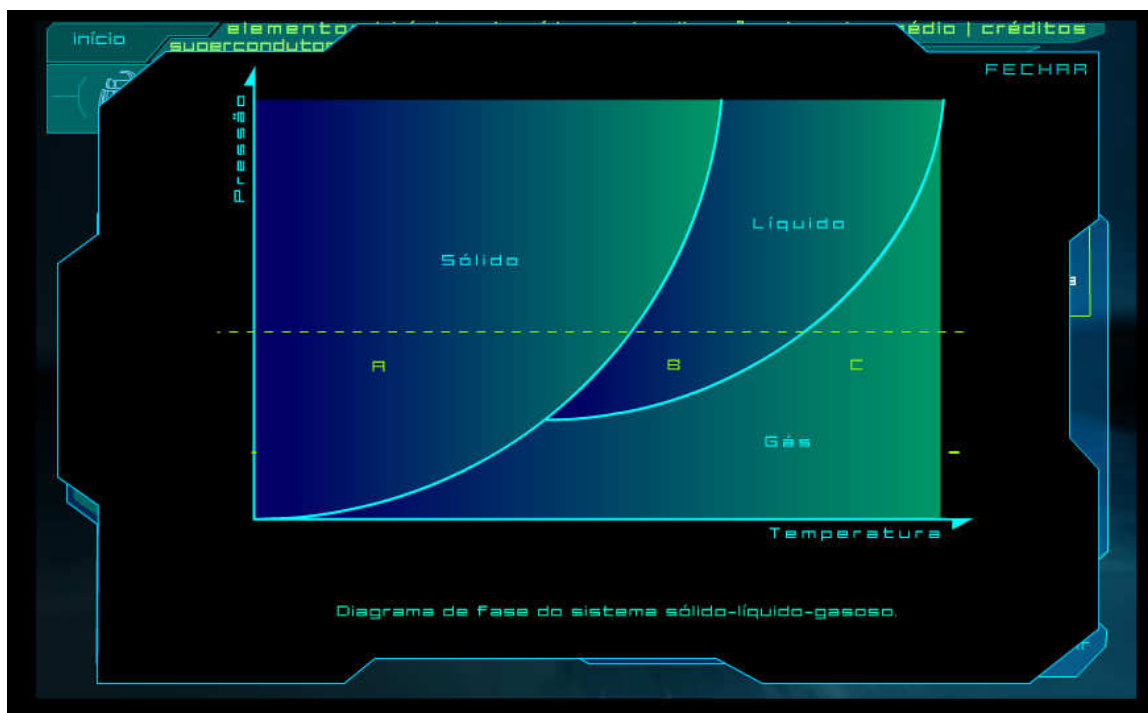


Figura 19. Diagrama de fases do sistema sólido-líquido-gasoso.

Para analisar o comportamento de alguma substância é necessário evidenciar os indicativos físicos que estarão influenciando o comportamento das partículas que compõem a matéria da determinada substância. Conforme análise anterior, fica evidente que os indicativos físicos que afetam as mudanças de estado físico, ou seja, as chamadas variáveis termodinâmicas  $T$  e  $p$  são parâmetros fundamentais para ocorrer a transição de fase de uma substância.

Na passagem para o estado supercondutor também é necessário identificar os indicativos físicos que afetam a mudança do estado normal para o estado supercondutor. Na transição supercondutora, um dos indicativos físicos envolvidos é a temperatura e o outro é o campo magnético.

O estado supercondutor é estável no material até que ele seja submetido a um campo magnético crítico ( $\vec{B}_c$ ). Em outras palavras, existe um valor de campo magnético ao qual o supercondutor possa ser submetido sem que haja transição supercondutora, ou seja, passe a ser um metal em estado normal, a exemplo da temperatura de vaporização que influencia na passagem da fase gasosa para a fase líquida citada anteriormente (Figura 20).

