



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

LEVITANDO COM A FÍSICA

Anderson da Silva Cunha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:
Deise Miranda Vianna
Marcos Binderly Gaspar

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

LEVITANDO COM A FÍSICA

Anderson da Silva Cunha

Orientadores:
Deise Miranda Vianna
Marcos Binderly Gaspar

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Deise Miranda Vianna (Presidente) –
IF/UFRJ

Me. Marcos Binderly Gaspar – IF/UFRJ

Dr. Isa Costa – IF/UFF

Dr. Mohammed El Massalami – IF/UFRJ

Dr. Germano Maioli Penello – IF/UFRJ

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

C972I Cunha, Anderson da Silva
Levitando com a Física / Anderson da Silva Cunha - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2018.
xi, 170 f.: il.;30cm.
Orientador: Deise Miranda Vianna
Coorientador: Marcos Binderly Gaspar
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: f. 103-106.
1. Ensino de Física. 2. CTS. 3. Efeito Meissner. 4. Atividades Investigativas.
I. Vianna, Deise Miranda. II. Gaspar, Marcos Binderly. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Levitando com a Física.

Dedico a toda minha família que em nenhum momento deixou de acreditar no meu potencial. Em especial, meu Pai, que sempre será meu Herói.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a todos os professores do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em especial, ao grupo que compõe o programa do Mestrado Profissional em Ensino de Física que, de diversas maneiras, estiveram presentes nos momentos de dúvidas e de complicações durante o meu período de estudo e pesquisa.

À Professora Deise Miranda Vianna e ao Professor Marcos Binderly Gaspar, que aceitaram o meu pedido de orientação e não pouparam esforços em se dedicar à minha formação acadêmica.

A equipe do LADIF (Laboratório Didático do Instituto de Física) e do LBT (Laboratório de Baixas Temperaturas do Instituto de Física) da UFRJ por todo auxílio dado durante a confecção do produto desta dissertação.

Ao Colégio Estadual General Osório que permitiu a execução da atividade em seu ambiente.

Aos meus grandes amigos que obtive no meu período de graduação, em especial: Marcio Ferreira (Braço), Jean Coelho, Lucas Campos, Davidson Vieira (Pato), Filipe Pereira (Gira), Samuel Ximenes, Saullo Cardoso, Rojans Coqueiro. Sempre serei grato por tudo que já fizeram.

À minha querida e amada Mãe, Marli da Silva, que sempre me deu apoio e incentivo para lutar pelos meus sonhos. Sempre estive ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Nunca deixarei de lhe amar.

À minha Linda Esposa Júlia Marques, que esteve ao meu lado em todas as dificuldades que encontrei pelo caminho. Eternamente serei grato por todo apoio e sacrifício que fez para que eu chegasse até aqui. Sempre lhe amarei.

Ao meu querido e amado Pai, Alvayr da Cunha, que mesmo com a sua saúde debilitada, sempre acreditou em meu potencial. Gostaria que estivesse aqui para ver o seu filho formado. Você sempre será meu Grande Herói.

“Os objetos da Ciência não são fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza.”

Rosalind Drive

RESUMO

LEVITANDO COM A FÍSICA

Anderson da Silva Cunha

Orientadores:

Deise Miranda Vianna

Marcos Binderly Gaspar

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho aborda o estudo do trem que se locomove com tecnologia supercondutora (MAGLEV - Magnetic levitation transport), levando à compreensão de seu funcionamento, juntamente com as consequências que esta tecnologia proporciona à sociedade e ao meio ambiente. O fenômeno da supercondutividade é um conhecimento de difícil acesso para o aluno do ensino médio, pois para obter o entendimento quantitativo deste fenômeno é necessário o estudo da Mecânica Quântica. Contudo, o fenômeno macroscópico supercondutivo (que é a causa da levitação do trem) chamado de Efeito Meissner, foi entendido qualitativamente a partir das seguintes leis do eletromagnetismo: Lei de Faraday, Lei de Lenz e Lei de Ampère. Foi elaborado um conjunto de Atividades Investigativas com enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), para entender as leis citadas. Foram criados materiais didáticos: textos, vídeos, experimentos de baixo custo, assim como realizados debates em grupos. As etapas de desenvolvimento do trabalho em sala de aula de Ensino Médio foram gravadas e transcritas e se pode observar através dos indicadores de alfabetização científica que os alunos participaram do processo de construção de conhecimento.

Palavras-chave: Ensino de Física, CTS, Efeito Meissner, Atividades Investigativas.

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

ABSTRACT

LEVITING WITH PHYSICS

Anderson da Silva Cunha

Supervisors:

Deise Miranda Vianna

Marcos Binderly Gaspar

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work deals with the study of the train that moves with magnetic levitation transport (MAGLEV), leading to the understanding of its operation, along with the consequences that this technology provides to society and the environment. The phenomenon of superconductivity is a knowledge of difficult access for the high school student, because to obtain the quantitative understanding of this phenomenon it requires the study of quantum mechanics. However, the superconductive macroscopic phenomenon (which is the cause of the levitation of the train) called the Meissner Effect was qualitatively understood from the following laws of electromagnetism: Faraday's Law, Lenz's Law, and Ampère's Law. A set of research activities with a CTS (Science-Technology-Society) approach was developed to understand the cited laws. Didactic materials were created: texts, videos, experiments of low cost, as well as realized group discussions. The stages of development of the work in the classroom of High School were recorded and transcribed and can be observed through the indicators of scientific literacy that the students participated in the process of knowledge construction.

Keywords: Physics education, CTS, Meissner Effect, Investigative Activities.

Rio de Janeiro
January and 2018

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução e Justificativa	1
Capítulo 2: Referencial Teórico	5
2.1 Porque o enfoque CTS	5
2.2 O enfoque CTS.....	7
2.3 Interação Ciência-Tecnologia-Sociedade	9
2.4 A prática experimental e as Atividades Investigativas	11
2.5 Desenvolvendo as Atividades Investigativas	16
2.6 As Atividades Investigativas e a Alfabetização Científica	19
2.7 Argumentação e os indicadores de alfabetização científica	23
Capítulo 3: A Supercondutividade	26
3.1 A supercondutividade inserida na Educação Básica	26
3.2 Supercondutividade: o que falam os livros do Ensino Médio?	29
3.3 Breve evolução histórica da supercondutividade	29
3.3.1 A descoberta do fenômeno da supercondutividade	30
3.3.2 Evolução das teorias sobre a supercondutividade	32
3.3.3 As descobertas de novos materiais supercondutores	34
3.4 A Física presente nos supercondutores.....	37
3.4.1 Temperatura crítica e campo magnético crítico	37
3.4.2 Corrente elétrica durável e a Equação de London	39
3.4.3 Tipos de supercondutores	42
3.4.4 Vórtices em supercondutores do Tipo 2.....	44
3.4.5 Supercondutores granulares (Tipo 2).....	45
3.4.6 A Teoria BCS – Aspectos qualitativos.....	47
3.4.7 Outras considerações sobre supercondutividade	49
Capítulo 4: Desenvolvimento da atividade	51
4.1 Local de aplicação	51
4.2 As atividades em ação.....	52
4.2.1 Primeira etapa – A contextualização da tecnologia na sociedade e no meio ambiente.....	54
4.2.2 Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV.....	56
4.2.3 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV	57
Capítulo 5: Análises dos resultados das Atividades Investigativas	69

5.1	Análise da Primeira Etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV.....	70
5.2	Análise da Segunda Etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV	75
5.3	Análise da Terceira Etapa – A Física envolvida no MAGLEV.....	77
5.3.1	Bloco I – Lei de Ampère	77
5.3.2	Bloco II – Lei de Faraday e Lei de Lenz	84
5.3.3	Bloco III – Efeito Meissner.....	90
Capítulo 6: Considerações Finais.....		99
Capítulo 7: Referências bibliográficas		103
Apêndice A: Investigando o MAGLEV		107
A.1	Breve panorama do problema da poluição do ar	107
A.2	Introdução à sequência de Atividades Investigativas	110
A.3	Primeira etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV ...	111
A.4	Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV	113
A.5	Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV	114
A.5.1	Atividade 1 - Campo magnético produzido por um fio condutor	114
A.5.2	Atividade 2 – Corrente elétrica induzida	124
A.5.3	Atividade 3 – Como o trem levita?	130
A.6	Referências bibliográficas	142
Apêndice B: Contextualização e levitação do MAGLEV		144
B.1	Primeira etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV ...	145
B.2	Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV	151
B.3	Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV	152
Anexo: Autorização.....		159

Capítulo 1

Introdução e Justificativa

Nos dias atuais, o cidadão moderno sofre constantes metamorfoses em termos de modo de viver e conviver em sociedade. Isso se torna nítido quando falamos de acesso à informação e à comunicação, há algumas décadas atrás, pois não existiam tais acessibilidades. Como os nossos estudantes nasceram juntos com os avanços tecnológicos, eles convivem e trabalham com tais facilidades de maneira tão natural que se torna difícil pensar em um mundo onde elas não existem. Contudo, conviver com as tecnologias ao nosso redor não significa que podemos compreender seu funcionamento e seus impactos nos meios social e ambiental.

Há necessidade hoje de realizarmos um ensino que tanto leve o aluno à compreensão da ciência imersa na tecnologia cotidianamente utilizada, quanto das mudanças que elas podem causar no modo de viver das pessoas e na natureza (mudanças no clima, por exemplo).

Uma das linhas tecnológicas que mais avançam com os anos é em relação aos meios de transporte. A cada ano novos modelos de veículos automotores são lançados no meio social oferecendo diversas inovações (no projeto do interior e exterior do veículo, conforto, mobilidade, combustível etc.), porém raramente ocorrem discussões com os alunos em sala de aula sobre as diversas questões pertinentes a essas inovações. Frequentemente assuntos que tratam desses avanços tecnológicos são ignorados, fazendo do aluno atual um futuro consumidor 'cego' (em termos de visão crítica sobre a sua forma de fabricação, se polui o meio ambiente ou se é produto de contrabando) desses fascinantes produtos.

Que cidadão está sendo formado nas aulas de Física? Se o ensino de Física não está formando aprendizes com visão crítica sobre as inovações tecnológicas da sociedade, para que servem os conteúdos ensinados? As Orientações Educacionais Complementares dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2006) fala sobre esta questão:

E quem se pretende formar com o ensino da Física? Partimos da premissa de que no ensino médio não se pretende formar físicos. O ensino dessa disciplina destina-se principalmente àqueles que não serão físicos e terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento. Há de se reconhecer, então, dois aspectos do ensino da Física na escola: a Física como cultura e como possibilidade de compreensão do mundo. (p. 53)

Se desejarmos formar um aprendiz que reconheça a Física como cultura indispensável para a sua vida e que ela seja essencial para a compreensão do mundo e, conseqüentemente, das tecnologias que nele surgem, precisamos pensar melhor sobre a Física, tanto o que está sendo ensinado nas salas de aula e na metodologia empregada pelos professores.

É neste ponto que se concentra o objetivo central deste trabalho: apresentar uma Física vinculada a uma tecnologia que possui efeitos na sociedade e no meio ambiente e discutir as conseqüências que esses efeitos causam. Para isso, nasce a necessidade de empregar uma didática diferenciada da tradicional, o aluno deixando de ser um mero espectador do ensino e o professor, o transmissor de todo o conhecimento.

Esta dissertação é dedicada ao estudo do **Trem Supercondutor**, levando em consideração somente a causa de sua levitação juntamente com as conseqüências que esta tecnologia proporciona à sociedade e à natureza. Para compreender o fenômeno da levitação supercondutora (conhecida como Efeito Meissner), faz-se necessário estudar as seguintes leis do eletromagnetismo: a Lei de Ampère, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz.

Como metodologia de ensino empregada, foi elaborada uma sequência de Atividades Investigativas com o enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade). Os alunos foram convidados a contextualizar e problematizar o trem supercondutor para depois poder começar a busca da compreensão dos conceitos físicos presentes na tecnologia.

Vale ressaltar que o assunto aqui proposto está de acordo com as divisões de temas sugeridos pelas Orientações Educacionais Complementares dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2006). No caso, a subdivisão que contempla o nosso objetivo é o Tema 4:

Tema 4: Equipamentos elétricos e telecomunicações (unidades temáticas: aparelhos elétricos, motores elétricos, geradores, emissores e receptores). (BRASIL, 2006, p. 57)

Não somente o tema está de acordo com os documentos oficiais, mas a escolha da metodologia empregada está explícita no documento, justificando assim todo o trabalho produzido nesta dissertação.

Esse enfoque possibilita a discussão da relação entre os polos que a sigla¹ designa e a relevância de aspectos tecnocientíficos em acontecimentos sociais significativos. Envolve ainda reflexões no campo econômico e sua articulação com o desenvolvimento tecnológico e científico. É uma perspectiva baseada em argumentos para a promoção da alfabetização científica entre a população em geral. Nesse enfoque existem várias estratégias de ensino possíveis, como palestras, pesquisa de campo, etc. (BRASIL, 2006, p. 62-63)

Esta dissertação foi estruturada em sete capítulos (contando com essa introdução) com objetivos bem específicos.

Nesse capítulo apresentamos o objetivo dessa dissertação e a justificativa do tema escolhido. O segundo capítulo é destinado ao referencial teórico utilizado na formulação das atividades feitas com os alunos. No caso, a metodologia aplicada foi uma sequência de Atividades Investigativas com enfoque CTS. Além de explicar o que é o enfoque CTS, o capítulo trabalha as características mais importantes que uma Atividade Investigativa possui, mostrando assim as consequências que tal prática alcança no processo de ensino-aprendizado.

Os conceitos de Física envolvidos na levitação do trem supercondutor juntamente com o seu relato histórico estão trabalhados no capítulo três. Porém para a compreensão completa do Efeito Meissner, é necessário o entendimento da Mecânica Quântica, que não é o foco principal desta dissertação. Assim, foram abordadas somente de maneira qualitativa as características mais relevantes do fenômeno. Contudo realizamos uma pesquisa bibliográfica para orientar o leitor, caso queira se aprofundar na matemática envolvida.

¹ CTS. Tal enfoque será explicado mais a frente.

O capítulo quatro revela como a atividade foi aplicada e norteia todos os pontos importantes da aplicação. Ressaltando aqui que a atividade foi feita na instituição em que lecionamos. A avaliação dos resultados é apresentada no capítulo posterior (cinco), onde analisamos como um grupo de alunos evoluiu ao longo das aplicações das atividades, através das suas respostas a um determinado questionário, juntamente com a análise de suas falas gravadas e transcritas.

A descrição completa dos experimentos, juntamente com os procedimentos que o professor deve ter para poder efetuar a sua aplicação de maneira adequada, está no Material do Professor (Apêndice A). Já o material que o aluno recebe no dia de cada aplicação da atividade está no Apêndice B.

Por fim, no capítulo seis, apresentamos as considerações finais e no capítulo sete, a bibliografia consultada.

Capítulo 2

Referencial Teórico

2.1 Porque o enfoque CTS

Em 12 de março de 2017, um dos nomes mais reconhecidos em tecnologia e filosofia da ciência, Bruno Latour, dá uma entrevista bastante intrigante, do ponto de vista social e tecnológico, para o jornalista (dentre outros títulos) Juremir Machado da Silva. Nela, o entrevistador pergunta se as ciências humanas produzem resultados indiscutíveis. Latour responde da seguinte maneira:

O objetivo da ciência não é produzir verdades indiscutíveis, mas discutíveis. Nem as ciências naturais e exatas produzem verdades indiscutíveis. As ciências sociais realizam perfeitamente o trabalho de gerar verdades que possam ser discutidas. Elas são como as demais ciências e em certos aspectos até mais exigentes. A antropologia é muito mais exigente que muitos ramos da psicologia, da economia e da geografia. O objetivo é produzir discussões públicas normatizadas.

Fonte:

<http://www.correiodopovo.com.br/blogs/juremirmachado/2017/03/9647/entrevistabruno-latour-o-objetivo-da-ciencia-nao-e-produzir-verdades-indiscutíveis-mas-discutíveis/> (Acessado em 01/04/2017)

Note a importância que o entrevistado dá ao observar a validade dos resultados obtidos tanto pelas ciências humanas como as tecnológicas, ressaltando que a discussão de hipóteses e ideias sobre determinados assuntos é imprescindível para a aquisição e compreensão de um conhecimento específico, fazendo assim, parte indissociável na produção do conhecimento científico-tecnológico e social. No entanto, raramente vemos essas discussões nas aulas de ciências, mais especificadamente, nas aulas de Física.

Como consequência, indagações feitas pelos alunos como: “por que eu devo aprender Física se não vou usar para nada na minha vida?”, ou “qual a

utilidade da Física”, ou ainda, “só estudo porque cai no vestibular” vêm se tornando mais frequentes nas salas de aula no ensino regular. O problema é que os alunos não veem fundamento prático nem utilidade naquilo que está sendo lecionado e, conseqüentemente, não lhes são despertadas a curiosidade e a vontade de querer testemunhar as propriedades e os questionamentos pertinentes que compõem a Física ou as Ciências em geral. Uma das causas que semeia tal desinteresse é a maneira pela qual está sendo apresentada aos alunos: uma Física acabada que não pode ser questionada; uma Física que não possui ligação alguma com a prática científica atual nem com as tecnologias presentes no cotidiano dos aprendizes; uma Física que não tem história nem contradições; uma Física que é apresentada com uma metodologia que focaliza em problemas de aplicação com uma tendência ao operativismo (AZEVEDO, 2004, p. 19) (ou seja, exercícios repetitivos); uma abordagem meramente livresca.

Tal metodologia anacrônica e ainda hegemônica (MARTINS (Org.), 2009, p. 29) não forma estudantes reflexivos nem críticos para viverem em sociedade. Muito pelo contrário, forma indivíduos analfabetos cientificamente que possuem (quando possuem!) somente uma habilidade: resolver exercícios matematizados. Nesta linha de pensamento, o Ministério da Educação emitiu um documento de Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006), onde é enfatizada a necessidade de evitar conteúdos específicos fragmentados, como exercícios matematizados, já que isso só produzirá aprendizes impossibilitados de perceber os impactos que a ciência e a tecnologia causam no meio social e ambiental, tornando-os incapazes de questionar e refletir sobre o que está sendo criado e discutido na sociedade. Com essa preocupação, PINHEIRO (2007) faz a seguinte afirmação:

Urge pensar em novas formas de trabalho, de metodologia, de enfoque e de posturas. É preciso estimular o aluno a desenvolver a adaptabilidade e flexibilidade, formando-o como pessoa que tome decisões, avalie o papel das decisões humanas na determinação da sobrevivência e da vida na sociedade futura. É, pois, imprescindível desenvolver nos alunos a capacidade de diferenciar o que é conhecimento do que é informação, verificando o que há de mais relevante para poder resolver criticamente um problema específico no campo sócio-tecnológico. (p. 79)

Para tanto, a metodologia de ensino deve adquirir outras dimensões, que apresente uma Física contextualizada com o cotidiano dos aprendizes; uma Física que não seja baseada em leis e fórmulas desvinculadas das tecnologias atuais; uma Física que os levem a questionar as interferências que certas tecnologias possuem no meio social e ambiental; uma Física cujo propósito seja compreendido durante o processo de ensino e não posterior à aprendizagem; uma Física que contribua para a formação de um cidadão crítico, reflexivo e questionador das atividades e construções humanas ao seu redor.

É nesse contexto que o enfoque em Educação CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) se torna adequado como estratégia de ensino-aprendizagem.

2.2 O enfoque CTS

Com o propósito de definir qual seria o objetivo central de uma educação com enfoque CTS, tomo posse da definição dada por Santos e Mortimer (2002) onde é realizada uma combinação de ideias de vários autores para confeccioná-la:

O objetivo central da educação de CTS no ensino médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões. (p. 114)

Note que os autores deixam bem claro que o aprendiz será alfabetizado cientificamente e que com isso, irá adquirir habilidades e valores. Essas habilidades e valores, a que Santos e Mortimer (2002) se referem, são mudanças de atitude frente à situação que, de início, poderiam ser tomadas de maneira individual sem se dar importância a qual o efeito que pode ter para o meio ambiente, por exemplo.

Hoje, quando uma pessoa sai para adquirir um determinado produto, as qualidades mais relevantes são a aparência e o preço (que muitas vezes

remete à qualidade), sem se importar na confecção do produto (se foi usado trabalho infantil ou mão de obra escrava); sem se preocupar se o produto possui alguma substância que (a longo ou curto prazo) pode ser danoso à saúde ou ao meio ambiente; se o material tem caráter renovável ou não; se ele é objeto de atividades ilícitas como contrabando etc. De fato, não é possível obter todas essas informações antes de adquirir um certo produto, mas ter uma educação em ciência que leve o aprendiz a refletir e se importar sobre esses fatores, formará uma sociedade mais crítica e mais participativa, por exemplo, na criação de políticas públicas.

Nem toda proposta de ensino que possui o objetivo de formar o aluno em um cidadão com pensamento crítico está, necessariamente, centrada nas relações Ciência-Tecnologia-Sociedade. Então Aikenhead (1994) fez uma divisão de oito categorias de currículo que apresentam o nível de aplicação CTS no ensino. A Categoria 1 representa o 0% de considerações em CTS e a Categoria 8 representa o 100% de avaliação CTS (Tabela 2.1).

Categoria	Descrição
1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Estudo tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrado aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de	Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e suas consequências, mas a seleção de conteúdo científico ainda é feita a partir

conteúdo de CTS.	de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.
5. Ciências por meio do conteúdo CTS.	CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
6. Ciência com conteúdo CTS.	O conteúdo CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciência enriquece a aprendizagem.
7. Incorporação das ciências ao conteúdo CTS.	O conteúdo CTS é foco do currículo. O conteúdo relevante de ciência é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.
8. Conteúdo CTS.	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciência é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.

Tabela 2.1. Aspectos da abordagem de CTS.

(Fonte: AIKENHEAD, 1994, p.55-56 apud SANTOS e MORTIMER, 2002, p. 16.

(Modificado))

A Categoria 1 representa o ensino hegemônico atual: no fim da abordagem do conteúdo, mostra-se (sem qualquer discussão e reflexão) um exemplo de aplicação. Enquanto a Categoria 8 representaria a atividade mais audaciosa da aplicação de um ensino focado em CTS.