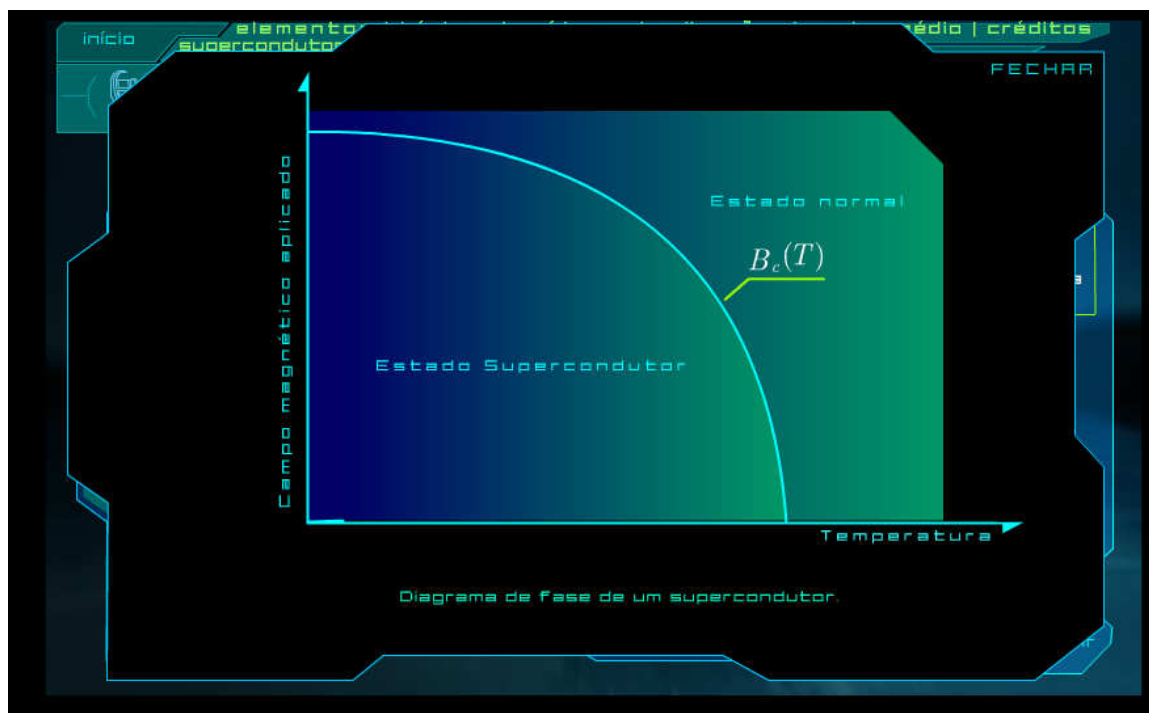


Figura 20. Diagrama de fase de um supercondutor.

A curva apresentada no diagrama representa o limite que separa o estado supercondutor do estado normal (de um supercondutor do tipo I).

## 9. Teoria BCS

Para melhor compreensão da teoria BCS fazemos várias analogias com situações envolvendo objetos macroscópicos que podem ser vistos facilmente em nosso dia-a-dia.

Conforme estudamos anteriormente, os elétrons livres interagem com a rede cristalina do metal (interação elétron-rede), e essa interação determina a resistividade dos materiais. Num condutor perfeito, os elétrons possuem comportamento independente um do outro, ou seja, possuem movimento aleatório. Quando um campo elétrico é aplicado a esse condutor perfeito, surge o que chamamos de “corrente elétrica”.

A condução de energia elétrica em um condutor perfeito ocorre de maneira semelhante à brincadeira de derrubar peças de dominó (enfileiradas sem organização). Ao empurrar o primeiro dominó os demais caem ao acaso (aos trambolhões) e quando o movimento é interrompido é necessário um novo empurrão. A corrente elétrica também somente será constante na presença de um campo elétrico – um gerador - que seria comparado ao empurrão dado às peças de dominó. Como os elétrons colidem com a rede cristalina, com as imperfeições da rede e também com eles mesmos, dissipam energia na forma de calor. (Figura 21)

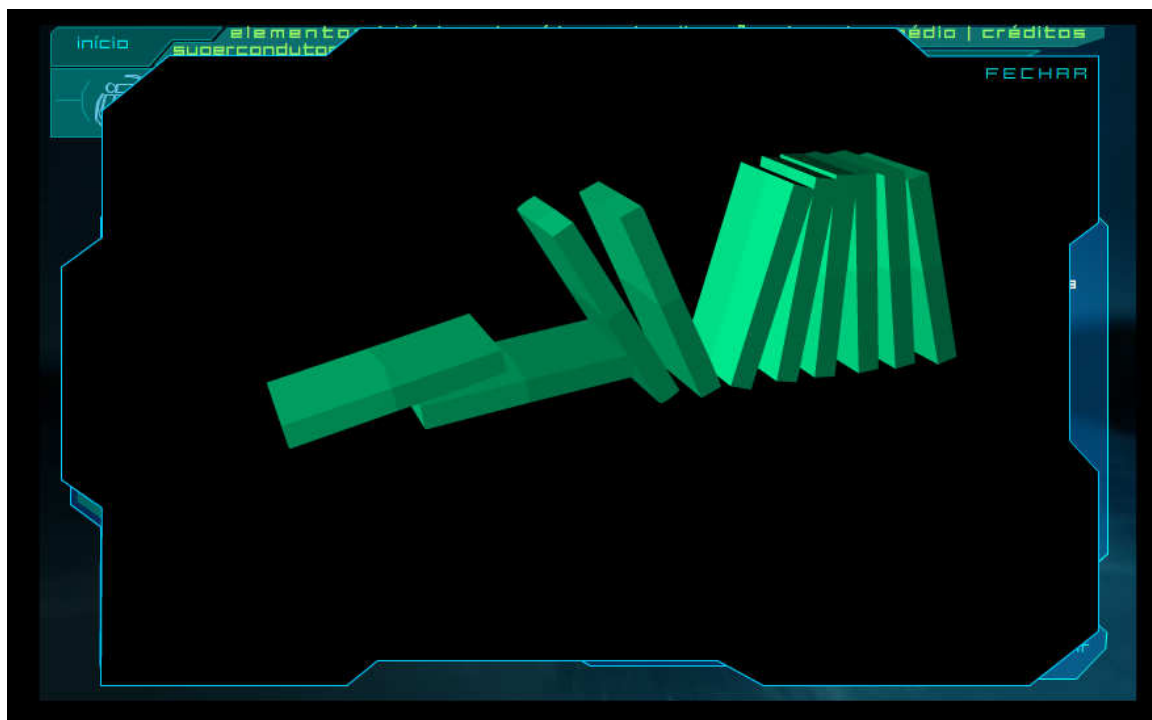


Figura 21. Analogia dos dominós.

### 9.1. Resistividade Nula e Pares de Cooper

No estado supercondutor, ao contrário de um condutor perfeito, os elétrons não possuem comportamento independente. Os elétrons livres atraem-se mutuamente (contrariando a repulsão coulombiana - cargas de sinais iguais se repelem) formando os pares de Cooper (Figura 22). Quando esses elétrons viajam pela rede cristalina constituída por íons positivos, provocam uma ligeira distorção (devido à atração coulombiana - cargas de sinais opostos se atraem) entre o par de elétrons e os íons positivos. Esse movimento de inúmeros pares de Cooper se estende por toda a amostra, ou seja, a corrente elétrica flui indefinidamente (o material apresenta resistividade nula).