Note que da Categoria 1 até a Categoria 4 há uma maior atenção ao ensino conceitual de ciências, mudando (da Categoria 5 até a 8) para uma maior ênfase para a compreensão dos aspectos CTS.

2.3 Interação Ciência-Tecnologia-Sociedade

Nos dias atuais, a tecnologia está mais que inserida no meio social e, muitas das vezes, dita as regras de como devemos viver em sociedade. No entanto, poucos são aqueles que possuem compreensão sobre as interferências e implicações que ela causa no nosso dia a dia. A interação CTS possui uma perspectiva de se auto relacionar, como, por exemplo, a tecnologia gera consequências no meio social que estão intimamente ligadas a construção da ciência, ou quando a sociedade, por questões de necessidade, dita as tendências da pesquisa científica. Para explicitar essas relações, Santos e Mortimer (2002) apresentam as interações ciência-tecnologia-sociedade como mostrado na Tabela 2.2:

Aspectos de CTS	Esclarecimentos
1. Efeito da Ciência sobre a tecnologia	A produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas.
2. Efeito da Tecnologia sobre a Sociedade	A tecnologia disponível a um grupo humano influencia sobremaneira o estilo de vida desse grupo.
3. Efeito da Sociedade sobre a Ciência	Por meio de investimentos e outras pressões, a sociedade influencia a direção da pesquisa científica.
4. Efeito da Ciência sobre a Sociedade	O desenvolvimento de teorias científicas podem influenciar a maneira como as pessoas pensam sobre si próprias e sobre problemas e soluções.
5. Efeito da Sociedade sobre a Tecnologia	Pressões públicas e privadas podem influenciar a direção em que os problemas são resolvidos e, em consequência, promover mudanças tecnológicas.
6. Efeito da Tecnologia sobre a Ciência	A disponibilidade dos recursos tecnológicos limitará ou ampliará os progressos científicos.

Tabela 2.2. Categorias de ensino de CTS.

(Fonte: McKAVANAGH e MAHER, 1982, p.72 apud SANTOS e MORTIMER, 2002, p. 12.)

Essas relações são muito frágeis e devem ser trabalhadas com cuidado em sala de aula, pois o aluno quando submetido a uma atividade com enfoque CTS, deve entender da maneira correta a relação da ciência que está sendo ensinada com suas aplicações e influências que possui na sociedade e vice-versa. Finalizo essa discussão com uma advertência que Santos e Mortimer (2002) expõem em seu trabalho:

Um estudo das aplicações da ciência e tecnologia, sem explorar as suas dimensões sociais, podem propiciar uma falsa ilusão de que o aluno compreende o que é ciência e tecnologia. Esse tipo de abordagem pode gerar uma visão deturpada sobre a natureza desses conhecimentos, como se estivessem inteiramente a serviço do bem da humanidade, escondendo e defendendo, mesmo que sem intenção, os interesses econômicos daqueles que desejam manter o status quo. (p. 121)

2.4 A prática experimental e as Atividades Investigativas

O Ensino de Física atual é voltado para o acúmulo de conteúdo e informações que, basicamente, oferecem um maior desenvolvimento do pensamento operativista (fórmulas, tabelas e gráficos), carecendo de contextualização. Esse ensino por transmissão ofusca a visão dos aprendizes a respeito do verdadeiro objetivo da ciência e da metodologia da prática científica. Reforçando mais uma vez a necessidade da inserção do enfoque CTS no ensino regular. Contudo, urge o questionamento: “Qual a estratégia que pode ser adotada para atingir um ensino voltado para as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade?”.

Como tentativa de resposta, há mais de um século, é dada considerável atenção às atividades experimentais com o propósito de aperfeiçoar a aprendizagem no Ensino de Ciências. No entanto, muitos professores não utilizam suas aulas para o emprego desta prática, pois carecem de tempo (meio ao imenso currículo que é preciso ser cumprido) e de logística (a ausência de um profissional habilitado para organizar o ambiente da atividade experimental no início e no fim da atividade, o laboratorista). Porém, existem

aqueles que mesmo sabendo de todas essas dificuldades, se aventuram em realizar aulas nesta dinâmica. Tradicionalmente, as práticas experimentais são baseadas em roteiros preparados com o propósito de provar algo já mencionado pelo professor (em aulas anteriores) ou de validar alguma equação já conhecida. É basicamente uma receita de bolo, onde os alunos cozinham os dados obtidos do experimento para chegar a uma conclusão pré-determinada.

Esse tipo de abordagem continua a aprimorar o raciocínio operativista visto nas aulas ditas teóricas, pois os alunos não possuem liberdade intelectual para compreender aquilo que eles estão observando (indo além, muitos alunos nem sabem o significado dos números obtidos na visualização do experimento!). As atividades experimentais tradicionais são basicamente constituídas de um roteiro composto de (I) uma breve teoria da Física que será analisada (frequentemente já estudada em aulas anteriores); (II) uma descrição do material utilizado no experimento; (III) os passos que devem ser seguidos para a visualização do fenômeno e (IV) a conclusão do experimento (comprovando uma teoria ou uma fórmula já enunciada anteriormente). O aluno não é convidado a formular hipóteses sobre o que está sendo observado nem criar uma estratégia de ação com o intuito de testar uma teoria que explique o fenômeno em questão. Até a conclusão é dada pelo roteiro, onde se o aprendiz (ou o grupo de alunos) não alcançar tal objetivo, significa que houve alguma falha nos procedimentos, pois o resultado final “sempre” deve ser o mesmo para todos os grupos.

Essa prática experimental não vai de encontro com um ensino que visa formar um cidadão crítico e reflexivo na sociedade e nem visa um ensino com enfoque na compreensão da real metodologia da prática científica. Essas aulas são ditas fechadas e carecem de pró-atividades por parte dos alunos e da auto-reflexão sobre seus próprios atos. Talvez o único benefício que esse método oferece é o saber trabalhar em grupo, pois normalmente os alunos são convidados a dividirem as tarefas que requer o experimento.

BORGES (2002) aponta e faz críticas aos objetivos normalmente encontrados nas práticas experimentais tradicionais e, desejo aqui, fazer algumas observações sobre elas. O primeiro objetivo, e talvez o mais enganoso, é o de “Verificar/comprovar leis e teorias científicas”, pois o preparo

da atividade experimental já garante tal meta. Atividades que têm esse tipo de objetivo normalmente possuem roteiros que levam os alunos a procurarem a qualquer custo uma resposta para tal comprovação, negligenciando o significado real dos dados obtidos ao longo da atividade. Se a resposta final não comprovar a lei ou a teoria em questão, a atividade deve ser refeita até alcançar a sua verificação pré-determinada.

O segundo objetivo encontrado em seu artigo é o de “Ensinar o método científico”. Aqui, o foco central é interessante do ponto de vista do que é fazer ciência, mas o modelo tradicional não proporciona com fidelidade os caminhos para alcançar tal meta. Muitas das vezes, a imagem que é passada do método científico para os alunos é que os cientistas com suas mentes brilhantes formulam equações sobre um conceito físico totalmente abstrato e desvinculado da realidade, e precisam realizar experimentos com o intuito de verificar se aquilo que eles criaram no pensamento de fato acontece na vida real. Essa lamentável imagem sobre o método científico é até hoje a imagem que predomina na mente da maioria dos jovens aprendizes.

O terceiro objetivo foi citado no início da nossa discussão: “Facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos”. Como já visto em tela, o ensino tradicional não leva necessariamente à compreensão dos conceitos físicos presentes na atividade experimental. Para ressaltar o argumento, o próprio BORGES (2002) comenta:

Em um laboratório tradicional, com atividades realizadas sob a orientação do professor e seguindo os roteiros definidos, pode-se acreditar que tal objetivo possa ser conseguido. Mas não se pode tomar como certo que todos os membros de um grupo vêem o mesmo fenômeno, todos o interpretem da mesma forma ou aceitem a validade e legitimidade das observações (GUNSTONE, 1991). O fato de um estudante realizar uma atividade adequadamente planejada não garante que ele aprenda aquilo que era pretendido. (p. 301)

Por fim, o último objetivo citado no trabalho é “Ensinar habilidades práticas” aos aprendizes. As habilidades práticas possuem duas vertentes, uma delas é a cognitiva, como aprender a fazer observações, formular hipóteses que expliquem o fenômeno observado, classificar as observações, prever situações, dentre outras. Essas habilidades abrem caminho para externar o

que aprenderam na sala de aula, conseguindo reaplicá-las nas situações cotidianas. A outra habilidade é a do aprendizado das técnicas básicas de laboratório, como o manuseio de equipamentos de medição (multímetro, paquímetro, sensores etc.) que o estudante provavelmente não irá aprender fora de um ambiente de laboratório.

A maneira clássica de trabalhar em um ambiente de laboratório de ciência não é a única que existe. Há as chamadas Práticas Investigativas (ou Atividades Investigativas) que oferecem uma abordagem bem distinta do método tradicional e possuem uma metodologia que converge muito bem para os objetivos supracitados (com exceção do primeiro objetivo). Para se considerar uma prática experimental como uma atividade de investigação, cito as palavras de AZEVEDO (2004):

Para que uma atividade possa ser considerada de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica. (p. 21)

Note que AZEVEDO (2004) destaca que para uma atividade ser considerada de investigação, a atividade necessita de pré-requisitos pertinentes da real prática científica. Para levar o aluno a “*refletir, discutir, explicar e relatar*”, um *problema questionador* deve ser proposto a ele e com isso, a atividade consistirá na sua solução e não na comprovação de uma fórmula ou de uma teoria pré-determinada. Apresentando assim, forte desvínculo com o método tradicional.

A realidade dos trabalhos científicos em todo o mundo consiste na resolução de uma questão pertinente na sociedade, então, se o objetivo é levar o aluno a entender o que é fazer ciência, não podemos fazer diferente. Para isso, o termo “*problema questionador*” deve ser bem colocado na atividade, pois é na sua análise e na tentativa de resposta que a prática investigativa ocorre. Para fazer uma análise sobre como se deve proceder uma atividade com enfoque em investigação e como ela se distancia das atividades

tradicionais, CARVALHO (2010) e BORGES (2002) citam alguns autores² que apresentam tais relações:

	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P	P	A	A
Plano de trabalho	P	P	A	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusão	P	A	A	A	A

Tabela 2.3. Graus de liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório.

(Fonte: Carvalho, 2010, p. 55)

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Tabela 2.4. Níveis de investigação no laboratório de ciências.

(Fonte: Borges, 2002, p. 23)

A confecção da Tabela 2.3 se deu na análise daquilo que está sendo apresentado pelos professores de ciências e pelos materiais didáticos, fazendo uma grande pesquisa nos manuais de laboratórios e nas próprias aulas de ciências sobre o grau de liberdade intelectual que era proposto aos alunos (CARVALHO, 2010, p. 55). Já a Tabela 2.4 teve origem na relação entre Problemas Abertos e Fechados (BORGES, 2002, p. 23) (trataremos o significado de Problemas Abertos mais adiante, no entanto, é válido adiantar que é uma espécie de Atividade Investigativa).

Fazendo uma breve reflexão sobre os dados das tabelas, começo ressaltando a atividade de Grau I de liberdade intelectual. É a atividade típica

² Tabela 2.3: PELLA, M. O. The Laboratory and Science Teaching. In: ANDERSEN, H. O. Reading in Science Education for the Secondary School. Londres: The Macmillan Company, 1969. A letra "P" significa *Professor* e a letra "A" significa *Aluno*.

Tabela 2.4: TAMIR, P. Practical work at school: An analysis of current practice. In: WOOLNOUGH, B. (ed.) Practical Science. Milton Keynes: Open University Press, 1991.

‘receita de bolo’, mencionada anteriormente. O professor, ou o roteiro da atividade, fornece praticamente tudo sobre a atividade: o problema, as possíveis causas, as orientações procedimentais e a conclusão. Cabe o aluno somente a coleta de dados, pois até a conclusão é dada pelo material. O Grau I corresponde ao laboratório tradicional a que tenho citado. Além disso, observando a Tabela 2.4, note que o Grau I corresponde ao Nível 0 de investigação, onde tudo é dado aos alunos.

O Grau II de liberdade intelectual (que corresponde ao Nível 1 de investigação) possui uma mudança notável: a conclusão está por parte do aluno! Pode parecer uma pequena mudança, mas ela constitui uma forte alteração na prática experimental, pois caberá aos alunos a análise dos dados para tentar chegar a uma conclusão. Neste nível, o problema questionador deve ser reformulado, pois não caberá mais perguntar “Prove que...”, mas sim “Qual o valor encontrado...”. Já o Nível 2 de investigação (correspondente ao Grau intermediário entre o III e o IV de liberdade intelectual) já se aproxima daquilo que chamamos de prática científica, onde o aluno possui liberdade de tomar decisões sobre os procedimentos da atividade.

O grande sonho dos professores de Física e da comunidade científica é uma educação centrada nas práticas de Graus IV e V (correspondente ao Nível 3 de investigação) onde o aluno possui liberdade para confeccionar hipóteses, testa-las, mudar a estratégia de ação, discutir, argumentar, debater e refletir sobre aquilo que está se obtendo e chegar a um consenso, ou seja, a uma conclusão sobre a atividade. Esse grau de liberdade leva o aluno ao que caracterizamos como jovens cientistas, pois elas proporcionam a real prática científica.

Com isso, concluímos que quanto mais liberdade intelectual (ou aumento do nível de investigação) o aluno possui, mais distante a atividade tradicional fica da prática experimental, constituindo-se em uma atividade que podemos chamar de investigativa.

2.5 Desenvolvendo as Atividades Investigativas

As atividades que possuem o enfoque na investigação não se limitam à prática experimental. Existem outras maneiras que levam o aluno a realizar uma investigação acerca de um fenômeno. Azevedo (2004) disserta sobre elas em seu trabalho e, agora, venho fazer algumas observações sobre essas dinâmicas.

A primeira prática seria a Demonstração Investigativa. Atividades com esse enfoque geralmente são apresentadas aos alunos para ilustrar um fenômeno já estudado anteriormente. Contudo, mesmo que essa logística possua seus pontos fortes e fracos, esse tipo de prática não pode ser chamada de investigativa, pois os alunos não se envolvem em qualquer processo de investigação acerca daquilo que está sendo observado, tornando-os meros espectadores do fenômeno.

Para que uma atividade de demonstração receba a qualidade de investigativa, os alunos devem ser convidados a investigar a causa daquilo que está sendo exposto com o intuito de responder a um problema apresentado pelo professor no início da atividade. Ressalto que nessa dissertação existe um momento em que há a realização de uma prática que começa com uma demonstração e os alunos são convidados a realizar um desafio proposto após a observação do fenômeno. Essa atividade pode ser conjecturada como investigativa, pois os alunos terão que refletir e discutir sobre o problema em questão, e ainda serão convidados a relatar suas ponderações e conclusões em material à parte.

Azevedo (2004) apresenta algumas das contribuições que as atividades de Demonstrações Investigativas podem proporcionar aos alunos:

- percepção de concepções espontâneas por meio da participação do aluno nas diversas etapas da resolução de problemas;
- valorização de um ensino por investigação;
- aproximação de uma Atividade Investigativa;
- maior participação e interação do aluno em sala de aula;
- valorização da interação do aluno com o objeto de estudo;
- valorização da aprendizagem de atitudes e não apenas de conteúdo;
- possibilidade da criação de conflitos cognitivos em sala de aula. (p. 27)

Outra maneira de trabalhar com Atividades Investigativas em sala de aula é com o Laboratório Aberto. No caso, a solução do problema será investigada através de uma experiência. Azevedo (2004) divide essa temática em seis momentos, que são: “Proposta do problema”, “Levantamento de hipóteses”, “Elaboração do plano de trabalho”. “Montagem do arranjo experimental e coleta de dados”, “Análise dos dados” e “Conclusão”.

A proposta do problema é o que vem sendo dada atenção especial desde o início do capítulo. O professor deve propor um problema que seja gerador de discussão e de hipóteses. A resposta desse problema é o objetivo principal dessa discussão.

Com o lançamento do problema pelo professor, os alunos devem levantar hipóteses para solucioná-lo por meio de uma discussão. Em seguida os alunos precisam se organizar para discutir a elaboração do plano de trabalho para testar as hipóteses supracitadas (e outras sugeridas) com o intuito de responder ao problema inicial.

Realizado o plano de trabalho, os alunos realizam a montagem do aparato experimental e começam com a coleta de dados. Aqui, ressalto a importância do ato dos alunos começarem a manusear os materiais, pois é nesse momento que eles testemunharão a Física como uma ciência experimental.

Com os dados obtidos, começa o momento da análise de dados. É nesse momento que os alunos terão a oportunidade de utilizar os artifícios matemáticos para auxiliar na sua conclusão, como a montagem de tabelas e de gráficos. Lembro que esse é um momento delicado para a maioria dos alunos, pois se trata da análise de gráficos e de expressões algébricas, ambiente onde eles encontram as maiores dificuldades. Por fim, a conclusão que deve ser formalizada para responder o problema inicial.

Atividades ditas de Laboratório Aberto estão presentes nesta dissertação assim como as atividades de Demonstrações Investigativas (já mencionada anteriormente). Porém, outra dinâmica que pode ser considerada como uma temática de investigação e que também está presente neste trabalho são as Questões Abertas. Para definir, utilizarei as palavras de Azevedo (2004): *“Chamamos de questões abertas aquelas em que procuramos propor para os*

alunos fatos relacionados ao seu dia-a-dia, e que cuja explicação estivesse ligada ao conceito discutido e construído nas aulas anteriores.” (p. 29)

Questões Abertas possuem uma função especial de estimular a argumentação nos alunos (que leva à criação e discussão de hipóteses) que é característica fundamental do trabalho científico, além do desenvolvimento de sua redação. Além disso, nas Questões Abertas não é necessário que a resposta seja expressa matematicamente, mas sim conceitualmente. Mais adiante (Material do Aluno) será visto que durante a evolução das Atividades Investigativas, o aluno terá de registrar suas hipóteses ao responder a uma série de questões com esse enfoque.

Por fim, ainda existem os chamados Problemas abertos. Basicamente, os Problemas Abertos diferem das Questões Abertas pelo fato de exigirem a matematização dos resultados. No entanto, esse tipo de atividade não se assemelha aos exercícios tradicionais de lápis e papel. O aluno ao ler o Problema Aberto proposto, não só deve formular hipóteses, mas quantiza-las para poder responde-las, dentre outras tarefas.

2.6 As Atividades Investigativas e a Alfabetização Científica

Uma educação com o enfoque CTS e sendo trabalhada por atividades com teor investigativo leva o aluno a uma Física fora da sala de aula, ou seja, contextualizada com os fatores do seu cotidiano. Essa construção de conhecimento leva o aprendiz a ser letrado cientificamente. O termo letramento científico (ou enculturação científica, ou ainda, alfabetização científica (CARVALHO, 2007)) vem sendo estudado por vários pesquisadores da área.

Usando a literatura contemporânea, podem-se identificar 3 pontos que indicam se o aprendiz foi alfabetizado cientificamente. Ele deve possuir:

O entendimento das relações existentes entre ciência e sociedade, a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática e a compreensão básica de termos e conceitos científicos fundamentais. (CARVALHO, 2007, p. 29)

No entanto, existe uma gama de pesquisas com o propósito de refinar a definição de alfabetização científica. Dentre os diversos documentos, vale ressaltar a sugestão feita pela Associação dos Professores de Ciência dos Estados Unidos (NSTA) que aponta sinais para que um indivíduo seja alfabetizado cientificamente:

Utiliza os conceitos científicos e é capaz de integrar valores, e sabe fazer por tomar decisões responsáveis no dia-a-dia.

Compreende que a sociedade exerce um controle sobre as ciências e as tecnologias por meio do viés das subvenções que ela concede.

Conhece os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e é capaz de aplicá-los.

Aprecia as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam.

Compreende que a produção dos saberes científicos depende, ao mesmo tempo, de processos de pesquisas e de conceitos teóricos.

Faz a distinção entre os resultados científicos e a opinião pessoal.

Reconhece a origem da ciência e compreende que o saber científico é provisório, e sujeito a mudanças a depender do acúmulo de resultados.

Compreende as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas nestas utilizações.

Possua suficientes saber e experiência para apreciar o valor da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico.

Extraia da formação científica uma visão de mundo mais rica e interessante.

Conheça as fontes válidas de informação científica e tecnológica e recorra a elas quando diante de situações de tomada de decisões.

(Fonte: in Fourez, 1994, pp.19-29 apud SASSERON e CARVALHO, 2007, p. 4).

Com isso, nota-se a importância da alfabetização científica nos tempos atuais. Os estudantes contemporâneos vivem rodeados de tecnologias, porém existe uma grande dificuldade de visualizar e de compreender determinados

conhecimentos presentes nessas inovações. O propósito não é que o aluno cientificamente alfabetizado deve saber explicar toda a Física que o rodeia, mas deve dominar uma parcela de conhecimento que o leve à reflexão sobre o funcionamento de determinadas modernidades e quais são os impactos sociais e ambientais que causam.

Partindo dessas considerações, é imperativa a aplicação de um ensino de ciência que leve o aluno a refletir, criticar e discutir sobre os fenômenos presentes no seu cotidiano, ou seja, um ensino que "sai" do quadro negro e que está inteiramente relacionado com o meio social de maneira econômica e ecológica. Como já discutido, as Atividades Investigativas com enfoque em CTS se encaixam perfeitamente na função, no entanto, essa mudança de atitude nas aulas de ciências requer uma radical transformação nos papéis do professor e do aluno. Postura esta onde o aluno não pode ser um mero espectador de aulas expositivas e o professor um transmissor "soberano" do conhecimento, mas um aprendiz que possua participação ativa no seu processo de ensino-aprendizagem e um professor que possui o papel, não somente de um simples mediador do ensino, mas que faça os alunos argumentarem e refletirem sobre suas próprias conclusões levando-os a construir o conceito científico.

Carvalho (2007) aponta 3 habilidades que o professor deve possuir para que possa realizar uma atividade de investigação que proporcione a enculturação científica: (I) a "*Habilidade de Provocar a Argumentação em Sala de Aula*", (II) a "*Habilidade de Transformar a Linguagem Cotidiana em Linguagem Científica*" e (III) a "*Habilidade de Introduzir os Alunos nas Linguagens da Matemática - Tabelas, Gráficos, Equações*".