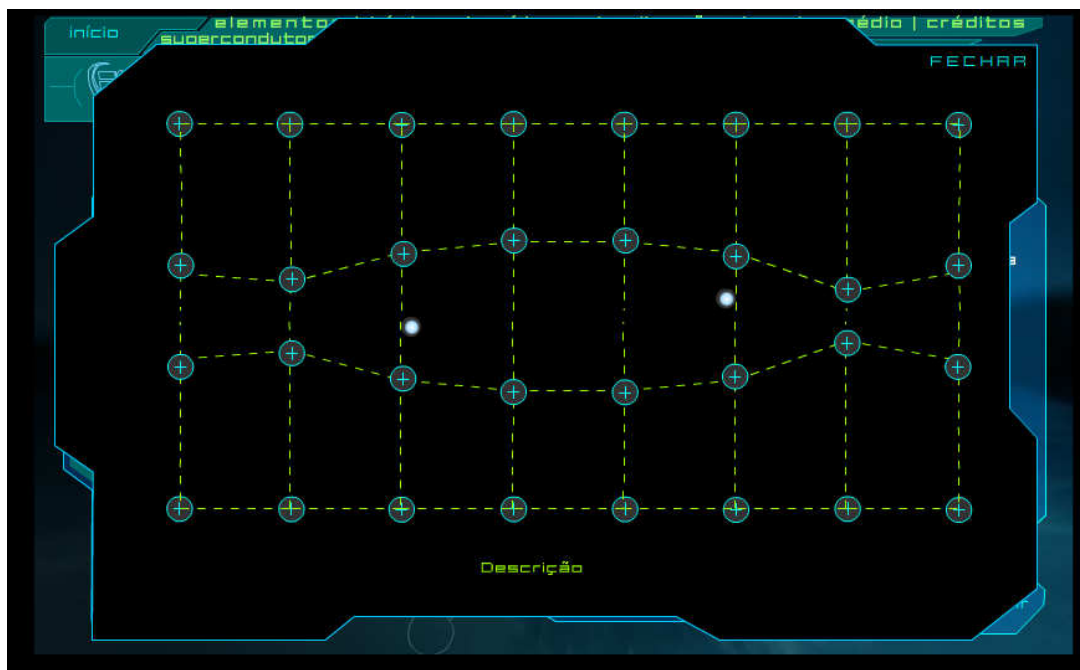


Figura 22. Animação dos pares de Cooper.

Podemos comparar a supercondutividade com a brincadeira de derrubar peças de dominó enfileiradas. Se a fila estiver bem alinhada, ao empurrar o primeiro dominó, os demais caem um após o outro, como em um efeito cascata (Figura 23). Com essa brincadeira podemos ter idéia do motivo pelo qual os pares de Cooper não se separam, ou seja, os pares de Cooper formados em um supercondutor dependem diretamente uns dos outros e dessa maneira se alterarmos o estado de um par, o conjunto de pares do supercondutor será afetado. A supercondutividade é uma forma de movimento ordenado de elétrons e íons em perfeita harmonia, ou seja, os elétrons não se chocam entre si ou com os íons da rede cristalina e com isso a energia elétrica não se transforma em energia térmica (resistividade elétrica nula).