A habilidade de incentivar a argumentação nos alunos requer muita destreza do professor, pois ele deve provocar tais argumentações com pequenos gestos que os levem a uma tomada de consciência sobre suas ações. Carvalho (2007) expressa o quão importante é a argumentação no processo de ensino-aprendizado do estudante: "*pois é pela exposição argumentativa de suas ideias que os aprendizes constroem as explicações dos fenômenos e desenvolvem o pensamento racional*" (p. 31).

No entanto, esta é uma atividade bem delicada, pois é normal as primeiras conclusões feitas pelos alunos não condizerem com a literatura

científica. É neste momento que o professor deve leva-los à auto-reflexão com pequenas questões formuladas com o intuito de fazer o aprendiz repensar sobre suas próprias conclusões. Além disso, é oportuno a criação de espaços para discussões e debates de ideias, pois é no dissenso entre os estudantes que aparecem os conflitos de hipóteses, no entanto, é importante que o professor leve os estudantes a chegarem a uma conclusão única. Para isso, o professor precisa criar um ambiente encorajador, onde os alunos não se sintam intimidados ao se expressarem e é nesta interação dinâmica entre o professor e o aluno que ocorre a construção do conhecimento.

Vale ressaltar que um ambiente encorajador pode ser criado e destruído por simples gesto do professor. Uma resposta negativa expressada de maneira inadequada pode inibir o aluno de propagar suas ideias entre os demais, prejudicando seriamente o processo de aprendizagem do estudante.

Outra propriedade de grande relevância é a maneira de expressar ciência. Se o indivíduo se encontrar em um ambiente que não o inibe de se expressar, é bem provável que ele utilize termos que não condizem com o vocabulário mais formal, então, com o auxílio do professor, o estudante começa a ter seu primeiro contato com as linguagens mais adequadas para a compreensão do fenômeno estudado e esse é um fator que indica a alfabetização científica. Logo, surge mais um motivo de fazer os alunos argumentarem: é na interação professor-aluno e aluno-aluno que o conhecimento científico volta a ser construído.

Essa habilidade coloca o professor em uma posição bem diferente da tradicional, deixando de ser o "dono" do conhecimento e passando a ser um questionador e guia do processo de aprendizagem do estudante. Note que a habilidade de transformar a linguagem cotidiana em linguagem científica é uma consequência do processo de argumentação que o professor induz no aluno.

A última habilidade mencionada é a de fazer com que os alunos se expressem com as linguagens da matemática. Talvez, essa seja a tarefa que o professor encontre maior dificuldade de trabalhar, pois é costume ouvir que a matemática é a maior barreira a ser ultrapassada. Tal linguagem, expressada muitas vezes em gráficos e equações, nos remete a lembrar que não basta somente modificar a maneira oral de anunciar ciência, mas instrumentos matemáticos devem ser utilizados para que a mesma possa ser completamente

entendida (com mais coerência e estrutura). Logo, se quisermos aproximar as aulas de ciências do ensino regular das práticas científicas, é indispensável o aprendizado na leitura de um gráfico, tabela, equações etc. Então, para compreendermos esse tipo de linguagem, temos de analisar duas classes de conceitos que aprimoram a linguagem científica: cooperar e especializar (CARVALHO, 2007, p. 39). De acordo com a autora, a ação de cooperar ocorre quando mais de uma linguagem é atribuída para explicar um mesmo conceito ou fenômeno, realizando funções semelhantes. Por exemplo, quando um professor está explicando o comportamento de um gráfico fazendo, simultaneamente, gestos com as mãos. Já a ação de especializar é quando as linguagens devem realizar funções distintas, como quando uma equação é apresentada ao aluno e o professor simultaneamente desenha o seu gráfico na lousa.

Logo, a linguagem científica não se limita a expressões matemáticas e à construção de gráficos, mas ela também é constituída por diversas formas de linguagens que levam o aluno a compreender esse universo. Infelizmente, em geral a linguagem matemática é dada de maneira operativista, quando o aluno é forçado a guardar na memória as fórmulas e a usar sua destreza matemática para a resolução de exercícios. Segundo Carvalho (2007):

Este é um fato muito comum no ensino formal de Ciências, em que o conteúdo das disciplinas muitas vezes é reduzido apenas ao tratamento operacional das fórmulas matemáticas, sem considerar suas origens e processos de construção. A compreensão dos alunos sobre as vantagens e limitações das diversas linguagens para produção de significados dentro da cultura científica é o que faz a diferença no aprendizado dos alunos. (p. 41)

2.7 Argumentação e os indicadores de alfabetização científica

No Tópico 2.6, é ressaltado o quão indispensável é o papel da argumentação nas aulas de ciências, pois auxilia na promoção da alfabetização científica nos aprendizes. Aqui, o termo argumentação se refere a qualquer discurso que o aluno ou o professor façam mediante uma questão pertinente

com o propósito de apresentar ideias, ou levantar hipóteses e evidências, com o intuito de explicar os resultados obtidos (SASSERON e CARVALHO, 2008).

Com o objetivo de saber se a Atividade Investigativa está promovendo a alfabetização científica (AC) nos alunos, urge a necessidade de procurar nas argumentações dos aprendizes indicadores que apresentem tais evidências. De acordo com Sasseron e Carvalho (2008):

Nossos indicadores têm a função de nos mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a AC em processo de construção entre os alunos. Estes indicadores são algumas competências próprias das ciências e do fazer científico: competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas em quaisquer das Ciências quando se dá a busca por relações entre o que se vê do problema investigado e as construções mentais que levem ao entendimento dele. Assim sendo, reforçamos nossa ideia de que o ensino de ciências deva ocorrer por meio de atividades abertas e investigativas nas quais os alunos desempenhem o papel de pesquisadores. (p. 388).

Ainda de acordo com Sasseron e Carvalho (2008), esses indicadores são divididos em três grandes grupos: (i) os indicadores que trabalham com os dados obtidos na atividade; (ii) os indicadores sobre a forma que o trabalho será realizado (estruturação de pensamentos) e os (iii) indicadores que buscam a compreensão da situação analisada.

Penha, Carvalho e Vianna (2009) organizam de forma resumida e dinâmica os indicadores apresentados pelos autores em questão (Tabela 2.5).

Indicadores de Alfabetização Científica		
Indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação	Seriação de informações	Indicador que não necessariamente prevê uma ordem a ser estabelecida, mas pode ser um rol de dados, uma lista de dados trabalhados.
	Organização de informações	Ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado.
	Classificação de informações	Ocorre quando se busca conferir hierarquia às informações obtidas.
Indicadores para a estruturação do pensamento	Raciocínio lógico	Compreende o modo como as ideias são desenvolvidas e apresentadas e está diretamente relacionado à forma

		como o pensamento é exposto;
	Raciocínio proporcional	Mostra como se estrutura o pensamento, e refere-se também à maneira como variáveis têm relações entre si, ilustrando a interdependência que pode existir entre elas.
Indicadores para entendimento da situação analisada	Levantamento de hipóteses	Apontam instantes em que são alçadas suposições acerca de certo tema (pode surgir na forma de uma afirmação ou de uma pergunta).
	Teste de hipóteses	Colocar à prova as suposições anteriormente levantadas (pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das ideias).
	Justificativa	Quando em uma afirmação qualquer proferida lança mão de uma garantia para o que é proposto.
	Previsão	Explicitados quando se afirma uma ação e/ou fenômeno que sucede associado a certos acontecimentos.
	Explicação	Quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. (Estão relacionados à justificativa para o problema).

Tabela 2.5. Indicadores de Alfabetização Científica.

(Fonte: SASSERON e CARVALHO, 2008 apud PENHA, CARVALHO e VIANNA, 2009, p. 4. (Modificado))

Esses indicadores serão usados para a análise das argumentações dos alunos (seus discursos serão registrados neste trabalho) durante as Atividades Investigativas que essa dissertação propõe.

Capítulo 3

A Supercondutividade

3.1. A supercondutividade inserida na Educação Básica

No ano 2000, a Educação Básica, que corresponde ao Ensino Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio, sofreu sérias mudanças no seu currículo em consequência do seu objetivo central com o lançamento do PCNEM (Plano Curricular Nacional do Ensino Médio (BRASIL, 2000)). Nele o objetivo central apresenta forte preocupação na formação do aluno frente à denominada “quarta revolução técnico-industrial”, onde diversas tecnologias (basicamente nos avanços da microeletrônica) ficam cada vez mais inseridas no cotidiano da sociedade, e pela chamada “revolução informática” que promove modificações significativas na aquisição do conhecimento (BRASIL, 2000, p. 5).

Com isso, os currículos aplicados nas instituições de ensino deveriam seguir uma metodologia que continha a tentativa de promover no aluno “capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização” (BRASIL, 2000, p. 5). Os PCN (BRASIL, 2002) ressaltavam as mudanças que o currículo de Física precisava fazer para se adequar ao novo cenário em que a escola tradicional estava sendo inserida, onde era proposto que deveria ocorrer a transição entre um currículo baseado em uma linha contínua sobre a estrutura do conhecimento da Física para uma Física ligada diretamente ao cotidiano dos alunos (sentido mais amplo da formação desejada).

E esse sentido emerge na medida em que o conhecimento de Física deixa de constituir um objetivo em si mesmo, mas passa a ser compreendido como um instrumento para a compreensão do mundo. Não se trata de apresentar ao jovem a Física para que ele simplesmente seja informado de sua existência, mas para que esse conhecimento se transforme em uma ferramenta a mais em suas formas de pensar e agir. (BRASIL, 2002, p. 61)

O documento trabalha diversos fatores pertinentes aos objetivos centrais e as formas de alcançá-los, no entanto, vale ressaltar as competências organizadas pelos PCN (BRASIL, 2000) que apontam para um ensino focado na formação de um cidadão crítico e presente na sociedade e na integração da Ciência Física com as outras áreas do conhecimento. Essas competências estão ligadas com a investigação e compreensão de fenômenos físicos, e como a maneira da utilização da linguagem Física e de sua comunicação e sua contextualização histórica e social. Nelas, estão expressos os principais objetivos que o estudante deve atingir em sua passagem pelo Ensino Básico. Como exemplo, abaixo está um dos objetivos pertinentes ao documento:

Assim, será importante estimular a efetiva participação dos jovens na vida de seu bairro e cidade, conscientizando-os de sua responsabilidade social. Isso poderá ser feito por meio de projetos que envolvam intervenções na realidade em que vivem, incluindo desde ações de difusão de conhecimento, como por ocasião de eclipses, por exemplo, a levantamento de dados, como, por exemplo, em relação às formas de consumo da população e seus direitos como consumidores, ou propondo ações para minimizar o consumo de água e energia ou monitorando fluxos de tráfego, poluição ambiental ou poluição sonora, acompanhando o impacto ambiental de indústrias, identificando os problemas da comunidade, sempre buscando intervenções significativas no bairro ou localidade. Ações dessa natureza podem fazer com que os jovens se sintam de fato detentores de um saber significativo, a serviço de uma comunidade, expressão de sua cidadania. (BRASIL, 2002, p. 85 e 86)

Hoje um “Novo Ensino Médio” está sendo formulado para as escolas públicas e particulares com um novo documento. A BNCC³ (Base Nacional Comum Curricular) que ainda não foi implementado nas instituições de ensino⁴. No entanto, o foco em formar estudantes que tenham participação ativa nas decisões sociais e que compreendam de maneira crítica a inserção de tecnologias na sociedade ainda continua. E é aqui que o estudo da

³ A BNCC é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica. (Definição retirada do próprio site: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>> Acesso em 07/09/2017).

⁴ O documento referente ao ensino fundamental já foi criada, porém, a do Ensino Médio deveria ter sido aprovada no segundo semestre de 2017. Contudo, resalto que o Atual Presidente da República Michel Temer sancionou a lei que estabelece a reforma do ensino médio (<<https://g1.globo.com/educacao/noticia/temer-sanciona-a-medida-provisoria-da-reforma-do-ensino-medio.ghtml>>) (Acesso em 08/02/2018).

supercondutividade apresenta importância relevante para o estudante contemporâneo.

Com a descoberta do efeito supercondutor em 1911 e com a produção de ímãs de Neodímio, Ferro e Boro (Nd-Fe-B) na década de 1980, deu-se início a uma nova aplicação em grande escala dos supercondutores: o transporte de massa. O trem MagLev (Magnetic levitation train), que será discutido posteriormente, é basicamente um transporte de massa que tem como diferencial o deslocamento por levitação supercondutora e o fator sustentabilidade. O trem não polui o ar e nem emite ruídos danosos aos ouvidos humanos, reduzindo a poluição sonora nos centros urbanos. Logo é mais que necessária a discussão dessa nova aplicação tecnológica na sala de aula. Os alunos devem refletir não somente a Física presente no trem, mas os impactos que ele pode causar no meio ambiente e na economia da sociedade. Além disso, vale expor que a discussão do trem supercondutor na sala de aula vai ao encontro com uma das diretrizes do PNE (Plano Nacional de Educação) que diz: "... promoção dos princípios do respeito aos direitos humanos, à diversidade e à sustentabilidade socioambiental." (BRASIL, 2014, p. 32)

O trem MagLev Cobra (nome dado pela sua forma de se deslocar pelos trilhos) é uma tecnologia inovadora e nacional que teve início na década passada desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro pela Coppe (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia) e pela Escola Politécnica através do LASUP (Laboratório de Aplicações de Supercondutores). Logo, é importante que o estudante esteja inteirado sobre tal tecnologia e como ela pode modificar a vida da sociedade como um todo.

Além de tudo o que já foi exposto, a BNCC referente ao ensino fundamental valoriza de maneira significativa a prática de investigação nas aulas de ciências mostrando os pontos mais relevantes que são propostos ao estudante, justificando mais uma vez a estratégia de ensino-aprendizagem utilizada nessa dissertação.

Para tanto, é imprescindível que eles sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de Atividades Investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas pré-definidas, tampouco se restringir à

mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório.

Ao contrário, pressupõe organizar as situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções. (BRASIL, 2017, p. 274)

3.2 Supercondutividade: o que falam os livros do Ensino Médio?

Como já foi bastante discutido nessa dissertação, o tema supercondutividade é relevante ao estudante da educação básica, pois o tópico convida não só o aluno a entender a Física presente no fenômeno, mas a discutir suas aplicações na sociedade. Então, com o intuito de entender como esse tema é abordado no ensino médio, foi feita uma pesquisa nos livros didáticos que fazem parte do PNLD⁵ (Plano Nacional do Livro Didático) referentes ao triênio 2018-2020. Porém, o tema não é valorizado do ponto de vista do aprendizado efetivo, ou seja, o tema é abordado como um simples comentário sobre uma das diversas aplicações do eletromagnetismo encontrado no fim do capítulo ou como nota de rodapé.

Além dos livros que constituem o PNLD (2018-2020), foi feita outra pesquisa a livros que possuem potencial e qualidade para serem aplicados no ensino médio, mas que não fazem parte do programa. O resultado foi semelhante ao anterior feito nos livros do PNLD, no entanto, os comentários e as abordagens sobre o tópico estavam mais completos em termos da Física dos supercondutores (especialmente o efeito diamagnético perfeito, o Efeito Meissner) e das suas aplicações na sociedade, abordando as principais características (pontos positivos para a sociedade) das tecnologias que utilizam o conhecimento.

3.3. Breve evolução histórica da supercondutividade

⁵ É um programa de livro didático em que o governo federal provê às escolas de educação básica públicas diversas obras didáticas (dentre outras) de forma gratuita destinadas aos alunos e professores, incluindo estudantes de educação de jovens e adultos.

3.3.1 A descoberta do fenômeno da supercondutividade

A primeira evidência do efeito supercondutivo foi registrada no início do século XX no ano de 1911 com o físico holandês Heike Kamerling Onnes (Figura 3.1) em Leiden. Onnes, que nasceu no ano de 1853 na Holanda (Groningen), se concentrava em duas grandes áreas de pesquisa: estudo do comportamento dos gases (em especial, sobre a teoria de Van der Waals - Lei dos Gases Correspondentes) e o estudo da resistência nos metais⁶.



Figura 3.1. Heike Kamerling Onnes.

(Fonte: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1913/onnes-facts.html). Acesso em Janeiro de 2018.

A descoberta da supercondutividade foi inesperada para Onnes. Estudando a queda da resistividade nos metais submetendo-os a baixas temperaturas, ele esperava que os osciladores de Planck perdessem energia com a queda da temperatura e, para uma temperatura tendendo ao zero absoluto (0 K), a resistividade do material se anularia. De fato o fenômeno estava se mostrando verdadeiro, no entanto, a partir de uma determinada temperatura (diferente do zero absoluto) a resistividade caía abruptamente, anulando-se. Isso ocorreu quando Onnes estava estudando a resistividade do mercúrio (foram utilizados resistores de mercúrio que possuíam graus de

⁶ O leitor que se interessar mais sobre a vida de Onnes deve consultar a referência: DICIONÁRIO DE BIOGRAFIAS CIENTÍFICAS. Benjamin C, editor. Rio de Janeiro: Contraponto; 2010.

pureza elevados). Quando a temperatura alcançou o valor de 4,2 K utilizando hélio líquido⁷, registrou essa queda inesperada observada na Figura 3.2.

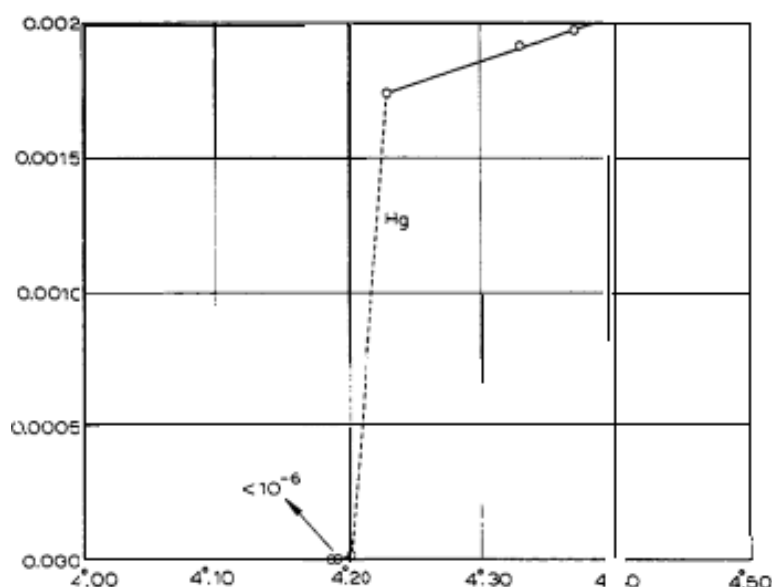


Figura 3.2. Queda da resistividade do mercúrio. O eixo das ordenadas corresponde à resistividade do mercúrio e o eixo das abscissas a temperatura (Kelvin).

(Fonte: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1913/onnes-lecture.pdf). Acesso em Janeiro de 2018.

Sem compreender o motivo de tal queda, Onnes continuou a procura de outros metais que adquirissem características semelhantes. Foram encontrados outros materiais, mas todos faziam a transição para esse novo estado quando sua temperatura se aproximava do zero absoluto. Como só ocorre transição do estado normal para o supercondutor com temperaturas bem definidas, é nítida a semelhança com as transições de estado físico da matéria (líquido para gasoso, por exemplo), então, Onnes nomeou esse novo estado da matéria de *Supracondutividade* (conhecido hoje por *supercondutividade*) e continuou seus estudos para obter maior compreensão sobre as características que esse novo estado poderia apresentar⁸.

⁷ O hélio foi liquefeito ($\approx 4,2\text{K}$ ou $-268,8^\circ\text{C}$) pela primeira vez no laboratório de Leiden pela equipe do próprio Kamerling Onnes três anos antes da descoberta da supercondutividade. O laboratório de Leiden foi o primeiro laboratório de baixas temperaturas do mundo de 1908 até 1923.

⁸ Como não se entendia a causa do fenômeno da supercondutividade, acreditava-se que o supercondutor fosse um condutor de resistência nula.

As características mais notáveis foram obtidas em 1914: (i) o estado supercondutor era "quebrado" quando o material era submetido a campos magnéticos externos intensos (chamado de campo magnético crítico) e (ii) quando se transpassava uma densidade de corrente elétrica acima de um determinado valor (chamada de densidade de corrente elétrica crítica).

Uma aplicação tecnológica da supercondutividade pensada por Onnes foi a fabricação de eletroímãs supercondutores, no entanto, com os baixos valores críticos dos campos magnéticos e das densidades de corrente elétrica, não foi possível⁹.

Com a descoberta do novo estado da matéria, juntamente com a liquefação do hélio, em 1913 Heike Kamerling Onnes recebeu o prêmio Nobel de Física dentre outras premiações (condecorações e honrarias).

3.3.2 Evolução das teorias sobre a supercondutividade

Outros físicos começaram a busca por novos materiais que poderiam fazer a transição para o estado de supercondutor a temperaturas diferentes e, para compreender o motivo, pelo qual, há descontinuidade na resistividade do material nessas temperaturas específicas. Uma característica de grande relevância do material quando se tornava supercondutivo é a expulsão do campo magnético externo do seu interior. Esse fenômeno foi chamado de *Efeito Meissner*. Descoberto em 1933 pelos físicos alemães Walther Meissner e Robert Ochsenfeld (seu assistente). Eles constataram que expondo o material supercondutor a pequenos campos magnéticos, ocorria a expulsão deste de maneira semelhante a um material diamagnético perfeito.

O fenômeno possui duas particularidades relevantes: (i) a resistividade nula não leva, necessariamente, ao diamagnetismo ideal, definindo assim a supercondutividade como o novo estado da matéria¹⁰; e (ii) como a resistividade de um supercondutor é nula, não ocorre Efeito Joule quando o material é submetido a uma corrente elétrica. Além disso, foi verificado que a

⁹ Somente em 1930, com a descoberta de materiais que transitam para o estado supercondutor a temperaturas críticas mais elevadas, que foi possível a criação de eletroímãs supercondutores.