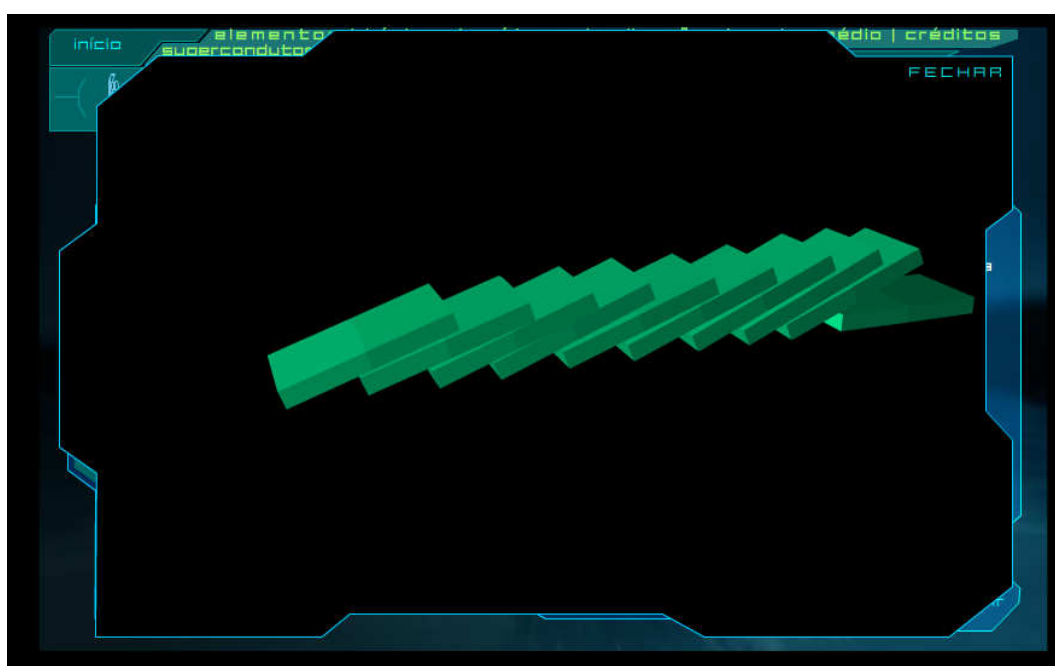


Figura 23. Analogia dos dominós – efeito cascata.

## 9.2. O efeito “colchão”

Consiste em outra analogia que nos permite comparar a rede cristalina de um supercondutor e os pares de Cooper. Para ilustrar a rede cristalina usaremos um colchão e os dois elétrons serão duas esferas pesadas e eletricamente carregadas com cargas negativas.

Se as esferas estiverem sob um colchão ortopédico (cuja deformação é praticamente desprezível na presença de um corpo massivo), sofrerão apenas a força de repulsão coulombiana. Porém, se as esferas estiverem sob um colchão cuja deformação é apreciável na presença de um corpo massivo, além da repulsão coulombiana, sofrerão uma força atração que poderá ser superior à força elétrica de repulsão coulombiana (Figura 24).

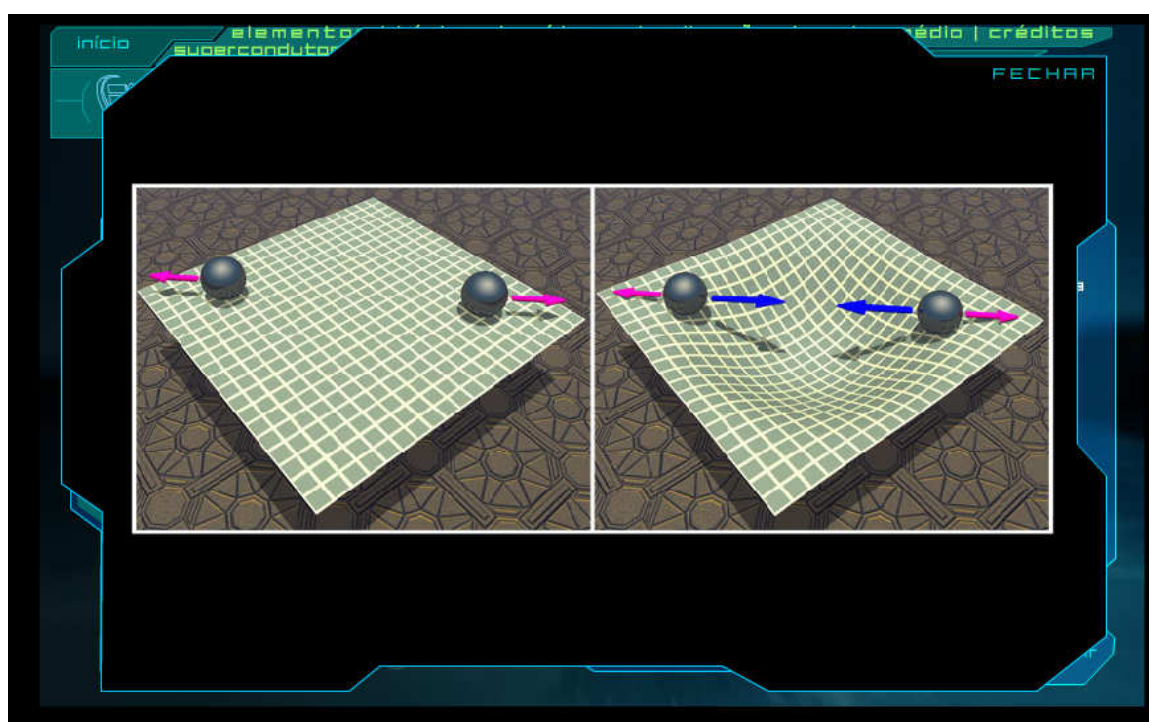


Figura 24: Analogia dos colchões.