¹⁰ Indo ao encontro com o que Onnes disse.

transição do estado normal para o estado supercondutor é um processo termodinâmico reversível. A descoberta do Efeito Meissner estimulou outros físicos a procurarem explicações para o fenômeno da supercondutividade e suas propriedades.

O primeiro a estudar de maneira quantitativa as propriedades que ocorrem no material supercondutor foi o físico inglês F. London. Em 1935, ele formulou com sucesso duas equações que descrevem a resistividade nula e a ocorrência da expulsão do campo magnético no seu interior. No entanto, a sua teoria não explica a origem microscópica do novo estado da matéria.

No ano de 1950, os físicos soviéticos V. L. Ginzburg e L. D. Landau formularam uma teoria para explicar que a transição de um material no estado normal para o estado supercondutor é um processo termodinâmico reversível. Eles dedicaram seus esforços para explicar de maneira macroscópica os fenômenos termodinâmicos no supercondutor, ou seja, descrever a fenomenologia do processo físico. A teoria descrita provou ser eficiente até os dias atuais.

No entanto, a explicação para a origem microscópica da supercondutividade à baixa temperatura veio com os físicos John Bardeen, Leon Neil Cooper e John Robert Schrieffer, em 1957. Tal teoria foi nomeada como "Teoria BCS" (em homenagem aos seus formuladores) e confirma de maneira elegante as teorias de London, Ginzburg e Landau. Com a conquista de um feito de tamanha importância, os formuladores da Teoria BCS ganharam o prêmio Nobel de Física em 1972¹¹.

As últimas descobertas registradas sobre as propriedades dos supercondutores foram em 1962, com o físico inglês B. D. Josephson, e em 1965 com o físico norueguês Ivar Giaever. Josephson constatou propriedades peculiares quando dois supercondutores são postos em contato, e os fenômenos que surgem desta união receberam o nome de *Efeito Josephson*. Já Giaever estudou os efeitos de tunelamento de elétrons nos supercondutores. Estas descobertas lhes renderam o prêmio Nobel de Física em 1973.

¹¹ A primeira produção científica com enfoque em supercondutividade no Brasil foi no ano de 1957 com o cientista Newton Bernardes. Fazendo pós-graduação na universidade de Illinois (EUA) com a orientação de John Bardeen, é citado no artigo que rendeu o prêmio Nobel aos ganhadores, mostrando assim, a relevância do seu trabalho.

3.3.3 As descobertas de novos materiais supercondutores

Desde 1911 com Kamerling Onnes, o problema encontrado para a utilização dos materiais quando estão em estado de supercondutor é a dificuldade de manter a baixa temperatura. A substância usada para baixar a os graus de vibração das moléculas do material até à fase de transição é o hélio líquido. No entanto, essa substância possui um custo alto e o equipamento que o confecciona é de tamanho apreciável. Com isso, iniciou-se uma corrida para a descoberta de novos materiais que transitem para o estado de supercondutividade com temperaturas mais elevadas.

Foi no ano de 1986 que tal feito foi alcançado pelos físicos: Karl Alex Müller e J. George Bednorz. Eles conseguiram testemunhar os efeitos supercondutivos em materiais a alta temperatura crítica. O mais interessante dessa descoberta foi que o efeito supercondutivo não foi constatado em um condutor, mas sim em um isolante. Foi evidenciado que o efeito ocorreu em um material de cerâmica e que fazia a transição para o estado de supercondutor a 30 K. Tal descoberta lhes forneceu o Prêmio Nobel de 1987.

Essa descoberta foi revolucionária para os pesquisadores de supercondutividade, pois com o aumento da temperatura de transição do material, pode-se usar uma substância mais barata para mante-lo no estado supercondutivo. Foi com esse pensamento que os pesquisadores intensificaram seus esforços para achar materiais com temperaturas críticas cada vez mais elevadas.

O pesquisador que conseguiu tal façanha foi o físico Ching-Wu (Paul) Chu, juntamente com uma equipe de pesquisadores da Universidade de Houston no ano de 1987. Eles desenvolveram um material supercondutor ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ - chamado de YBCO, pertencente a família dos cupratos) que fazia a transição de fase ao incrível valor de 98 K. Essa descoberta é de grande importância, pois a temperatura de liquefação do nitrogênio é de 77 K e poderia ser usado para manter o material no seu estado supercondutivo. Outro fato de grande relevância é o custo do nitrogênio líquido: em relação ao hélio

líquido, são dezenas de dólares mais barato e pode-se armazená-lo em simples garrafas térmicas apropriadas (frasco dewar).

Antes da descoberta do YBCO, as aplicações dos materiais supercondutores eram poucas, pois o custo para manter o material a temperaturas tão baixas eram muito altos. Com esse novo composto, o problema foi superado e começaram a aplicar a supercondutividade em diversas áreas: transporte; medicina; produção e transmissão de energia elétrica etc.

Com a descoberta do YBCO, os materiais cerâmicos mostraram ter grande potencial para os estudos da supercondutividade. Desde sua descoberta, outros materiais com composições semelhantes foram estudados. Hoje, o composto $\text{Hg}_{0,8}\text{Tl}_{0,2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8,33}$ faz a transição para o estado supercondutor a 138 K.

De fato, com a empolgação dos compostos cerâmicos que transitam para o estado supercondutor a temperaturas elevadíssimas, os compostos metálicos foram deixados de lado. No entanto, em janeiro de 2001, foi descoberto um composto metálico que fazia a transição a 39,2 K, simplesmente 16 K acima de qualquer composto metálico já descoberto (o mais alto até então foi um liga de Nióbio e Germânio: 23,2 K). O composto metálico era o MgB_2 .

A descoberta desse novo composto metálico fornece aplicações diretas às indústrias, colocando-o em uma posição importante para uso. Além disso, por entrar na fase de supercondutor a 39,2 K, não se faz necessário usar hélio líquido para resfriá-lo, que o torna mais rentável em relação aos outros compostos metálicos.

O mais recente grande episódio dos estudos da supercondutividade registrado foi o Prêmio Nobel de 2003, dado aos físicos: Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg e Anthony J. Leggett. O prêmio foi dado pelo pioneirismo nas contribuições para a teoria dos supercondutores e dos superfluidos (este último é dado especialmente a Anthony J. Leggett).

Até os dias atuais não foi encontrada uma teoria que descrevesse microscopicamente a supercondutividade em altas temperaturas e ainda persiste a corrida para encontrar um material que entre no estado supercondutor a temperaturas cada vez maiores. Nas Figuras 3.3 e 3.4 estão

expostos os materiais que conseguem fazer a transição para o estado supercondutor (à pressão atmosférica e a altas pressões) e uma linha temporal que relaciona a descoberta dos materiais supercondutores com a liquefação de várias substâncias.

ELEMENTOS SUPERCONDUTORES CONHECIDOS

■ AZUL: EM AMBIENTE DE PRESSÃO ■ VERDE: SOMENTE SOB ALTA PRESSÃO																		
1	2																	10
3	4																	10
11	12																	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112							

* LANTANÍDEOS	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
EOS	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ ACTINÍDEOS	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
OS	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Figura 3.3. Tabela periódica com os elementos que podem transitar para o estado supercondutor.

(Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/supercondutividade>) Acesso em Janeiro de 2018.

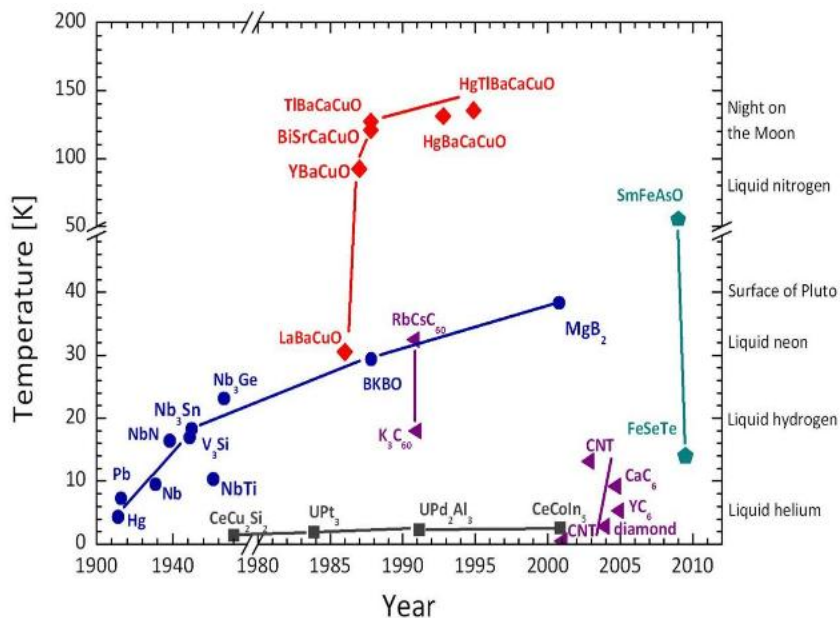


Figura 3.4. Linha de tempo da descoberta de materiais que podem transitar para o estado supercondutor com a liquefação de diversas substâncias. As formas geométricas apresentadas no gráfico representam as diferentes famílias de materiais. (Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grad/supercondutividade.pdf>). Acesso em Janeiro de 2018.

3.4 A Física presente nos supercondutores

Pela evolução histórica, levou bastante tempo para a compreensão (de maneira qualitativa e, principalmente, quantitativa) dos fenômenos observados pelos materiais quando estão no estado de supercondutividade. Isso se deu, porque foi preciso forte domínio da teoria de Mecânica Quântica, na qual, é indispensável o tratamento matemático.

Esse capítulo apresentará as características mais relevantes para o entendimento dos fenômenos envolvidos na supercondutividade, no entanto, não serão abordados com riqueza os argumentos matemáticos dos acontecimentos, pois eles podem ser facilmente encontrados em diversas obras: (OLIVEIRA e JESUS, 2011; ASHCROFT e MERMIN, 2011; KITTEL, 1987; OSTERMANN, 2005; MOURACHKINE, 2004; EISBERG e RESNICK, 1994), dentre outros que serão citados ao longo do tópico.

3.4.1 Temperatura crítica e campo magnético crítico

Do ponto de vista histórico, o fenômeno mais básico que caracteriza um material supercondutor é a queda abrupta da sua resistividade elétrica a uma determinada temperatura, que foi chamada de temperatura crítica (T_c). Essa temperatura crítica determina o ponto em que ocorre a transição de fase do material do seu estado normal para o seu estado supercondutor na ausência de campo magnético e corrente elétrica aplicada. Se for aplicado um campo magnético, a temperatura crítica mudará de material para material, como apresentado na Figura 3.5. Note que a partir de um determinado valor do campo magnético aplicado, a supercondutividade desaparece e os efeitos normais da substância voltam a aparecer. Esse campo limite é chamado de campo magnético crítico (H_c) e, como antes, varia de material para material.

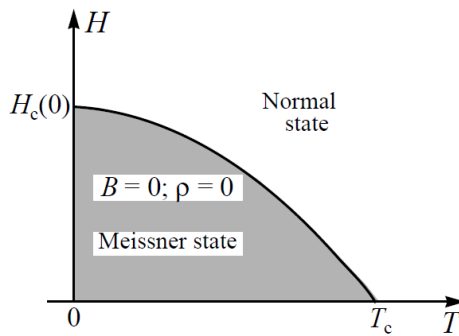


Figura 3.5. Relação entre o campo magnético aplicado com a temperatura de transição. A variável “B” representa o campo magnético no interior do material e “ρ” sua resistividade.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 34)

Uma relação aproximada entre o campo magnético crítico e a temperatura crítica foi determinada experimentalmente e é da seguinte maneira:

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T^2}{T_c^2} \right) \right]$$

Hoje, existe uma gama de elementos que podem transitar para o estado supercondutor como visto na Figura 3.3. Agora, são apresentados alguns elementos com suas respectivas temperaturas críticas¹². Observe a Tabela 3.1.

Elemento	T _c (K)	H _c (T)
Al	1.1	0.01
Pb	7.2	0.08
Sn	3.7	0.03
In	3.4	0.03
Tl	2.4	0.02
Cd	0.56	0.003

Tabela 3.1. Relação entre o campo magnético crítico com a temperatura de transição.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 22. (Modificado))

¹² O leitor que desejar aprofundar mais sobre o assunto deve consultar a obra de Ashcroft e Neil (2011), cap. 34, p. 789.

3.4.2 Corrente elétrica durável e a Equação de London

Em consequência da falta de resistividade, se o material for colocado dentro de uma região onde o campo magnético é não nulo, pela Lei de Faraday, surgirá uma corrente elétrica induzida na superfície do material (pois o campo magnético irá variar na sua superfície enquanto o material entra na região em questão) que não perderá intensidade com o tempo¹³, pois não ocorrerá perda de energia por Efeito Joule. Como consequência, a corrente elétrica irá produzir um campo magnético (Lei de Ampère) oposto ao campo aplicado (Lei de Lenz). No entanto, existem algumas limitações:

(a) Existe uma corrente elétrica crítica onde o estado supercondutor é “destruído”. A intensidade da corrente depende do material e da sua geometria (ASHCROFT e MERMIN, 2011) e está relacionado com o campo magnético que essa corrente produz, pois ele pode exceder o campo magnético crítico do material.

(b) Se for aplicada uma corrente elétrica alternada (campo elétrico AC), a supercondutividade será mantida até uma determinada frequência, ou seja, existe uma frequência crítica.

Esse campo magnético produzido pelas correntes na superfície do material supercondutor não permitirá que o campo magnético externo penetre no material, fazendo o campo magnético zerar em seu interior. Esse fenômeno é chamado de Efeito Meissner e possui destaque especial nessa dissertação, pois é com esse efeito que o trem consegue levitar.

É possível mostrar, sem adentrar na Mecânica Quântica, o motivo da expulsão do campo magnético do interior do supercondutor. Diversas obras presentes nesta dissertação apresentam os cálculos e chegam na chamada “Equação de London”. O leitor que se interessar em observar os procedimentos matemáticos deve pesquisar qualquer uma das seguintes referências: (OSTERMANN, FERREIRA e CAVALCANTI, 1998); (OLIVEIRA e JESUS, 2011, p. 270); (COSTA e PAVÃO, 2012); (PEREIRA e FÉLIX, 2013); (ASHCROFT e MERMIN, 2011, p. 798); (KITTEL, 1987, p. 365).

¹³ O recorde foi de 30 meses. (Collins, S. C., citado em Lynton, E. A. Superconductivity. Nova York: Wiley, 1969 apud Ashcroft e Mermin (2011), cap. 34, p. 787.)

As ideias dos irmãos London consistiam basicamente que no material supercondutor existam dois tipos de elétrons: aqueles que se comportavam normalmente (aproximadamente como elétrons livres) e aqueles que apresentavam um comportamento “estranho”, chamados de “superelétrons”. São esses superelétrons que seriam responsáveis pelos fenômenos observados nos materiais que fizeram a transição de estados. Assim, utilizando as Equações de Maxwell, foi possível chegar às seguintes conclusões:

(I) Primeira conclusão

A primeira conclusão de London descreve a propriedade da resistividade nula no supercondutor. Ela é obtida sem uso de forças dissipativas e diz que não pode haver campo elétrico dentro do supercondutor a menos que tenha corrente elétrica variável no tempo (OSTERMANN, FERREIRA e CAVALCANTI, 1998).

$$\frac{d\vec{j}_s}{dt} = \frac{n_s \cdot e^2}{m} \cdot \vec{E}$$

Onde “e” é duas vezes a carga do elétron, “m” é duas vezes a massa do elétron, “ \vec{J}_s ” é o vetor densidade de corrente, “ \vec{E} ” é o vetor campo elétrico e “ n_s ” é o número de superelétrons por unidade de volume.

(II) Segunda conclusão

Já a 2ª conclusão mostra que o campo magnético externo decai exponencialmente na superfície do supercondutor (Figura 3.6):

$$H_x = H_0 \cdot e^{\frac{-x}{\lambda}}$$

O termo “ λ ” na equação é chamado de comprimento de penetração de London e diz o quanto o campo magnético externo consegue adentrar no material, confirmando o efeito Meissner. Ele é expresso por:

$$\lambda = \left(\frac{m \cdot c^2}{4\pi n_s e^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Na Figura 3.6 abaixo, está explícita a queda exponencial do campo magnético externo no interior do material supercondutor.

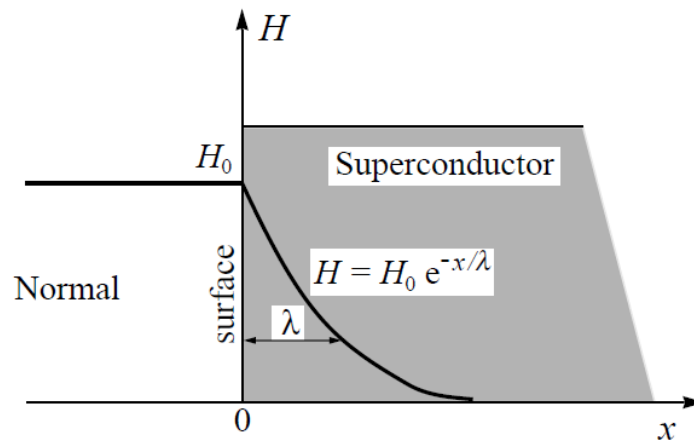


Figura 3.6. Penetração do campo magnético externo em um supercondutor. O campo é atenuado na superfície do material. Observe o comprimento de penetração de London.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 27)

(III) Terceira conclusão

De maneira semelhante à anterior, a 3ª conclusão de London mostra que as correntes elétricas dentro do supercondutor decaem exponencialmente a partir de sua superfície. Mostrando assim que em um supercondutor só existe correntes elétricas superficiais¹⁴:

$$\mu_0 J_x = J_x(0) \cdot e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

Além disso, é possível fazer um gráfico relacionando o comprimento de penetração de London com a temperatura do material. No entanto, para o melhor entendimento, faz-se necessário formular uma equação que relaciona

¹⁴ Note que na equação da terceira conclusão de London existe o termo de atenuação, λ .

temperatura com o comprimento de penetração de London. Com um pouco de álgebra pode-se chegar em:

$$\lambda(T) = \frac{\lambda(0)}{\left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^4\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Com isso, o gráfico $(\lambda(T)/\lambda(0) \times T/T_c)$ (Figura 3.7), fica:

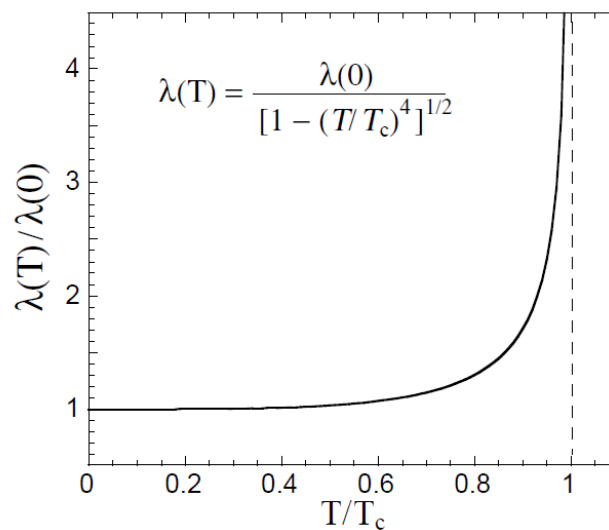


Figura 3.7. Dependência do comprimento de penetração de London com a temperatura.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 28)

Note que com o aumento da temperatura, o comprimento de penetração aumenta significativamente.

3.4.3 Tipos de supercondutores

O Efeito Meissner explicado com argumentos simples pelos irmãos London ocorre em todos os supercondutores se o campo magnético aplicado for suficientemente pequeno. No entanto, em certos supercondutores não ocorre expulsão total do campo magnético, colocando-o em uma espécie de estado misto (o material possui partes supercondutoras como partes normais).

Urge, então, uma necessidade de classificação dos supercondutores. Os supercondutores que expulsam totalmente o campo magnético externo são chamados de “**Supercondutores do Tipo 1**” e aqueles que fazem a expulsão parcial são chamados de “**Supercondutores do Tipo 2**”.

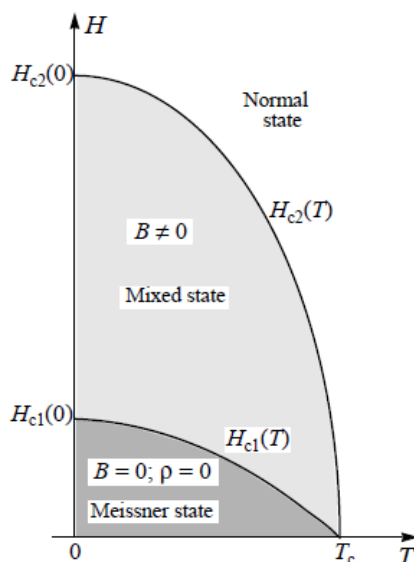


Figura 3.8. Relação do campo magnético crítico com a temperatura em um supercondutor do Tipo 2. Observe que esse supercondutor possui dois campos críticos. A variável “B” representa o campo magnético no interior do material e “ρ” sua resistividade.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 34).

Note que os supercondutores do Tipo 2 (Figura 3.8) possuem dois campos magnéticos críticos onde delimitam a região de estado misto. Abaixo do campo crítico inferior, a expulsão do campo magnético é total no material, já entre os campos críticos, existe penetração parcial (criação de vórtices – Tópico 3.4.4) do campo magnético externo e após o campo crítico superior, o material transita para o estado normal. A Tabela 3.2 abaixo mostra alguns elementos supercondutores do Tipo 2 com as suas temperaturas críticas e seu campo crítico superior.

Elemento	Tc (K)	Hc ₂ (T)
Nb	9.2	0.2
NbTi	9.5	14

NbN	16	16
Nb3Sn	18.4	24
Nb3Ge	23	38

Tabela 3.2. Relação entre o campo magnético crítico superior com a temperatura de transição.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 30. (Modificado))

3.4.4 Vórtices em supercondutores do Tipo 2

Quando se resfria um supercondutor do Tipo 2 na presença de um campo magnético aplicado, a parte do campo que consegue penetrar no material fica aprisionado em forma de Vórtices. Para entender o que seriam esses vórtices, imagine um cilindro muito fino (normalmente entre 10 e 100 nm de diâmetro) que atravessa o material e que seja paralelo ao campo magnético externo. No contorno desse cilindro, circulam supercorrentes de blindagem em forma de uma espécie de casca cilíndrica (imagine as camadas de uma cebola) com raio médio da ordem do comprimento de penetração do material (Figura 3.9). Todo esse conjunto é chamado de vórtice.