## 10. Aplicações

Alguns fatores precisam ser considerados ao definir as propriedades de um material supercondutor para que seja avaliado seu potencial para utilização em aplicações tecnológicas. Entre esses fatores estão a maleabilidade do material (importante para que sejam formados dispositivos específicos), a metalurgia (técnicas de preparação, manuseio, bem como estabilidade química) e o custo, que é fundamental na hora de definir a viabilidade econômica do produto. Dessa maneira muitos materiais supercondutores, ligas e compostos são descartados. Poucos materiais se destacam e como exemplo podemos citar o metal nióbio (Nb), as ligas de nióbio-titânio (Nb-Ti), o composto intermetálico Nb<sub>3</sub>Sn bem como os cupratos de alta temperatura crítica BISCCO-2212 e YBCO.

## 10.1. Transmissão de Potência

Atualmente podemos afirmar que praticamente toda energia elétrica comercializada está na forma de corrente alternada (CA) devido à facilidade que a mesma proporciona na hora de elevar ou baixar a tensão. A energia elétrica é gerada aproximadamente em 25000V e depois é aumentada para aproximadamente 750000V para ser transportada através de fios condutores por longas distâncias. Ao chegar nas subestações abaixadoras, a voltagem é adequada a aplicações industriais (em torno de 440V) ou residenciais (240 e 120V). Esse transporte ocorre por indução eletromagnética.

As grandes distâncias percorridas pela energia elétrica provocam perdas consideráveis nos fios condutores metálicos normalmente utilizados (bons condutores). O uso de fios supercondutores reduziria notavelmente as perdas (pois não apresenta resistividade elétrica). Essa tecnologia ainda é muito cara para ser implementada além de que se tornaria difícil o resfriamento dos fios supercondutores a baixas temperaturas. Apesar disso, em alguns países estão sendo experimentadas linhas de transmissão de curta extensão construídas com o cuprato de alta temperatura crítica.

## 10.2. Levitação Magnética

A China é dona do único trem Maglev (magnetic levitation, ou levitação magnética) que transporta passageiros (do aeroporto ao centro da cidade de Shanghai). Esse meio de transporte promete ser o mais importante do século XXI.

Para a construção do trem magnético são utilizadas bobinas supercondutoras muito mais leves e potentes do que bobinas normais que produzem forte campo magnético capaz de repelir os trilhos de material condutor (alumínio ou cobre) do contato com o trem portanto, a levitação ocorre devido à repulsão magnética entre a bobina supercondutora e o condutor (trilho).

Algumas vantagens da utilização do Maglev:

- mais rápido que outros meios de transporte utilizados atualmente e mais barato (a relação do consumo de energia por passageiro transportado é muito menor do que a de automóveis, caminhões e até mesmo aviões);
- não polui e pode fazer uso de fontes renováveis de energia (solar e eólica);
- independente das variações climáticas pode transportar grandes quantidades de carga (bens e pessoas) em segurança.
- em 2008 a Toshiba pretende construir o primeiro elevador de levitação magnética do mundo;
- futuramente a levitação magnética servirá para transportar cargas no espaço.

“Encurtando” distâncias:

Se no Brasil estivesse funcionando, o Maglev reduziria sensivelmente o tempo de viagem. Veja na tabela alguns valores aproximados para ir de Porto Alegre para algumas cidades brasileiras em um trem, comparados com o tempo de um carro que se desloca a 80km/h:

CIDADE	Caxias	Florianópolis	São Paulo	Rio de Janeiro	Brasília	Recife	Fortaleza
Distância de Porto Alegre (km)	130	475	1.100	1.550	2.030	3.700	4.200
Tempo Maglev (400km/h)	19 min	1h11min	2h45min	3h52min	5h5min	9h15min	10h 30min
Tempo carro (80km/h)	1h37 min	5h56min	13h45 min	19h22 min	25h22 min	46h15 min	52h30 min