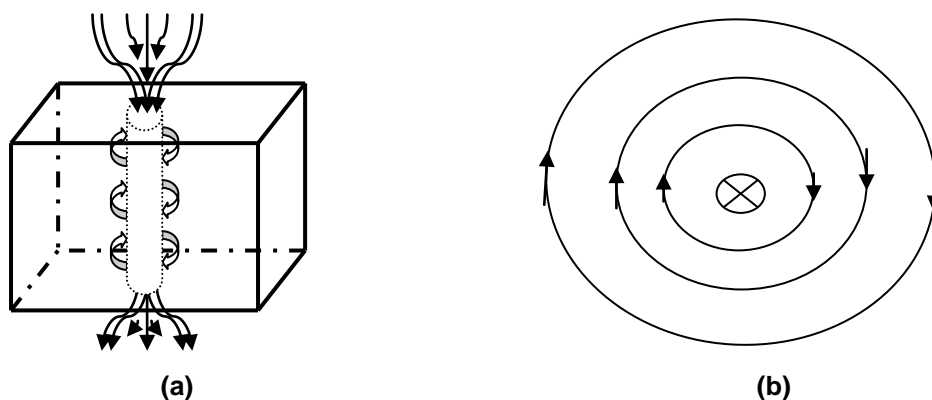


Figura 3.9. Objeto supercondutor do Tipo 2 na presença de um campo magnético externo. **(a)** O cilindro visto em tela (também chamado de caroço) permite que o campo magnético (um quantum de fluxo¹⁵) o atravesse, e está sendo circundado por supercorrentes de blindagem. **(b)** Vista superior do vórtice. O centro é o local onde o campo magnético atravessa e as linhas em volta são as correntes de blindagem.

(Fonte: Autoria própria)

¹⁵ Para entender melhor o que seria “um quantum de fluxo”, ler (OSTERMANN, 2005).

Um fato interessante é que se aumentar a intensidade do campo magnético externo, maior será o número de vórtices formados. E como eles interagem repulsivamente uns com os outros, eles tendem a ficar em uma determinada disposição tal que lembra uma rede cristalina (Figura 3.10).

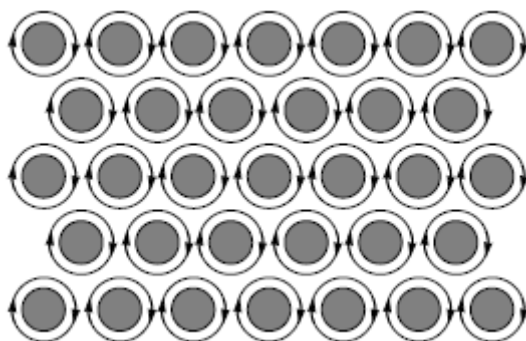


Figura 3.10. Rede de vórtices em um supercondutor do Tipo 2. A parte cinza da imagem é o local que o campo magnético consegue penetrar (caroço) e as linhas de contorno são as supercorrentes de blindagem.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 63)

3.4.5 Supercondutores granulares (Tipo 2)

Em nossa atividade experimental com os alunos, foi usado um supercondutor granular do Tipo 2. Para entender de maneira qualitativa o que acontece dentro de um supercondutor granular, tomo posse de um trabalho publicado recentemente, SANTOS et al. (2015), pois trata muito bem do tema proposto.

Em suma, os materiais usualmente utilizados para a levitação magnética são supercondutores cerâmicos do Tipo 2 (por causa da alta temperatura crítica, barateando o custo do material para mante-lo nesta condição) granulares, ou seja, uma amostra de material que possui inúmeros grãos supercondutores tanto, como, grãos que não transitam para o estado supercondutor (Figura 3.11):

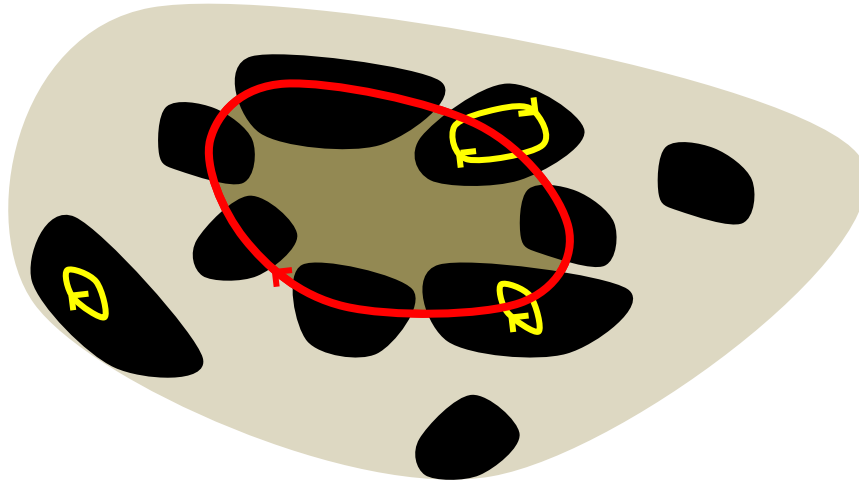


Figura 3.11. Supercondutor granular. As manchas pretas são os grãos supercondutores onde circulam supercorrentes de blindagem (circulação amarela). O material cinza claro não transita para o estado supercondutor e a circulação vermelha se dá pelo tunelamento dos elétrons entre os grãos supercondutores. A parte de cor cinza escuro é o campo magnético externo aprisionado pela circulação vermelha¹⁶.

(Fonte: Autoria própria)

Quando o supercondutor granular é resfriado na presença do campo magnético externo, aparecem correntes (circulação amarela) dentro dos grãos supercondutores que o blindo do campo aplicado (Efeito Meissner). No entanto, nas vizinhanças dos grãos supercondutores (ponto de menor distância entre eles) pode ocorrer o tunelamento dos elétrons que cria uma corrente que circula pela amostra granular (circulação vermelha) que, basicamente, o blindo do campo magnético externo. Porém, ao esfriar o material, a parte da amostra considerada supercondutora pode acabar por confinar esse campo na forma de vórtice, ou o campo magnético pode ficar aprisionado na região normal delimitada pela corrente (circulação vermelha) que passa pelos grãos supercondutores.

Note pela Figura 3.12, que o campo magnético contorna as bordas do material. Neste local, o campo magnético pode ficar diversas vezes mais intenso com o aumento do campo aplicado.

¹⁶ Imagem fora de escala.

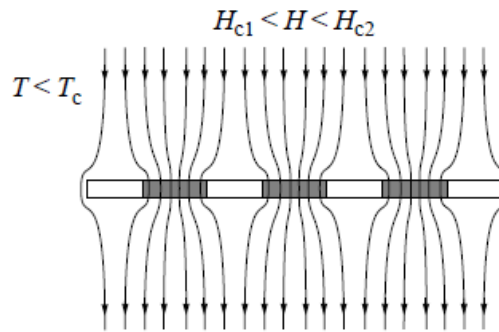


Figura 3.12. Imagem de vários campos magnéticos aprisionados em um supercondutor do Tipo 2 (granular). Pode haver um número grande de linhas de campo magnético nas bordas do material, que ajudará em sua estabilidade.

(Fonte: Mourachkine, 2004, p. 67)

3.4.6 A Teoria BCS – Aspectos qualitativos

A Teoria BCS possui basicamente dois elementos fundamentais: a formação de Pares de Cooper e a existência de gap de energia entre o estado supercondutor e o estado normal.

(I) Pares de Cooper

Quando os elétrons presentes na camada de condução de um material metálico estão no estado de menor energia (fundamental), podemos chama-los de gás de Fermi e podem ser representados pela esfera de Fermi¹⁷, pois obedece a estatística de Fermi-Dirac. Quando em baixas temperaturas, esses elétrons conseguem efetuar uma interação atrativa líquida intermediada por um fônon¹⁸ de vibração. É um processo de atração indireta causada por uma deformação da rede cristalina que ocorre pela atração coulombiana.

O procedimento ocorre da seguinte maneira: um elétron ao passar em um determinado local da rede cristalina acaba por atrair (Lei de Coulomb) os íons presentes na vizinhança, causando assim, uma deformação que o segue.

¹⁷ Para saber mais sobre a Esfera de Fermi, ler OLIVEIRA e JESUS (2011, p. 58).

¹⁸ São excitações mecânicas elementares que se propagam pela rede cristalina do material. É considerado como o quantum de vibração de rede cristalina. (OLIVEIRA e JESUS, 2011, p. 171; ASHCROFT e MERMIN, 2011, p. 491; KITELL, 1978, p. 103; EISBERG e RESNICK, 1994, p. 506).

Essa deformação acaba por fazer um acúmulo de cargas positivas que consegue atrair outro elétron de momento igual mas em sentido oposto (e spin antiparalelo). Esse conjunto Elétron-Fônon-Elétron é chamado de Par de Cooper. Os Pares de Cooper só são formados quando o material está em baixa temperatura, quando o sistema se encontra energeticamente favorável no entanto, com o aumento da temperatura, as vibrações da rede ficam tão intensas que o conjunto facilmente se “quebra”, e dizemos que o material está no estado normal. Observe o esquema da Figura 3.13.

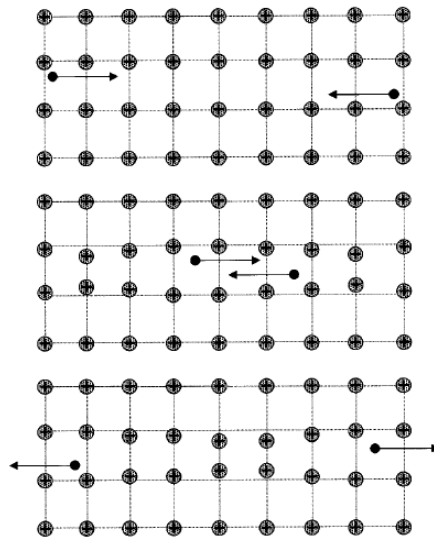


Figura 3.13. Inicialmente, dois elétrons com momentos opostos (e spins antiparalelos) circulam pela rede cristalina de um supercondutor. No entanto, pela atração dada pela Lei de Coulomb, a estrutura de rede se modifica e causa um acúmulo de cargas em um determinado ponto. Como cada elétron causa esse acúmulo e o mesmo se propaga pelo material, ocorre uma atração coulombiana tão grande que liga os dois elétrons.

(Fonte: Ostermann, 2005, p. 31. (Modificado))

A Teoria BCS mostra que é mais favorável para a formação de Pares de Cooper os elétrons que estão com momentos opostos e com spins antiparalelos. Podemos representar da seguinte maneira:

$$(K \uparrow, -K \downarrow)$$

Onde **K** é o momento do elétron e a **seta** é o spin do elétron.

Após um árduo trabalho matemático em Mecânica Quântica, é possível mostrar que a função de onda de um par de Cooper pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\Psi(r_1 - r_2) = \frac{1}{L^3} \cdot \sum_{\mathbf{K}} g(\mathbf{K}) \cdot e^{i[\mathbf{K}(r_1 - r_2)]}$$

Onde $|g(\mathbf{K})|^2$ é a probabilidade de encontrar o par de Cooper no estado $(\mathbf{K} \uparrow, -\mathbf{K} \downarrow)$.

(II) O gap de energia

O mais interessante da Teoria BCS é que ela mostra que todos os pares se encontram no mesmo estado de energia e para alcançar o próximo estado de energia (que sairia do estado supercondutor e transitaria para o estado normal do material) seria necessário percorrer um “gap” representado por Δ . Ou seja, entre o estado supercondutor e o estado normal, existe uma lacuna de energia. E isso explica muitos dos fenômenos observados nos supercondutores. A expressão Δ é:

$$\Delta(0) \approx 2 \cdot \hbar \cdot w_D \cdot e^{\frac{-1}{V_0 g(E_F)}}$$

Onde w_D é chamada de frequência de Debye, V_0 é a interação efetiva entre dois elétrons, E_F é a lacuna de energia¹⁹.

3.4.7 Outras considerações sobre supercondutividade

A supercondutividade possui várias outras características que não foram abordadas neste trabalho, como: (i) a prova da equação da temperatura crítica, do Efeito Meissner e do campo magnético crítico (dentre outras provas) pela Teoria BCS; (ii) as propriedades termoelétricas dos supercondutores; (iii) o

¹⁹ Para saber mais sobre a interação efetiva entre elétrons por meio de um fônon, ler OLIVEIRA e JESUS (2011, p. 291). Para o gap de energia: OLIVEIRA e JESUS (2011, p. 300).

estudo do calor específico dos supercondutores; (iv) como ocorre a atenuação acústica dentro de um supercondutor; (v) a Teoria de Ginzburg-Landau; (vi) a ideia de quantização do fluxo; (vii) o Efeito Josephson; dentre outras questões que são pertinentes ao assunto, mas que não foram tratadas nesta dissertação por não serem o seu foco principal²⁰.

²⁰ Todas as questões supracitadas (e as que tratamos nas seções) podem ser consultadas nas obras expostas no início do tópico.

Capítulo 4

Desenvolvimento da atividade

No presente capítulo, a atenção será voltada para o relato da aplicação das atividades propostas e para a instituição (e público alvo) onde ocorreu. A análise das respostas dos alunos será feita no Capítulo 5.

4.1 Local de aplicação

As atividades propostas foram aplicadas no Colégio Estadual General Osório localizado no bairro de Coelho Neto, onde atuo no ofício de minha função. A instituição funciona somente no período noturno²¹, é constituída somente por turmas de NEJA (Nova Educação para Jovens e Adultos) e possui aproximadamente 200 alunos. As turmas de NEJA são compostas por divisão em módulos e a classe em que foi aplicada a atividade foi a “Turma 03 do Módulo 4²²”, que possui 3 tempos de 50 minutos semanais dedicados à Física, e composta por 17 estudantes.

Vale ressaltar que as turmas de NEJA são basicamente constituídas de alunos que estão com idade superior a 40 anos e que estão afastados da sala de aula há muito tempo. Por consequência disso, inúmeras dificuldades de aprendizagem são apresentadas pelos aprendizes, como: na escrita, nas operações básicas da matemática, no raciocínio lógico. Além disso, a maioria dos estudantes possui atividade remunerada, que retira o tempo de dedicação ao estudo extraclasse juntamente com a atenção nas aulas, pois normalmente estão esgotados por causa do longo dia de trabalho. Tudo isso torna mais desafiador as aplicações das atividades, que abordam conceitos complexos e que necessitam muito da atenção e dedicação do aprendiz.

As atividades foram aplicadas à turma na seguinte ordem: a primeira etapa que trabalha o MAGLEV com enfoque no contexto social e ambiental, foi

²¹ Durante o dia, a instituição é utilizada pela Prefeitura do Rio de Janeiro para alunos do ensino fundamental, tornando o local uma instituição compartilhada.

²² O que seria equivalente ao 3º ano do ensino regular tradicional.

aplicada no segundo semestre de 2017 para 16 alunos. A segunda etapa foi aplicada na semana seguinte a primeira etapa, e nela foi apresentado um vídeo sobre o MAGLEV e se especula quais os fenômenos físicos que o aluno precisa saber e compreender para entender a causa da levitação. No mesmo dia, foi também aplicado o primeiro momento da terceira etapa, que aborda de maneira qualitativa a Lei de Ampère com um público de 8 aprendizes (por problemas de segurança no entorno da instituição, muitos alunos faltaram). A atividade que aborda qualitativamente a Lei de Faraday e a Lei de Lenz (segundo momento da terceira etapa) foi feita na semana posterior para 16 estudantes. Por fim, o terceiro e último momento da terceira etapa, que possui como foco a aplicação de toda a Física até aqui estudada (Efeito Meissner), foi realizado na outra semana para 15 estudantes. A explicação de cada atividade e o seu relato será exposto na seção seguinte.

4.2 As atividades em ação

As atividades aqui desenvolvidas possuem caráter investigativo com enfoque CTS. Tais práticas metodológicas já foram defendidas no início desta dissertação no Capítulo 2 (no entanto, durante as explicações das atividades realizadas em aula, serão feitas ligações com o que foi apresentado anteriormente).

Para entender as três Leis do Eletromagnetismo (Ampère, Faraday e Lenz), a prática com os alunos foi dividida em 3 etapas (Tabela 4.1):

Etapa/Tempo	Objetivo principal	Estratégia desenvolvida
Primeira / 1 aula de 1h40min	Contextualizar o trem supercondutor visando seus impactos no meio social e no meio ambiental.	Leitura de textos que abordam os pontos positivos e negativos dos veículos automotores juntamente com a

		exposição de algumas estratégias sustentáveis e a comparação com o trem supercondutor.
Segunda / 20min	Visualização do trem supercondutor.	Assistir a um vídeo sobre uma reportagem que fala sobre o trem supercondutor e especular quais os conceitos físicos necessários para compreender a causa de sua levitação.
Terceira / 3 aulas de 1h40min	Entender a Física envolvida na levitação do trem supercondutor.	Realizar 3 atividades com caráter investigativo que abordem a Lei de Ampère, a Lei de Faraday, a Lei de Lenz e o Efeito Meissner.

Tabela 4.1. Etapas de aplicação das atividades.

(Fonte: Autoria própria)

Cada etapa foi aplicada com o cuidado de manter o caráter investigativo²³, sempre levando o aluno a algum tipo de manipulação sobre alguma ferramenta didática (textos, vídeos e instrumentos de aparatos experimentais). Como defende (CARVALHO (Org.), 2016):

²³ As atividades que abordam a contextualização do trem e o Efeito Meissner não podem ser consideradas genuinamente investigativas (não possuem alguns pré-requisitos expostos no Capítulo 2), contudo, nos preocupamos em sempre trabalhar levando o aluno a refletir e questionar aquilo que está sendo lido e observado.

Deste modo o planejamento de uma sequência de ensino que tenha por objetivo levar o aluno a construir um dado conceito deve iniciar por atividades manipulativas. Nesses casos a questão, ou o problema, precisa incluir um experimento, um jogo ou mesmo um texto. E a passagem da ação manipulativa para a construção intelectual do conteúdo deve ser feita, agora com a ajuda do professor, quando este leva o aluno, por meio de uma série de pequenas questões a tomar consciência de como o problema foi resolvido e porque deu certo, ou seja, a partir de suas próprias ações. (p. 3).

Como foi possível perceber pela TABELA 4.1, o trabalho consiste em uma sequência de ensino investigativo (SEI) onde cada atividade (aula) abrange um tópico essencial do programa escolar.

Assim, para que se tenha uma SEI, é necessário alguns procedimentos chaves (CARVALHO (Org.), 2016): (i) um problema questionador deve ser proposto; (ii) a tentativa de resolução do problema por uma atividade manipulativa; (iii) a sistematização dos conhecimentos construídos pelos grupos de alunos e (iv) a conclusão do problema inicial através da escrita (registro das conclusões). Todos esses procedimentos estarão expostos nas etapas que se seguem.

4.2.1 Primeira etapa – A contextualização da tecnologia na sociedade e no meio ambiente

Como primeiro momento da SEI, o aluno se depara com as questões socioambientais a que o trem supercondutor está intimamente envolvido. Por ser um meio de locomoção urbano de massa que não emite gases poluentes nem ruído maléfico à audição humana, é de relevância considerável fazer tal abordagem, pois contribui para a formação científico-tecnológico do aprendiz. Para reforçar a afirmação, cito trecho do trabalho feito por Sierra et al. (2011) sobre a questão sociocientífica na educação de adultos, onde é exposto que essa educação leva o aprendiz a:

Ter consciência das implicações sociais, econômicas, políticas e ambientais de determinadas opções.
Desenvolver competências necessárias para avaliar suas escolhas.

Conhecer as melhores formas de influenciar as decisões políticas.

Possuir conhecimento e capacidades indispensáveis para compreender e analisar as informações sobre ciência e tecnologia divulgadas pela mídia. (p. 351).

Dessa forma, é proporcionado ao aluno não somente o conhecimento das leis Físicas envolvidas no trem em questão, mas o inserimos em uma dinâmica que contribui na sua formação crítica e reflexiva para com as tecnologias que emergem no nosso meio social, ou seja, contribui para a sua educação científico-tecnológica.

A classe foi dividida em 4 grupos de 4 alunos (Figura 4.1) e foram distribuídos três textos (vide Apêndice B). O primeiro é um trecho de um documento feito pelo Ministério do Meio Ambiente para conscientizar a população sobre a poluição do ar (e das estradas) pelos veículos automotores e valoriza as opções de locomoção mais sustentáveis, como um caminho para reduzir tal problema. O segundo texto foi uma reportagem feita no ano de 2016 que apresenta uma atitude sustentável que alguns servidores do Estado do Rio de Janeiro fizeram. Esse dois textos vão ao encontro da questão social e ambiental, levando o aprendiz a refletir sobre as tecnologias que estão profundamente inseridas no cotidiano da sociedade. O terceiro e último texto apresenta uma opção alternativa de meio de transporte, o trem supercondutor, ressaltando seus pontos mais relevantes.



Figura 4.1. Grupos da primeira etapa da SEI.

(Fonte: Autoria própria)

No fim de leitura de cada texto, os alunos responderam a algumas questões abertas. Durante o andamento da atividade, o professor circulou pelos grupos instigando os seus participantes com pequenos questionamentos que os levavam a refletir sobre os textos e suas respostas, além de excitar debates entre os mesmos para determinadas questões problemáticas.

No fim da leitura dos textos e das respostas às questões abertas, o professor iniciou um debate simulado com três grandes grupos: o primeiro deva defender a utilização do trem supercondutor na sociedade, o segundo deva defender o meio de transporte convencional (automotor) e o terceiro grupo atuava como um avaliador dos argumentos apresentados pelos grupos sendo juízes, escolhendo aquele grupo que foi mais consistente em seus argumentos. A atividade terminou com uma questão aberta que cada aluno teve que responder. O material que os alunos receberam nesta atividade está exposto no Apêndice B.

4.2.2 Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV

Vistas as questões sociais que a tecnologia em questão possui, é nessa atividade que o aluno observa pela primeira vez o trem MAGLEV-COBRA. Para tanto, foi apresentada uma reportagem feita no dia 14/03/2016 sobre a inauguração do trem no campus da UFRJ na Ilha do Fundão no programa Jornal Nacional pertencente a empresa Rede Globo de Televisão. O vídeo pode ser visto em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2016/03/ufri-desenvolve-trem-de-levitacao-magnetica.html> (Acessado em 08/02/2018).

Ao fim do vídeo, os alunos foram convidados a especular quais são os fenômenos físicos que eles acreditavam estar envolvidos na levitação do trem. O professor escreveu na lousa e questionou todas as sugestões dadas pelos alunos. No fim os estudantes tiveram que responder a duas perguntas que estão expostas no documento entregue a eles e que está apresentado no Apêndice B.

4.2.3 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV

A terceira etapa envolve os conceitos de Física na levitação do trem. Como já foi visto no Capítulo 3, quando o supercondutor é resfriado com o nitrogênio líquido na presença de um campo magnético externo (não forte o suficiente para quebrar o estado supercondutivo), surgem supercorrentes²⁴ (Lei de Faraday) na superfície do material que, por sua vez, induzem um campo magnético (Lei de Ampère) que é oposto ao campo magnético aplicado (Lei de Lenz), impedindo assim, a penetração desse campo magnético no interior do material.

Então, fica evidente que para o aluno entender o Efeito Meissner, será necessário, antes, entender a Lei de Ampère, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. Como esses fenômenos não são simples de entender, todas as etapas são apresentadas com uma atividade de investigação (já discutida e justificada no Capítulo 2).

Para tanto, essa etapa foi dividida em três momentos: (i) o **Primeiro momento** aborda o fenômeno da Lei de Ampère, onde o aluno é convidado a mapear o campo magnético produzido por uma corrente elétrica contínua que passa por um fio condutor; (ii) **Segundo momento** dedicado à Lei de Faraday e à Lei de Lenz através de um desafio dado à turma e, por fim, (iii) **Terceiro momento** que é reservado para a compreensão do Efeito Meissner (aplicação das leis ensinadas nos momentos anteriores) através de um vídeo que produzimos. O vídeo pode ser encontrado no link: <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>. Ressalto que o vídeo só será efetivamente eficiente se forem trabalhadas as etapas anteriores com a classe.

(I) Primeiro momento

Para que o aluno possa entender de maneira expressiva a Lei de Ampère, ele precisa saber o que é uma corrente elétrica, qual o significado de

²⁴ Lembrando que as supercorrentes são pares de Cooper, basicamente formados pela ligação efetiva entre dois elétrons com spin e momentos opostos, intermediados por um quantum de vibração, o fônon.

um campo magnético produzido por um ímã e o funcionamento de uma bússola. Com isso, a turma foi dividida em pequenos grupos de alunos (de preferência duplas), pois a atividade é basicamente manipulativa.

No dia em que foi aplicada a atividade, a comunidade que circunda a instituição estava com problemas de segurança, fazendo mais da metade da classe se ausentar²⁵, foram feitas somente 4 duplas. O kit experimental é composto por²⁶:

- Pilha tipo D de 1,5 V – 2 unidades
- Fio de cobre esmaltado de 0,32 mm de diâmetro – 50 cm
- Folha de papel A4 – 1 unidade
- Bússola de 15 mm de diâmetro – 1 unidade

O kit experimental utilizado na turma está exposto na Figura 4.2:

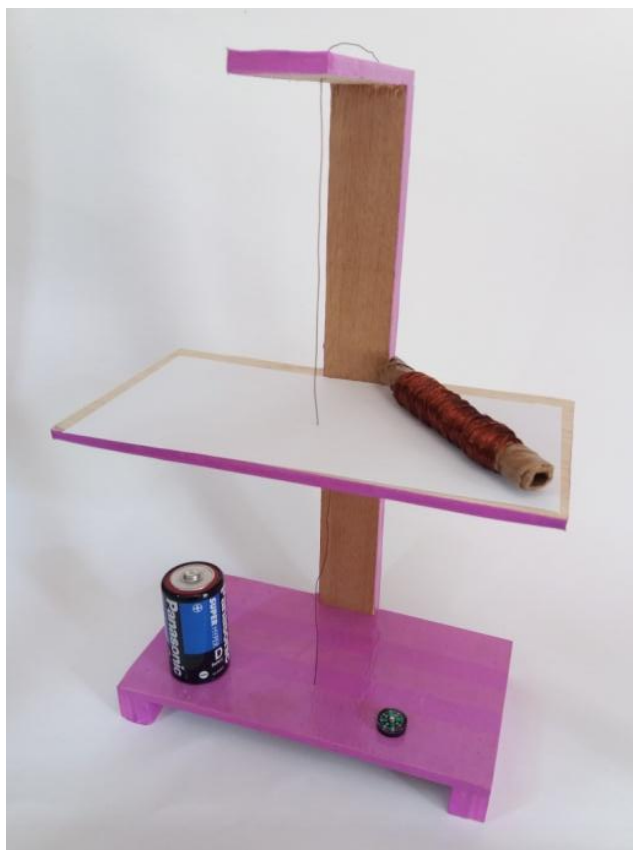


Figura 4.2. Kit experimental utilizado para a atividade da Lei de Ampère.

²⁵ Por conta disso a atividade não seguiu o modelo investigativo proposto no Apêndice A.

²⁶ Os preços dos componentes de todos os kits experimentais estão expostos no Apêndice A.

(Fonte: Autoria própria)

Os estudantes foram convidados a investigar o que ocorreu nas vizinhanças do fio condutor e, em seguida, o professor iniciou a atividade com o seguinte questionamento:

“Se aproximarmos a bússola do fio condutor, ocorrerá algum fenômeno?”

Com a resposta dos alunos, o professor pediu para que conectassem as pontas do fio condutor nos terminais da pilha e, em seguida, voltou a fazer a pergunta acima. Como neste caso a agulha irá se movimentar, os alunos ficaram intrigados com o que estava ocorrendo nas vizinhanças do fio. O professor pediu para que eles desenhassem na folha de papel a direção que a agulha da bússola apontava quando o fio estava ligado na pilha (Figuras 4.3 e 4.4).



Figura 4.3. Alunos fazendo a atividade da Lei de Ampère.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 4.4. Alunos fazendo a atividade da Lei de Ampère.

(Fonte: Autoria própria)

Os alunos fizeram o máximo de marcações possíveis. A Figura 4.5 abaixo é um exemplo ocorrido no dia em questão.



Figura 4.5. Desenho das linhas de campo magnético nas vizinhanças de um fio.

(Fonte: Autoria própria)

Durante o andamento da atividade o professor circulou pelos grupos realizando perguntas que os levassem a entender o que estava ocorrendo nas

vizinhanças do material condutor. Com o término da atividade, iniciou-se a tomada de consciência sobre o fenômeno observado.

O professor levou os alunos a entender o motivo da movimentação da agulha da bússola quando os fios estavam conectados nos terminais da fonte de tensão (pilha). No material do professor (Apêndice A), existem diversas perguntas que podem ser (e foram) feitas para levar os alunos a refletirem sobre a atividade realizada. Ao fim da discussão com o professor e entre os mesmos, espera-se que a Lei de Ampère seja entendida.

Com a Lei de Ampère exposta, os alunos responderam a um breve questionário (Apêndice B).

Na próxima etapa os aprendizes foram convidados a darem uma volta com o fio de cobre pela parte superior do aparato, como na Figura 4.6 abaixo:



Figura 4.6. Fio de cobre transpassando a folha de papel duas vezes.

(Fonte: Autoria própria)

Feito isso, eles voltaram a mapear o campo magnético, mas nas vizinhanças dos dois segmentos de fios. O objetivo dessa atividade é apresentar a superposição dos campos magnéticos provenientes de cada ramo do fio. Essa etapa foi mais rápida, pois eles já entendiam que existe um campo magnético circular no entorno do material transpassado pela corrente elétrica, então, quando eles finalizaram o mapeamento do campo (Figuras 4.7 e 4.8), o professor iniciou uma pequena discussão com os alunos para que conseguissem entender a ideia da superposição magnética.



Figura 4.7. Desenho 1 das linhas de campo magnético feito por uma espira.
(Fonte: Autoria própria)

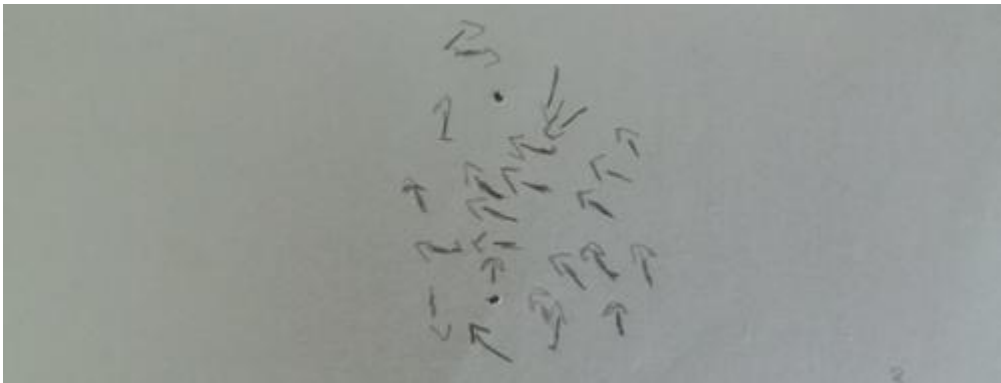


Figura 4.8. Desenho 2 das linhas de campo magnético feito por uma espira.
(Fonte: Autoria própria)

Com o entendimento da Lei de Ampère e com a ideia da superposição dos campos magnéticos, o professor lançou o seguinte questionamento:

“De quais maneiras é possível aumentar o campo magnético na posição entre os fios condutores?”

Aqui o objetivo é o entendimento do funcionamento de uma bobina tradicional. O professor acolheu todas as sugestões e levou os alunos a refletirem sobre estas. No dia da atividade, as respostas que apareceram de imediato foram: (i) aumentando o número de pilhas e (ii) aumentando o número de voltas do fio de cobre. Com isso, os alunos terminam a atividade

respondendo as últimas perguntas do questionário. Todo o material usado no dia está exposto no Apêndice A.

(II) Segundo momento

Esse momento foi dedicado à compreensão da Lei de Faraday e da Lei de Lenz. Como anteriormente, é uma atividade basicamente manipulativa, então, foi mais proveitoso ter a turma dividida em duplas para a sua realização. No dia em questão, foram feitos 4 duplas e 3 trios, pois não existia kit experimental para cada dupla. O kit experimental é composto de:

- Ímã de neodímio de ($2R = 13$; $h = 5$ mm) – 2 unidades
- Suporte de madeira ($20 \times 5 \times 5$ cm³) – 1 unidade
- Fio de cobre esmaltado de 0,32 mm de diâmetro – 1,5 metros
- Arame galvanizado de 1,65 mm de diâmetro – 50 cm
- Régua de plástico de 15 cm – 1 unidade
- Lixa de unha – 1 unidade

O kit experimental utilizado na turma está exposto na Figura 4.9:

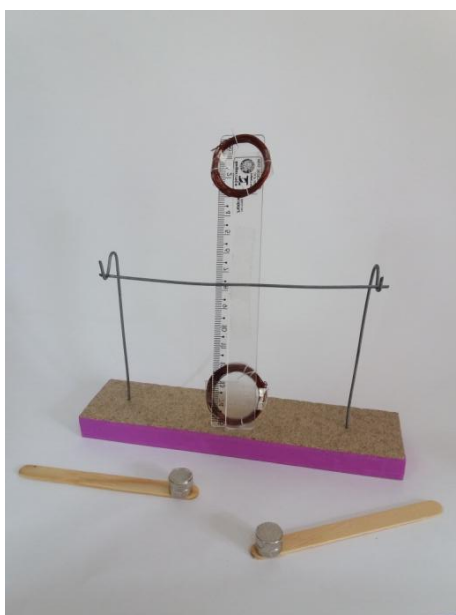


Figura 4.9. Kit experimental da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

(Fonte: Autoria própria)

A atividade começa com o professor fazendo o seguinte questionamento:

“É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?”

Após ouvir as especulações dos alunos e, como orientação inicial, o professor lançou a seguinte pergunta:

“Se aproximar e afastar esse pedaço de lixa de unha de uma das bobinas ocorrerá alguma coisa?”

O professor realizou a atividade para que todos pudessem observar. Como evidentemente nada ocorrerá, o professor voltou para a turma e perguntou:

“Se aproximar e afastar esses ímãs do centro de uma das bobinas ocorrerá alguma coisa?”

No entanto, quando o professor fez a demonstração, foi bem lentamente, para não haver deslocamento do aparato. Os alunos ficaram curiosos, pois era muito provável que eles imaginassem que o sistema iria se mexer por acreditar que o cobre seria atraído pelo ímã. Em seguida, o professor voltou a fazer o movimento com o ímã pelo centro da bobina, mas agora, rapidamente. Como ocorreu o deslocamento, o professor convidou os alunos a iniciarem a investigação acerca do fenômeno observado.

Essa é a etapa da atividade em que os alunos começaram a manipular os materiais para entender o que estava ocorrendo no sistema. O professor circulou pelos grupos para auxiliá-los no que precisavam e, além disso, fazia questionamentos aos alunos para levá-los a refletir sobre seus atos e incentivá-los a levantar hipóteses que explicariam o fenômeno observado.

Para proporcionar uma interação maior com a atividade, o professor lançou o seguinte desafio:

“Como fazer o sistema girar 360° com o auxílio de dois suportes com ímãs nas vizinhanças das bobinas simultaneamente?”

Esse desafio aumentou significativamente a curiosidade, por parte dos alunos, a entender como deve ser o movimento dos ímãs para fazer o sistema se deslocar, pois para completar o desafio os integrantes precisavam fazer movimentos coordenados com os materiais magnéticos.

Com o desafio concluído²⁷, o professor convidou cada grupo para dizer o que foi feito para tirar o sistema do equilíbrio. Com as ideias expostas, o professor iniciou uma discussão sobre os conceitos físicos envolvidos no fenômeno observado. No material do professor (Apêndice A), há vários questionamentos que devem ser feitos com o intuito de levar os alunos a refletir sobre a atividade realizada utilizando os conceitos físicos presentes no experimento.

No fim da discussão (que pode levar algum tempo!), os alunos responderam a um pequeno questionário. O material usado no dia da atividade está presente no Apêndice B.

(III) Terceiro momento

Com o aprendizado da Lei de Ampère, da Lei de Faraday e da Lei de Lenz, pode-se entrar na atividade que aborda diretamente a investigação do material supercondutor e, conseqüentemente, o Efeito Meissner.

Essa atividade foi realizada com o auxílio de um vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>) que produzimos com a colaboração do LADIF (Laboratório Didático do Instituto de Física) e do LBT (Laboratório de Baixas Temperaturas) na UFRJ. A atividade é constituída de duas partes: (i) a de investigar se o material supercondutor possui alguma característica visível em situações distintas e (ii) investigar a causa da levitação de um ímã sobre o supercondutor²⁸.

²⁷ Ou não, pois não é necessário que o grupo consiga realizar o desafio. O mais importante é entender como deve ser o movimento com os materiais magnéticos para que ocorra movimento no sistema.

²⁸ Os detalhes (roteiro e observações) do vídeo estão expostos no Apêndice A no item 2.2.3. Aqui, no entanto, vamos nos ater aos fatos que ocorreram no dia proposto.

Para a produção do vídeo, foram usados os seguintes materiais:

- Ímã de neodímio (2R = 13 mm; h = 5 mm) – 1 unidade
- Pedaco de madeira (4 x 2 x 2 cm³) – 1 unidade
- Pedaco de isopor (4 x 2 x 2 cm³) – 1 unidade
- Pedaco de ferro (2R = 1 cm; h = 8 cm) – 1 unidade
- Pedaco de plástico (4 x 2 x 2 cm³) – 1 unidade
- Supercondutor cerâmico (disco de 20 g) – 1 unidade
- Nitrogênio líquido – 1 litro
- Garrafa térmica de 600 ml – 1 unidade
- Pinça de plástico – 1 unidade
- Placa de petri – 1 unidade
- Caixa de isopor (5 x 3 x 5 cm³) – 1 unidade

Na primeira parte que era constituída aproximadamente dos primeiros quatro minutos de vídeo, o foco é somente na apresentação dos materiais (inclusive o supercondutor) que foram utilizados ao longo das cenas e o que poderia acontecer se os aproximássemos do supercondutor. As primeiras perguntas feitas aos alunos possuem caráter meramente visual sobre o supercondutor, como:

“É neste vídeo que aparece pela primeira vez o supercondutor. Antes de fazermos a investigação sobre suas propriedades, o que ele aparenta ser? Você acha que ele possui alguma propriedade especial?”

Em seguida, antes dos materiais se aproximarem do supercondutor, o professor estimulou os alunos com perguntas sobre o que ocorrerá se houver essa aproximação. Esse questionamento é interessante, pois é provável que os alunos acreditem que o supercondutor irá interagir com o ímã e com a barra de ferro, já que o supercondutor lembra um ímã de ferrite (pequeno e escuro). Desmistificado esse fato com a observação do vídeo, os alunos registraram suas conclusões até o momento.

No dia de aplicação, foram levados os materiais usados no vídeo para a sala de aula (Figura 4.10). Então, nesse momento foi ressaltado para os alunos que o supercondutor é um material cerâmico e, obviamente, não é um ímã de ferrite.



Figura 4.10. Materiais usados no vídeo sobre uma carteira escolar.

(Fonte: Autoria própria)

Com as primeiras observações feitas sobre o supercondutor, iniciaram-se os procedimentos para chegar à segunda parte do vídeo. O material começa a ser resfriado com nitrogênio líquido até o sistema entrar em equilíbrio térmico. Com isso, os materiais voltam a se aproximar do supercondutor para ver se algo de diferente acontece. Mais uma vez, esse é um momento propício para o professor levantar perguntas sobre o que ocorrerá na aproximação dos materiais do objeto em estudo (Figura 4.11).

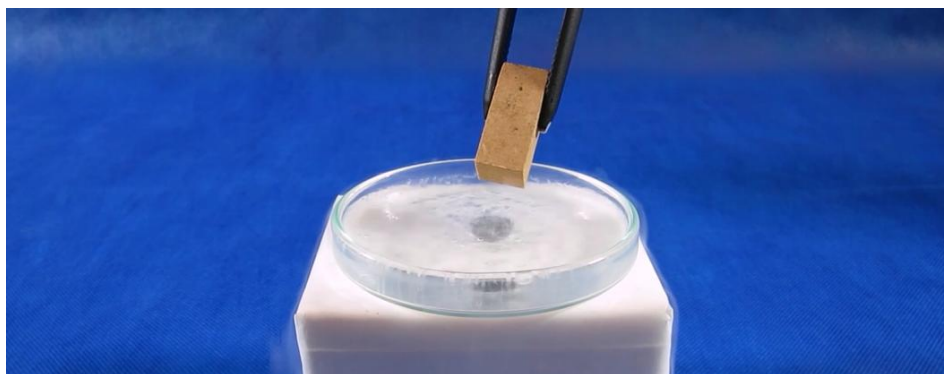


Figura 4.11. Madeira se aproximando do material supercondutor resfriado.

(Fonte: Autoria própria)

O objetivo principal desta etapa é a relação entre as propriedades magnéticas (já que o supercondutor só interagiu com o ímã) com a temperatura.

Agora, o vídeo oferece um procedimento diferente: além de resfriar o supercondutor e depois aproximar os materiais de suas vizinhanças, os materiais estarão presentes no momento em que sua temperatura é reduzida à temperatura do nitrogênio líquido.

Com o questionamento recorrente do professor sobre o que eles acreditam que pode ocorrer no sistema, o vídeo foi iniciado. No dia da aplicação, a maioria dos alunos acreditava que não iria ter diferença em relação ao visto anteriormente. Porém, não é o que ocorre.

As conclusões até o momento foram registradas no material que o aluno recebeu. Em seguida, o professor começou uma discussão de como eles explicariam esses fenômenos: o de repulsão do supercondutor com o ímã (ímã se aproximando do supercondutor resfriado) e a levitação do ímã sobre o supercondutor (ímã presente durante o resfriamento do supercondutor). Como auxílio, o professor escreveu na lousa as conclusões feitas nas atividades anteriores: Lei de Ampère, Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Essa é a parte da atividade que consumiu mais tempo, pois os alunos expressaram suas ideias e o professor os levou a refletir sobre suas próprias hipóteses, fazendo questionamentos pertinentes e até confrontando ideias anunciadas.

Após o fim da análise do vídeo (e da sequência de Atividades Investigativas), levamos os materiais usados no vídeo para a sala de aula com o intuito de realizar a experiência ao vivo. E assim ocorreu.

A atividade finalizou com o professor ressaltando tudo o que foi visto desde o primeiro dia de aplicação, reforçando o papel do trem supercondutor nos meios social e ambiental.

Capítulo 5

Análises dos resultados das Atividades Investigativas

No Capítulo 4 (Tópico 4.1) foi descrito que a atividade foi aplicada a apenas uma turma²⁹ (Turma 3 do Módulo 4) e que esta é constituída de 17 aprendizes. Nos dias de aplicação das atividades, como sempre teve ausência de algum aluno, o professor dividia a classe em quatro grupos (numerados de 1 a 4) formados, basicamente³⁰, de quatro membros cada. Em todas as atividades, foram realizadas as gravações das falas dos alunos com um aparelho de gravação de áudio que ficava sobre a mesa de cada grupo (um total de quatro gravadores de áudio por dia de aplicação) e que ficava em funcionamento do início ao fim das atividades, totalizando (aproximadamente) 22h³¹ de áudio nos quatro dias de aplicação. Porém, como o objetivo é fazer uma análise do aprendizado de um determinado grupo e a sua evolução ao longo das atividades, selecionamos o Grupo 3 para tanto, pois foi o grupo que mais se empenhou nas atividades desenvolvidas. Ressalto que todos os alunos (todos eram maiores de idade) assinaram um termo de autorização (Anexo A) que permite a utilização de sua voz e imagem.