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste tópico, especialmente preparado para o Ensino Médio, procuramos apresentar um tema de Física Moderna e Contemporânea que achamos relevante pelo fato de que o fenômeno da supercondutividade está relacionado à impressionante revolução tecnológica que presenciamos neste início de século, ilustrando, portanto, inúmeras aplicações que servem de motivação aos alunos. Este tópico da Física Moderna nos permite fazer uma atividade demonstrativa do fenômeno da levitação magnética, além de propiciar várias analogias para que se possam abstrair os conceitos fundamentais da supercondutividade a partir de fatos vivenciados no dia-a-dia. Envolvermos de maneira bem articulada vários assuntos já estudados em Física nos anos anteriores (por exemplo, Termodinâmica e Eletromagnetismo) bem como conceitos não abordados nesse nível de ensino (por exemplo, conceitos básicos de Mecânica Quântica e noções de Física do Estado Sólido). Dessa maneira, a partir de princípios físicos já trabalhados apresentamos os conceitos mais avançados, apenas de forma qualitativa e conceitual para que seja propiciada uma compreensão do fenômeno da supercondutividade, que promete revolucionar ainda mais o meio científico.

Tivemos a preocupação de elaborar o material didático “mantendo-o informado e atualizado” a respeito dos fundamentos da epistemologia contemporânea, em particular, para que seja difundida a idéia de que o método científico não se sustenta do jeito que está apresentado em muitos livros e que toda observação de um fenômeno está indissociada de pressupostos teóricos.

### 11. Referências

BASSO, A. C. **O átomo de Bohr no Nível Médio**: uma análise sob o referencial lakatosiano. Florianópolis, 2004.

CARMONA, H. Levitação Magnética. **Física na Escola**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 18-20, out. 2000.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **Física**: volume único. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. (Base).

GASPAR, A. **Física**: eletromagnetismo, física moderna. São Paulo: Editora Ática, 2000.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física 3**: eletromagnetismo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2005. 3v.

OLINTO, A. **Minidicionário Antonio Olinto da Língua Portuguesa**. 2.ed. rev. ampl. São Paulo: Moderna, 2001.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. Preparing Teachers to Discuss Superconductivity at High School Level: a Didactical Approach. **Physics Education**, Bristol, v. 41, n. 1, p. 34-41, Jan. 2006.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. **Supercondutividade**: uma proposta de inserção no ensino médio. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1998.

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

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

COMO Funciona o Maglev. **Zero Hora**, Porto Alegre, 20 mar. 2006. Global Tech, n. 18, p. 6.

## APÊNDICE 03 - Roteiro da aula experimental

## COLÉGIO FREDERICO JORGE LOGEMANN

Prof. Carla Beatriz Spohr

**ROTEIRO DE ATIVIDADE PRÁTICA: INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA<sup>8</sup>****1. Objetivos gerais:**

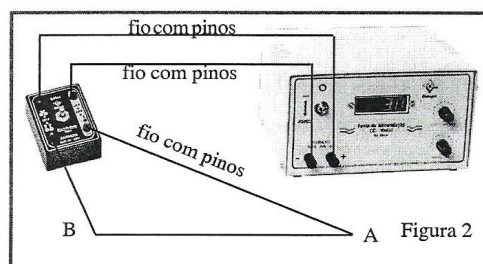
Através de observações dos diversos experimentos realizados, concluir que a variação do campo magnético induz uma corrente elétrica num condutor, bem como a corrente elétrica de um condutor pode gerar um campo magnético.

**2. Material necessário:**

- 01 bússola;
- 04 conexões de fios com pinos banana;
- 01 multímetro digital;
- 01 ímã em barra;
- 01 fonte de alimentação CC regulável;

**3. Montagem:**

Execute a montagem conforme a figura 2;

**4. Atividades:**

## ATIVIDADE 01:

a) Aproxime a agulha magnética (ímã) o pólo norte do ímã, num plano horizontal e abaixo ao da agulha.

Inverta o pólo do ímã.

Observe e anote o que ocorre quando os pólos de dois ímãs (agulha magnética e bússola) são aproximados:

---



---



---

b) Com a chave auxiliar desligada (liga/desliga), ligue a fonte de alimentação e ajuste a tensão para 3V. (Seja breve nas atividades curto-circuitadas, pois embora esta fonte possua segurança eletrônica contra curto-circuito, isto reduz a vida média dos componentes eletrônicos que a compõem).

<sup>8</sup> Roteiro adaptado de Cidepe, com autorização para utilização do roteiro e das figuras.

- Segure o fio condutor (figura 2) em dois pontos (A e B), aproximando-o por cima da bússola (paralelo a ela).

c) Ligue a chave auxiliar (mantenha a polaridade no circuito) e comente o observado:

---

---

---

De acordo com suas observações, quando uma corrente elétrica circula no condutor, o que faz movimentar o ímã da bússola?

---

---

---

d) Faça a inversão do sentido da corrente elétrica no circuito e refaça as atividades anteriores, agora deixando o fio condutor nos trechos A e B por baixo da bússola. O que você observou?

---

---

---

e) Escreva o que você concluiu a partir das atividades realizadas (relacione o sentido do campo magnético em função do sentido da corrente elétrica que circula pelo condutor):

---

---

---

---

f) Enrole o fio no trecho AB (semelhante a uma mangueira) de modo que o fio passe duas vezes pelo trecho. Isto fará circular duas vezes mais corrente elétrica na proximidade do ímã. Ligue a chave auxiliar. Observe se a intensidade do campo magnético depende ou não do número de **espiras** do fio condutor

---

---

---

CONCLUSÃO:

---

---

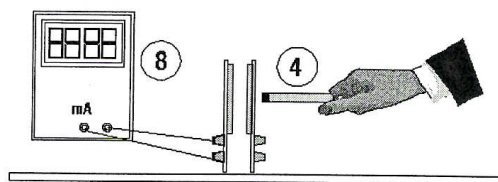
---

Através das atividades realizadas, fica evidente que ao circular uma corrente elétrica em um fio condutor, surge ao seu redor um campo magnético cujo sentido depende do sentido da corrente elétrica que está circulando.

Vamos verificar se o caminho inverso é possível, ou seja, é possível induzir uma corrente elétrica num condutor a partir de um campo magnético?

ATIVIDADE 2:

a) Conecte o conjunto de espiras (bobina) ao multímetro digital com escala em 100 ou 200 mA (CC), conforme a figura 4 abaixo.



Aproxime o pólo norte do ímã do interior da bobina e torne a retirá-lo.

O que você pode concluir a partir de suas observações?

---



---



---

b) Aproxime da bobina o pólo norte do ímã. Pare com ele próximo da mesma e torne a afastar. Repita esta operação com maior rapidez e compare os dois casos.

---



---



---

c) Como se relaciona a rapidez da variação do campo magnético com a intensidade de corrente elétrica induzida que circula pelo condutor?

---

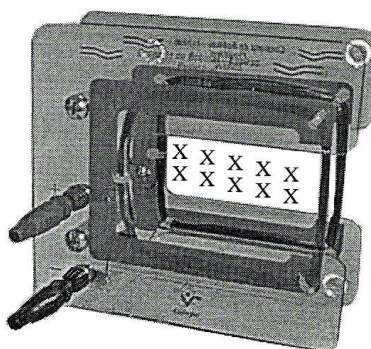


---



---

d) A figura 5 simboliza as espiras da bobina vistas de frente. Lembre-se que o símbolo X indica o sentido do vetor campo magnético B, devido a aproximação do pólo norte do ímã.



O que ocorre com o campo magnético induzido que penetra no interior da bobina quando o pólo norte magnético se aproxima dela?

---



---



---



O que ocorre com o campo magnético induzido que penetra no interior da bobina quando o ímã é afastado?

---

---

---

CONCLUSÃO:

---

---

---

---

---