Contudo, vale lembrar que é importante o ensino dos fenômenos físicos que estão presentes no dia a dia e nas tecnologias de nossos aprendizes, porém é necessário que ocorra a conscientização sobre as consequências e impactos que esses conhecimentos possuem na sociedade, ou seja, é imperativo que ocorra uma alfabetização científica dos alunos.

Então, para saber se as Atividades Investigativas aplicadas cumpriram com esses objetivos, a análise feita do Grupo 3 foi centrada nas suas respostas a determinadas perguntas (em um material impresso) e nas suas falas transcritas, onde foram utilizados os Indicadores de Alfabetização Científica, expostos no Tópico 2.7, como instrumento para tal objetivo.

²⁹ Que pertence ao professor autor da dissertação e as aplicações das atividades foram feitas no tempo de trabalho do professor com a turma.

³⁰ Como já foi mencionado no Tópico 4.1 e será explicado melhor mais adiante, no segundo dia de aplicação somente oito alunos compareceram à aula, pois a comunidade ao redor da instituição estava com problemas de segurança.

³¹ No qual, ouvimos tudo na íntegra.

Advirto que para a realização da análise das falas transcritas dos aprendizes do Grupo 3, foram feitos alguns recortes nos áudios. Contudo, toda contribuição relevante apresentada por algum aluno de outro grupo, foi incorporada na discussão.

5.1 Análise da Primeira Etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV

No Tópico 4.2.1 foi mencionado a ordem cronológica de como a atividade foi aplicada juntamente com a relevância da contextualização do tema em sala de aula. Aqui serão feitas duas observações: (i) uma breve análise das falas transcritas dos alunos do Grupo 3³² e (ii) das suas respostas dadas às perguntas no material impresso.

Inicialmente, o professor distribuiu para cada grupo os textos da atividade em questão e pediu para realizarem a sua leitura e, em seguida, responder às perguntas que vêm em sequência. Abaixo, está um recorte de algumas das falas dos alunos³³ referente ao primeiro texto (que trata da poluição que veículos automotores) no momento em que o professor convida a turma a expressarem suas opiniões sobre o tema³⁴.

Rodrigo: *Minha resposta foi essa: você contribui de alguma maneira para redução da poluição do ar? Sim. Ai eu coloquei o porquê: ao abastecer o veículo, procuro sempre postos credenciados e sempre mantenho as revisão em dia para que o mesmo tenha uma vida útil mais longa e diminuir a poluição do ar, pois tem que começar por mim...*

Diego: *Vamos parar pra pensar, quanto mais lixo reciclado mais saudável, pois melhor do que você queimar entendeu?... Pessoas que passam necessidades*

³² Sem usar os indicadores de alfabetização científica, pois não é neste tipo de atividade que se aplicam.

³³ Todas as transcrições desta dissertação estão de acordo com VIEIRA (2017).

³⁴ As falas não são sequenciais e os nomes dos participantes foram alterados com o intuito de preservar suas identidades.

teriam recurso a partir da reciclagem evitando a queima... Onde eu moro, até tem um pessoal que faz reciclagem, mas não adianta.

Mariana: *Eu tenho produtos químicos que exalam fumaça, eu trabalho com produtos de cabelo, eu sei que isso ajuda a poluir o ar, eu preciso de um produto que não contenha formol. Dessa forma eu acho que diminui a poluição... Precisamos de uma nova maneira de reciclagem, principalmente em comunidades.*

Foram transcritas três falas de alunos (que pertencem ao Grupo 3) onde cada um possui um foco diferente. O Rodrigo expressa sua resposta sobre a questão da poluição dos veículos automotores, no entanto, o debate levou os alunos da turma a adentrarem em outros problemas pertinentes da sociedade (falas de Diego e Mariana) e que estão intimamente associados ao tema, que é a questão da reciclagem³⁵. De fato, houve uma perda de atenção sobre o foco principal da atividade, no entanto, esse desvio apresenta as relações existentes entre os desafios que a sociedade contemporânea possui e enfrenta.

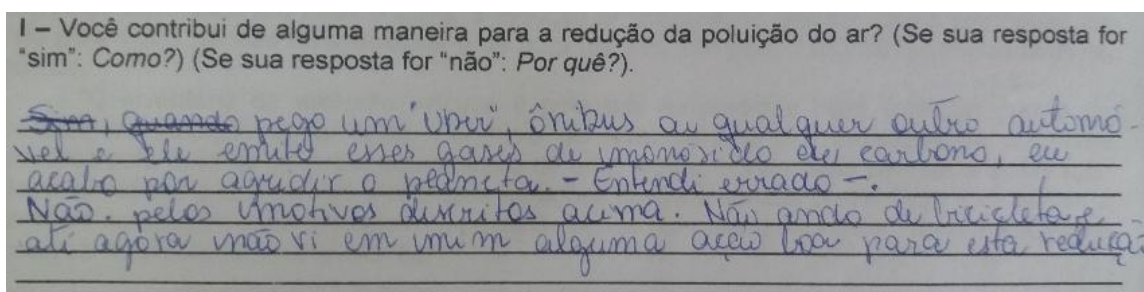
Ressalto aqui, o último comentário transcrito acima. A Mariana realiza uma relação entre a tecnologia que utiliza no seu trabalho com a questão da poluição da atmosfera e, em seguida, apresenta uma preocupação com a maneira mais sustentável (e adequada) de realizar suas obrigações diárias. É esse tipo de discussão que leva o aprendiz a uma alfabetização científica e que foi trabalhado no Capítulo 2 (Tópico 2.2). O aprendiz que é alfabetizado cientificamente adquire habilidade e valores, levando-o a tomar decisões críticas sobre a criação e utilização de certas tecnologias no meio social sem se desvincular dos impactos que estas possuem no meio ambiente. Esse é o objetivo principal da Educação de CTS. De acordo com Santos e Mortimer (2002):

O objetivo central da educação de CTS no ensino médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões

³⁵ Do ponto de vista da sustentabilidade.

responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões. (p. 144)

Como já foi mencionado, durante a leitura do texto, os alunos tinham que responder a duas questões abertas que se encontravam no material impresso. Tais exemplos de respostas³⁶ estão presentes nas Figuras 5.1 (Quadro 5.1) e 5.2 (Quadro 5.2).

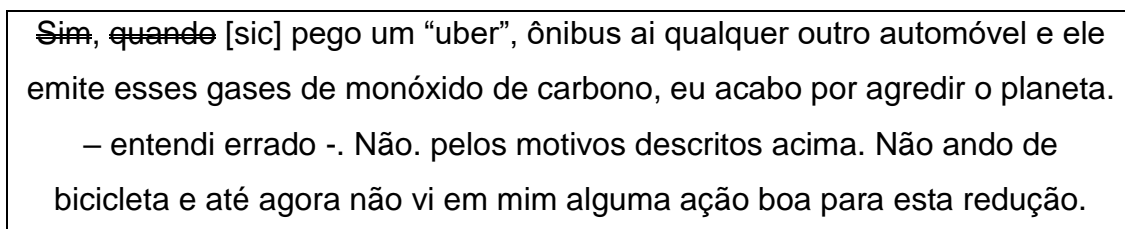


I – Você contribui de alguma maneira para a redução da poluição do ar? (Se sua resposta for "sim": Como?) (Se sua resposta for "não": Por quê?).

Sim, quando pego um "uber", ônibus ou qualquer outro automóvel e ele emite esses gases de monóxido de carbono, eu acabo por agredir o planeta. - Entendi errado -
Não, pelos motivos descritos acima. Não ando de bicicleta e até agora não vi em mim alguma ação boa para esta redução.

Figura 5.1. Resposta dada pela Mariana para a primeira questão do Texto 1.

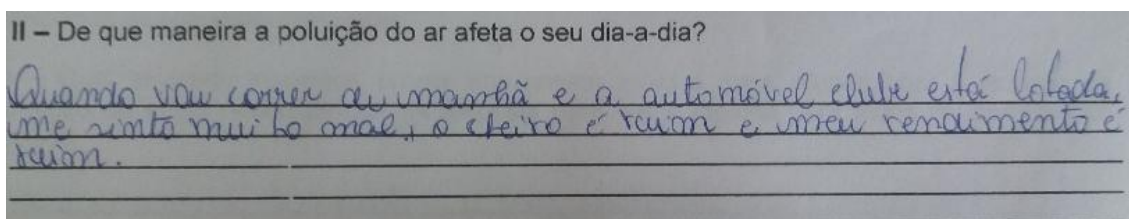
(Fonte: Autoria própria)



Sim, quando [sic] pego um "uber", ônibus ai qualquer outro automóvel e ele emite esses gases de monóxido de carbono, eu acabo por agredir o planeta.
- entendi errado -. Não, pelos motivos descritos acima. Não ando de bicicleta e até agora não vi em mim alguma ação boa para esta redução.

Quadro 5.1. Transcrição da resposta dada pela Mariana para a primeira questão do Texto 1.

(Fonte: Autoria própria)



II – De que maneira a poluição do ar afeta o seu dia-a-dia?

Quando vou correr de manhã e o automóvel chupa esta fofoca, me sinto muito mal, o cheiro é ruim e meu rendimento é ruim.

Figura 5.2. Resposta dada pela Mariana para a segunda questão do Texto 1.

(Fonte: Autoria própria)

³⁶ Foi feita a transcrição das respostas dos alunos nos quadros que se seguem com o intuito de facilitar a sua leitura.

Quando vou correr de manhã e a automóvel clube está lotada, me sinto muito mal, o cheiro é ruim e meu rendimento é ruim.

Quadro 5.2. Transcrição da resposta dada pela Mariana para a segunda questão do Texto 1.

(Fonte: Autoria própria)

Note que na tentativa de responder à primeira questão, equivocadamente, o estudante anuncia que os veículos automotores são o seu meio de transporte principal e que estes são essenciais para o seu cotidiano, contudo, revela ter se conscientizado que não contribui para a redução dos impactos que essa tecnologia (tão eficaz para sua vida) causa ao meio social e ambiental (Figura 5.1). Em seguida (Figura 5.2), a estudante exibe como esta tecnologia afeta o seu dia a dia. Reafirmando assim, a importância que a Educação em CTS possui na educação básica.

Com a leitura do primeiro texto, os alunos são convidados a partir para o segundo texto que relata uma atividade sustentável realizada em 2016 por alguns servidores do Rio de Janeiro e, em seguida, responder a duas questões abertas. Abaixo, está outro pequeno recorte das falas dos alunos no momento em que eles estão tentando responder a primeira e a segunda questões do segundo texto presente no material impresso.

Diego: *Propor uma conscientização em massa, trabalhar com a mídia e com o Estado. Construir uma reciclagem evoluída onde a separação do lixo que funcione.*

Diego: *Conscientizar os membros da família sobre a importância disso. Principalmente as crianças, pois elas são hoje em dia o espelho dos pais.*

Carla: *Sobre a importância de cuidar do nosso planeta: fazer reciclagem, diminuir a emissão de gás, essas coisas.*

Nota-se a importância dada à atitude de conscientização coletiva como forma de contribuição para a questão preservação do meio ambiente.

Por fim, a atividade termina com a leitura do texto que fala sobre o MAGLEV (respondendo a uma questão aberta) juntamente com um debate simulado entre os grupos. Abaixo, está uma das respostas dadas por um dos integrantes do grupo analisado (Mariana) com a de um aprendiz de outro grupo que discordava da sua opinião (Figuras 5.3 e 5.4 com os Quadros 5.3 e 5.4):

VI – Você concorda a utilização do trem MAGLEV na nossa sociedade? Justifique sua resposta.

Sim, pela diminuição dos gases poluentes, o custo, e a implantação da tecnologia em nosso país. Essa avançaria em muito em um futuro próximo, pois hoje não temos educação suficiente, mas entanto, o trabalho começa agora.

Figura 5.3. Resposta dada pela Mariana à última pergunta da atividade.

(Fonte: Autoria própria)

Sim, pela diminuição dos gases poluentes, o custo, e a implantação da tecnologia em nosso país. Essa avançaria em muito em um futuro próximo. Pois hoje não temos evolução suficiente, no entanto, o trabalho começa agora.

Quadro 5.3. Transcrição da resposta dada pela Mariana à última questão da atividade.

(Fonte: Autoria própria)

VI – Você concorda a utilização do trem MAGLEV na nossa sociedade? Justifique sua resposta.

~~de~~ Ainda não. Nessa sociedade ainda tem que dar muita conscientização para uma evolução na área de transporte, no futuro sim.

Figura 5.4. Resposta dada por um aprendiz de outro grupo à última pergunta da atividade.

(Fonte: Autoria própria)

Ainda não. Nossa sociedade ainda tem que ser muito conscientizada para essa evolução na área de transporte, no futuro sim.

Quadro 5.4. Transcrição da resposta dada por um aprendiz de outro grupo à última pergunta da atividade.

(Fonte: Autoria própria)

Com tudo que foi discutido até então e com as características presentes na tecnologia em debate, as respostas expressas nas Figuras 5.3 e 5.4 (ou nos respectivos quadros), revelam a necessidade de discutir se é viável a ampliação do MAGLEV no nosso meio, pois esta possui impactos (sociais e ambientais) que não podem ser ignorados.

5.2 Análise da Segunda Etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV

Na primeira etapa, os alunos debateram sobre os impactos que a tecnologia possui na sociedade e no meio ambiente. No entanto, é na segunda etapa que os alunos tiveram os primeiros contatos visuais com a tecnologia estudada. O professor iniciou a atividade apresentando um vídeo que mostrava os primeiros momentos de utilização do trem supercondutor no campus da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) na Ilha do Fundão. Com isso, os alunos foram convidados a responder a uma determinada questão (Figura 5.5, transcrita no Quadro 5.5):

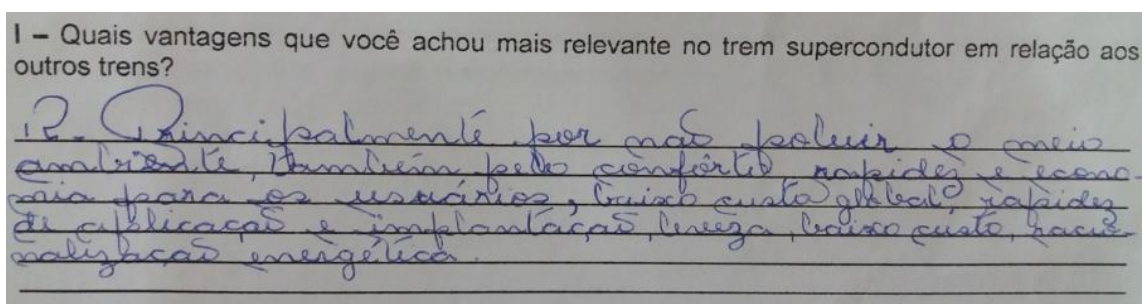


Figura 5.5. Resposta dada por Rodrigo.

(Fonte: Autoria própria)

R. Principalmente por não poluir o meio ambiente, também pelo conforto, rapidez e economia para os usuários, baixo custo global, rapidez de aplicação e implantação, leveza, baixo custo, racionalização energética.

Quadro 5.5. Transcrição da resposta dada por Rodrigo.
(Fonte: Autoria própria)

Vale salientar, que os objetivos desta etapa são a apresentação (visual) do trem supercondutor aos alunos, relembrar o que foi discutido na primeira etapa e selecionar os tópicos de Física que são essenciais para alcançar o entendimento por trás da levitação supercondutora (Figura 5.6, transcrito em Quadro 5.6).

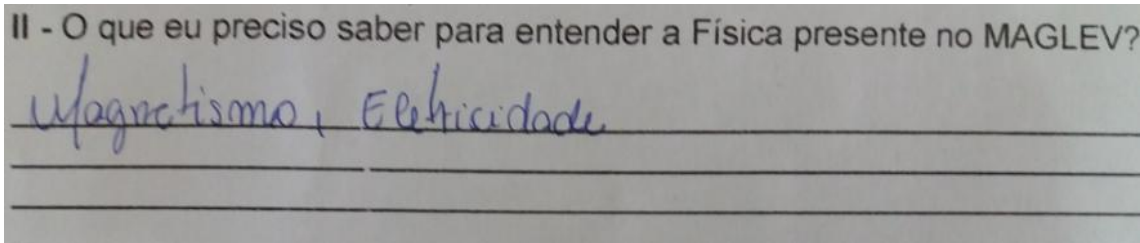


Figura 5.6. Resposta dada por Mariana.
(Fonte: Autoria própria)

Magnetismo, Eletricidade

Quadro 5.6. Transcrição da resposta dada por Mariana.
(Fonte: Autoria própria)

Após as respostas dos alunos, o professor ressaltou com a turma que, para entender (qualitativamente) os fenômenos físicos envolvidos na levitação em questão, era necessário saber os conceitos básicos de eletricidade (fonte de tensão, corrente elétrica) e de magnetismo (campo magnético, funcionamento de uma bússola) e que de agora em diante, as atividades possuirão como foco a aprendizagem de leis do eletromagnetismo que estão envolvidas na levitação supercondutora.

5.3 Análise da Terceira Etapa – A Física envolvida no MAGLEV

Para uma melhor análise dos discursos feitos pelos alunos nesta etapa, a análise será dividida em três blocos, organizados na Tabela 5.1 abaixo:

Bloco	Atividade proposta
I	Lei de Ampère
II	Lei de Faraday e Lei de Lenz
III	Efeito Meissner

Tabela 5.1. Blocos das atividades desenvolvidas.

(Fonte: Autoria própria)

5.3.1 Bloco I – Lei de Ampère

Neste primeiro bloco, os objetivos principais são a observação e o entendimento do campo magnético induzido por uma corrente elétrica contínua em um fio de cobre retilíneo (Lei de Ampère). Contudo, a atividade desenvolvida se deu em três momentos com objetivos bem distintos (Tabela 5.2):

Estrutura do Bloco I		
Momentos	Objetivos	Tipo de análise realizada
Primeiro	Mapeamento do campo magnético em uma folha de papel perpendicular ao fio condutor.	Análise através das respostas dadas pelos alunos.
Segundo	Mapear o campo magnético gerado por dois segmentos de fios paralelos (o mesmo fio, só que dobrado) que	

	transpassam uma folha de papel perpendicular a ambos.	
Terceiro	Resolução de um desafio lançado pelo professor à turma.	

Tabela 5.2. Momentos do Bloco I.

(Fonte: Autoria própria)

Como foi ressaltado no Capítulo 4, no dia em questão a comunidade que circunda a instituição (na qual a atividade foi aplicada) estava com problemas de segurança, então mais da metade da classe não compareceu à atividade e os que ousaram ir estavam apreensivos com o horário de retorno para seus lares, causando assim uma perda constante de atenção na atividade proposta. Com isso, não se pode falar que houve uma atividade genuinamente investigativa, pois os estudantes estavam visivelmente apreensivos com o problema de retorno para seus lares³⁷, e como uma atividade de investigação consome tempo considerável, o professor utilizou outra estratégia³⁸. Então, no fim do primeiro momento, o professor reuniu os alunos em um grande grupo (depois que eles tinham feito a atividade em seus grupos) para discutir sobre os fenômenos físicos envolvidos no experimento.

(I) Primeiro momento – Lei de Ampère

No primeiro momento, após discussões entre alunos e com o professor sobre os devidos procedimentos para a realização do experimento, o professor dá início à atividade proposta. Os alunos foram orientados a mapearem o campo magnético em torno do fio condutor conforme orientado no Material do Professor (Apêndice A). No fim, o professor convidou a turma a tomar consciência sobre os conceitos de Física envolvidos na atividade através de uma discussão.

³⁷ Muitos deles informaram que dependendo do horário, teriam dificuldades de voltar para suas residências.

³⁸ Como consequência, não foi possível fazer uma análise das falas dos alunos usando os indicadores de alfabetização científica.

O professor inicia a discussão perguntando a causa do deslocamento do ponteiro da bússola no momento que os fios são conectados aos terminais das pilhas. De fato, no dia em questão, diversas respostas foram anunciadas por diversos alunos de todos os grupos. O professor através de perguntas tentou levar a turma à tomada de consciência sobre suas próprias ações. Com o objetivo de avaliar o Grupo 3, segue a fala transcrita na íntegra da aluna Mariana respondendo à pergunta em questão:

Mariana: *Então esse movimento a energia dos elétrons organizados forma uma energia magnética, alguma coisa ligada a isso?...³⁹ Quando a gente conecta a pilha nos fios, os elétrons se organizam e essa organização deles, lembra que vimos no desenho que eles geram uma energia? E isso gera algum campo magnético ou alguma coisa do tipo.*

Essa atividade não possuiu caráter de investigativo, pois (como foi visto no Capítulo 2) uma Atividade Investigativa deve ter um “problema inicial” e os alunos devem investigar a solução deste problema através do experimento proposto pelo professor. Contudo, pelas orientações dadas pelo Material do Professor, nota-se o potencial investigativo que o experimento possui, pois com o que eles realizaram no experimento e com as perguntas do professor durante o debate, a Lei de Ampère foi enunciada pela aluna analisada⁴⁰.

Em seguida, o professor convida os alunos a registrar suas conclusões em um material à parte (Apêndice B). Um dos registros (desenho) feitos por um dos grupos de alunos foi exposto anteriormente na Figura 4.5 do Tópico 4.2.3. Já uma das respostas dadas sobre o significado do desenho feito, está na Figura 5.7 (ou no Quadro 5.7) abaixo:

³⁹ Nesse intervalo, o professor chamou a atenção da turma para ouvir a resposta da Mariana.

⁴⁰ O professor informa (e escreve na lousa) que o fenômeno físico que estava sendo anunciado se chamava de Lei de Ampère.

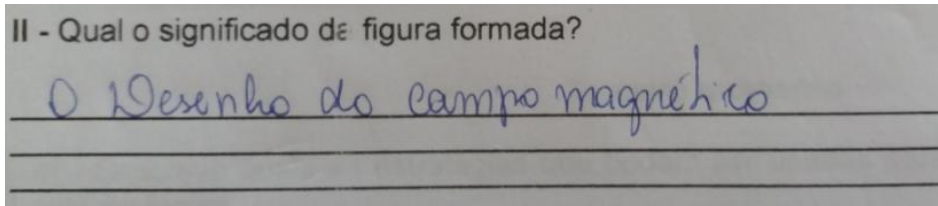


Figura 5.7. Resposta dada pela Mariana sobre o desenho formado no papel.
(Fonte: Autoria própria)

O desenho do campo magnético

Quadro 5.7. Transcrição da resposta dada pela Mariana sobre o desenho formado no papel.
(Fonte: Autoria própria)

Sobre a conclusão do Grupo 3 sobre o experimento (Figura 5.8 - Quadro 5.8):

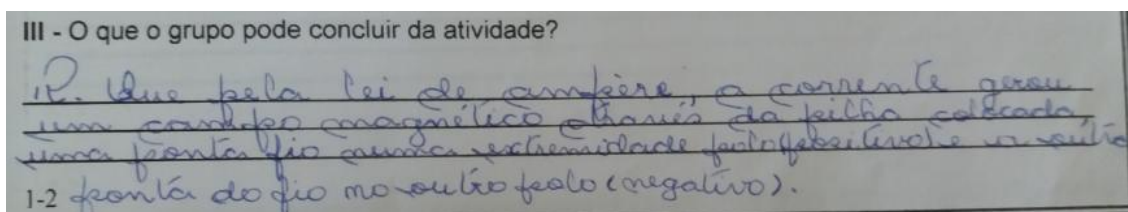


Figura 5.8. Resposta dada pelo Grupo 3 sobre a conclusão da atividade. Quem escreveu a conclusão foi o aluno Rodrigo.
(Fonte: Autoria própria)

R. Que pela lei de ampère, a corrente gerou um campo magnético através da pilha colocada, uma ponta fio numa extremidade polo (positivo) e a outra ponta do fio no outro polo (negativo).

Quadro 5.8. Transcrição da resposta dada pelo Grupo 3 sobre a conclusão da atividade. Quem escreveu a conclusão foi o aluno Rodrigo.
(Fonte: Autoria própria)

(II) Segundo momento – Lei de Ampère

Com o conhecimento da Lei de Ampère, o restante da atividade levou menos tempo. O segundo momento do Bloco I é dedicado ao aprendizado da superposição de campos magnéticos gerados por uma corrente elétrica que passa por um fio condutor. Então os alunos foram convidados a realizar uma dobra no fio de cobre e mapear o campo magnético, realizando os mesmos passos feitos no primeiro momento. Em seguida, os alunos colocaram suas conclusões no material do aluno.

Na Figura 5.9 está o mapeamento feito pelos alunos do Grupo 3. Já nas Figuras 5.10 e 5.11 está a explicação do fenômeno de dois membros do grupo com as respectivas transcrições nos Quadros 5.10 e 5.11.

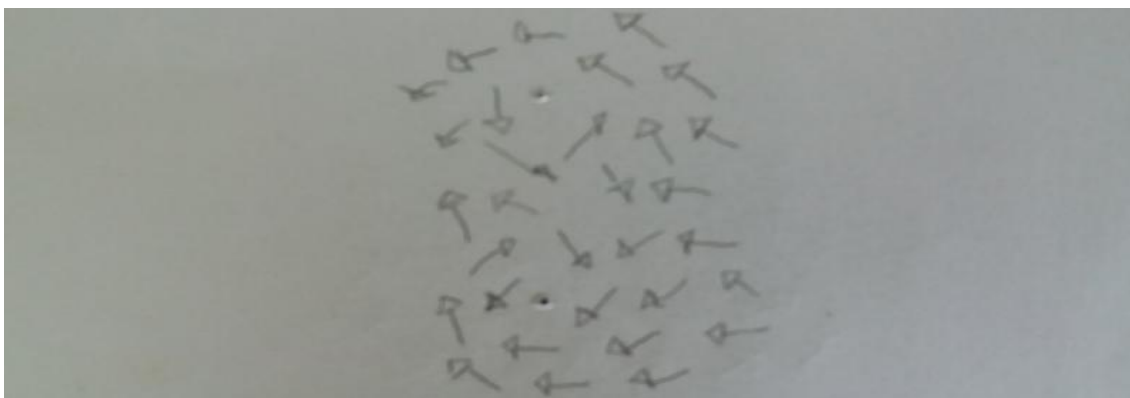


Figura 5.9. Desenho das linhas de campo magnético nas vizinhanças de um fio passa pelo furo inferior e volta pelo furo superior do papel.

(Fonte: Autoria própria)

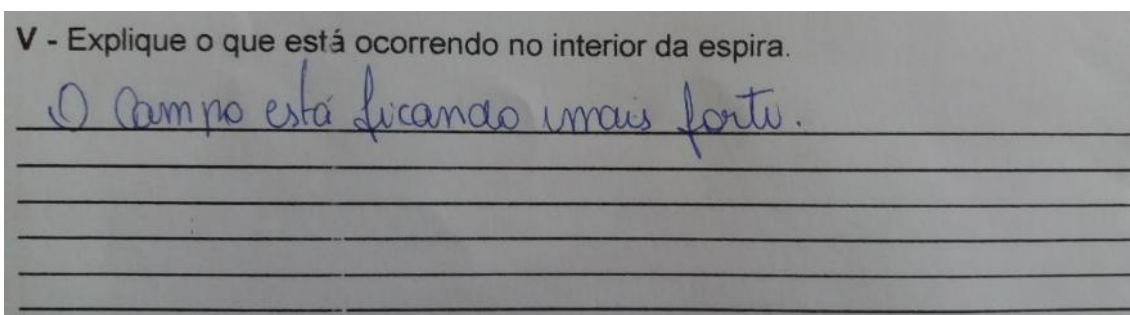


Figura 5.10. Resposta dada pela Mariana sobre o que está ocorrendo no centro da espira.

(Fonte: Autoria própria)

O campo está ficando mais forte.

Quadro 5.10. Transcrição da resposta dada pela Mariana sobre o que está ocorrendo no centro da espira.

(Fonte: Autoria própria)

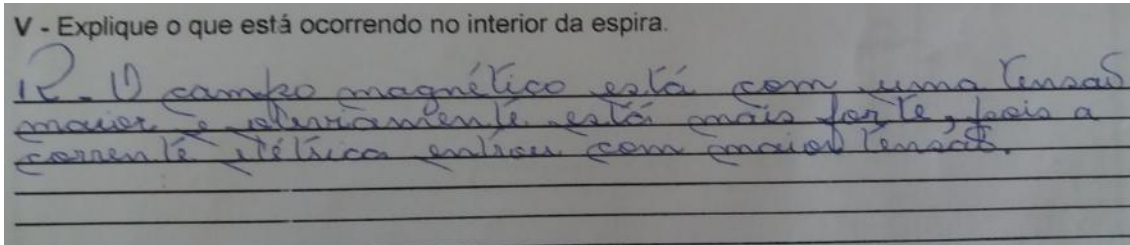


Figura 5.11. Resposta dada pelo Rodrigo sobre o que está ocorrendo no centro da espira.

(Fonte: Autoria própria)

R. O campo magnético está com uma tensão maior e obviamente está mais forte, pois a corrente elétrica entrou com maior tensão.

Quadro 5.11. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo sobre o que está ocorrendo no centro da espira.

(Fonte: Autoria própria)

Nota-se pelo mapeamento feito pelos alunos que os campos magnéticos se somam entre os fios de cobre. A Figura 5.10 apresenta uma conclusão que leva a esse fato, mas não deixa explícita a soma do campo magnético. No entanto, na Figura 5.11 se vê uma tentativa de explicação mais ousada por parte do aluno. O aprendiz usa de maneira equivocada o termo “tensão”, mas fica nítida a relação que é feita entre a intensidade do campo magnético com a intensidade da corrente elétrica. Durante a atividade, o professor circulou pelos grupos e a maioria dos alunos conseguiram chegar a ideias semelhantes a esta apresentada. No fim do Segundo momento, o professor anunciou para a turma que o campo fica mais intenso no centro da espira por causa da superposição de campos magnéticos provenientes de cada segmento de fio.

(III) Terceiro momento – Lei de Ampère

Por fim, o professor lança um desafio à turma e pede para que eles testem suas hipóteses no material experimental e registrem suas conclusões no material do aluno. O desafio consistia em descobrir como aumentar o campo magnético no centro da espira. Nas Figuras 5.12 e 5.13 abaixo estão alguns exemplos de respostas:

VII - Descreve a "melhor" maneira de resolver o problema proposto e explique o critério de você ter considerado como sendo a "melhor" maneira de resolver o enigma.

*Passar o fio de cobre por várias vezes no equipamento.
Porque assim a energia do campo vai aumentar.*

Figura 5.12. Resposta dada pela Mariana sobre o desafio do professor.

(Fonte: Autoria própria)

Passar o fio de cobre por várias vezes no equipamento. Porque assim a energia do campo vai aumentar.

Quadro 5.12. Transcrição da resposta dada pela Mariana sobre o desafio do professor.

(Fonte: Autoria própria)

5) Com o intuito de aumentar o campo magnético no centro da espira, o que poderia ser feito?

R. Colocar mais tensão, ou seja mais pilhas.

Figura 5.13. Resposta dada pelo Rodrigo sobre o desafio do professor.

(Fonte: Autoria própria)

R. Colocar mais tensão, ou seja mais pilhas.

Quadro 5.13. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo sobre o desafio do professor.

(Fonte: Autoria própria)

Na Figura 5.12 fica clara a ideia da utilização da bobina de cobre, quando o aluno sugere que se dê mais voltas com o material condutor com o

intuito de ocorrer a superposição dos campos. Já na Figura 5.13, o aluno propõe uma opção alternativa, que é o aumento do número de pilhas no sistema.

5.3.2 Bloco II – Lei de Faraday e Lei de Lenz

Esse bloco se dedica à análise das falas transcritas dos alunos durante a busca da solução de um enigma lançado pelo professor. O professor iniciou a atividade distribuindo o material experimental e o material do aluno (vide Apêndice A e Apêndice B). Após realizar todas as orientações e recomendações dadas pelo Material do Professor, o mesmo lança o seguinte problema à turma:

“É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?”

Então, os alunos iniciam a busca da solução do problema através do entendimento do efeito observado no aparato experimental dado. Durante a execução da Atividade Investigativa, o professor circulou por todos os grupos realizando perguntas com o intuito de gerar reflexões nos alunos sobre a atividade em questão. Abaixo, está um pequeno recorte (Tabela 5.3) da discussão realizada em sala pelos alunos do Grupo 3 juntamente com os indicadores expressos no Tópico 2.7.

Turno⁴¹	Falas transcritas	Indicadores	Comentários
71	Rodrigo: ... olha só, olha só. Tira. Faz de novo. Quando você aproxima o campo magnético, o que acontece, olha bem. Aproximou o campo magnético... Ele pára.	Organização de informação	O Rodrigo chama a atenção do grupo e mostra o efeito que aparece quando ele aproxima o

⁴¹ O turno 71 é referente ao instante 00:17:33 do tempo total da atividade.

			ímã da bobina para todos os integrantes do grupo.
72	Carla: Ele empurra.		
73	Rodrigo: É empurra.		
74	Rodrigo: ... não, não, não... é paradinho, paradinho... não precisa balançar não, faz só assim ó.	Organização de informação	Rodrigo está ajudando a arrumar o aparato experimental para voltar a executá-lo para o grupo observar. Em seguida, toma a iniciativa e começa a explicar para a Beatriz os procedimentos que ela deve tomar para conseguir realizar o efeito e observar o fenômeno.
75	Beatriz: Ah, ele empurra... Ele tipo que empurra né?	Levantamento de hipótese	
76	Rodrigo: É.		
77	Beatriz: Mas se for ao contrário? Ele... ele empurra.	Teste de hipótese	A Beatriz realiza o experimento.
78	Rodrigo: É... que estranho!		
79	Carla: Como assim? De um lado é atração e do outro lado é repulsão?	Levantamento de hipótese	

80	Diego: É porque quando for saindo, de um lado ela repele e do outro ela empurra.	Explicação	Quase inaudível.
81	Beatriz: Mas os dois é arame. Arame não gruda com o ímã.	Explicação	
82	Rodrigo: É... arame não gruda. Cobre não gruda com o ímã.	Explicação	
83	Beatriz: Esse daqui é tipo vai... vai ó... ele vem para pô ímã... esse aqui não.		A Beatriz mostra manuseando os ímãs que só ocorre atração magnética entre o ímã com o ferro da armação do aparato, mas não com o cobre.
84	Beatriz: Tá vendo? Esse daqui já vai para cima do ímã. Ó. Tá vendo?	Teste de hipótese	Em seguida, faz o experimento para a Carla observar.
85	Carla: É atração e repulsão! No caso então, um lado seria norte e o outro lado seria sul. Ele entra e sai... Então Rodrigo, a corrente elétrica... o campo magnético gera uma corrente elétrica. Assim ó, entra no norte e sai no sul. Por que um lado tem atração e o outro lado tem repulsão... É como se o elétron estivesse circulando... Aqui repele e aqui atrai. Aqui repele e aqui atrai.	Explicação, Raciocínio lógico, Organização de informação	
86	Carla: ... O que acontece se colocar os dois? E se colocar os dois ímãs?... A mesma coisa, sendo que você parece que a velocidade é um pouco maior. O campo magnético fica mais forte.	Teste de hipótese, Explicação	Após dar a explicação, Carla tenta experimentar sua hipótese e chega a uma conclusão.
97	Rodrigo: Quando aproximamos ele faz assim, ele balança, quando fazemos com ele	Explicação, Organização	Os alunos começam a

	parado, ao contrário, ele para.	de informação	discutir sobre o efeito observado até que Rodrigo chama o professor para expor sua ideia e mostrar o efeito.
98	Professor: É como se ele tivesse freando, tem uma explicação pra isso?		
99	Carla: Eu falei para o Rodrigo. É como se o lado repelisse e o outro atraísse e os elétrons ficassem circulando constantemente.	Explicação, Raciocínio lógico, Organização de informação	
100	Professor: Esse lado de atração e o lado de repulsão, que momento você repara isso?		
101 ⁴²	Carla: Porque quando a gente coloca desse lado ele tipo que foge, já do outro lado ele vai de encontro ao ímã.	Explicação	

Tabela 5.3. Transcrição das falas dos alunos do Grupo 3 na busca da resposta do problema proposto.

(Fonte: Autoria própria)

Feita a análise acima, nota-se em diversos momentos da discussão a presença de indicadores de princípios de ocorrência de alfabetização científica nas falas dos alunos. Ressaltando as ideias propostas no Tópico 2.7.

Na discussão acima, aparentemente os alunos perderam um pouco o foco da busca da resposta do problema inicial lançado pelo professor no início da atividade, porém a investigação sobre o fenômeno observado no experimento ficou claro na transcrição de suas falas. Notou-se também que a Lei de Faraday foi parcialmente enunciada, onde o equívoco do estudante está na afirmação “... o campo magnético gera...”, e o correto seria “... a variação do fluxo do campo magnético gera...”. Já a Lei de Lenz não foi tacitamente

⁴² O turno 101 é referente ao instante 00:25:50 do tempo total da atividade.

enunciada. De fato, os alunos constataram em vários momentos a relação de atração e repulsão usando uma analogia com as interações magnéticas entre dois ímãs (norte e sul), no entanto, assim como no caso da Lei de Faraday, para que a Lei de Lenz seja devidamente alcançada é necessário constatar que a variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica que, por sua vez, gera um campo magnético que se opõe à variação do fluxo magnético externo.

Durante o andamento da atividade, os alunos tinham que registrar suas conclusões em um material impresso e entregue para cada grupo. Foi neste momento que eles retornaram a atenção para a pergunta inicial e fizeram a ligação do que foi observado. Nas Figuras 5.14 e 5.15 (com os respectivos Quadros 5.14 e 5.15), está a conclusão de um aluno do Grupo 3 sobre a causa dos movimentos das bobinas e a resposta do grupo sobre o problema proposto inicialmente:

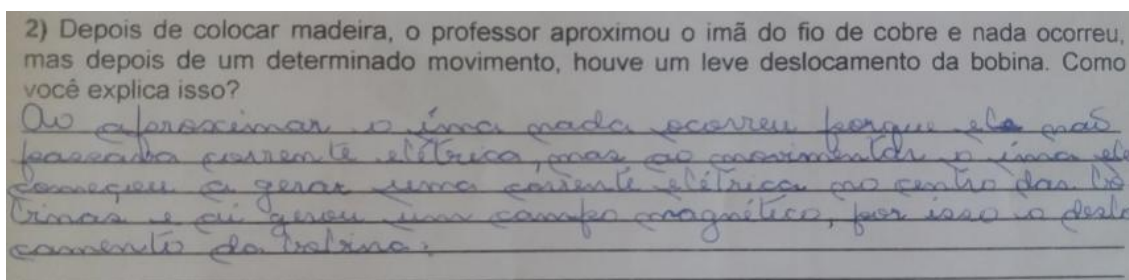


Figura 5.14. Resposta dada pelo Rodrigo sobre a explicação da causa do movimento das bobinas.

(Fonte: Autoria própria)

Ao aproximar o ímã [sic passim] nada ocorreu porque ela não passava corrente elétrica, mas ao movimentar o ímã ele começou a gerar uma corrente elétrica no centro das bobinas e aí gerou um campo magnético, por isso o deslocamento da bobina.

Quadro 5.14. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo sobre a explicação da causa do movimento das bobinas.

(Fonte: Autoria própria)

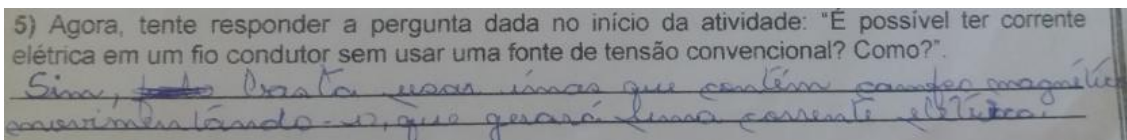


Figura 5.15. Resposta dada pelo Grupo 3 sobre o desafio inicial do professor.

(Fonte: Autoria própria)

Sim, ~~é~~ [sic] basta usar ímãs [sic] que contém campo magnético movimentando-o, que gerará uma corrente elétrica.

Quadro 5.15. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo sobre o desafio do professor.

(Fonte: Autoria própria)

Na análise das falas dos alunos feita anteriormente, foi ressaltado um equívoco na explicação da causa do deslocamento das bobinas. No entanto, na resposta dada pelo grupo (Fig. 5.14), nota-se que foi observada a relação entre a ocorrência de formação da corrente elétrica com o movimento dos ímãs pelo centro da bobina. Além disso, ao mesmo tempo que usaram a analogia das interações magnéticas entre polos de ímãs para explicar a causa do movimento, usaram também a Lei de Ampère anteriormente aprendida (Tópico 5.3.1).

Já a Figura 5.15 deixa bem claro que a resposta do problema inicialmente proposto pelo professor possui como base a necessidade de um campo magnético em movimento para que haja formação de uma corrente elétrica no condutor.

Com isso, o professor propõe outro desafio para os grupos:

“Como fazer o sistema girar 360° com o auxílio de dois suportes com ímãs?”

A atividade consistia em fazer com que o sistema de bobinas fizesse uma revolução completa em torno do eixo horizontal, usando somente os pares de ímãs disponíveis. Os alunos tiveram que trabalhar em grupo para realizar a

atividade e, em seguida, registrar suas conclusões no material impresso (Figura 5.16 com a transcrição no Quadro 5.16).

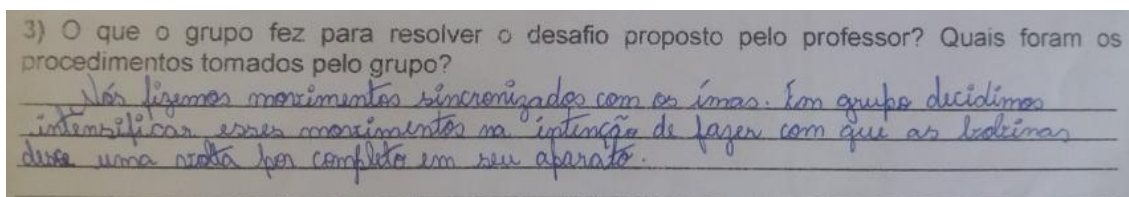


Figura 5.16. Resposta dada pelo Grupo 3 sobre o desafio do professor. Quem escreveu a conclusão foi a aluna Mariana.

(Fonte: Autoria própria)

Nós fizemos movimentos sincronizados com os ímas [sic]. Em grupo decidimos intensificar esses movimentos na intenção de fazer com que as bobinas desce uma volta por completo em seu aparato.

Quadro 5.16. Transcrição da resposta dada pelo Grupo 3 sobre o desafio do professor. Quem escreveu a conclusão foi o aluno Rodrigo.

(Fonte: Autoria própria)

Aqui, os alunos tiveram que organizar uma estratégia de trabalho para poder resolver o problema. Nota-se pela resposta dada pelo grupo analisado que a principal estratégia tomada foi a sincronia dos movimentos dos ímãs nas vizinhanças das bobinas de cobre.

No fim da atividade, sem ferir o enfoque investigativo, o professor enuncia a Lei de Faraday e a Lei de Lenz relacionando-as com as respostas dados pelos estudantes.

5.3.3 Bloco III – Efeito Meissner

O Capítulo 3 desta dissertação foi dedicado ao entendimento do Efeito Meissner, responsável pela levitação do trem supercondutor. Logo, o entendimento qualitativo deste efeito se faz necessário frente ao contexto do trabalho proposto.

Contudo, como já foi mencionada no Capítulo 4 (Tópico 4.2.3), uma peça que possui as propriedades supercondutoras não costuma ser de baixo custo, logo urge a necessidade de viabilizar a atividade. Então, foi confeccionado um vídeo, tornando assim a prática acessível para qualquer pesquisador⁴³. O vídeo é de livre acesso e pode ser encontrado no link: <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>.

O vídeo é auto instrutivo, porém, para que ele possua sentido prático, a atividade requer uma organização das perguntas em etapas⁴⁴ (Tabela 5.4):

Etapa	Tempo	Momento	Objetivo
1ª	00:00:00 até 00:03:45	Apresentação dos materiais e início da investigação	Conhecer os materiais que farão parte da atividade e observar se o supercondutor possui alguma propriedade relevante à temperatura ambiente.
2ª	00:03:45 até 00:06:35	Investigação com o supercondutor resfriado	Observar se o supercondutor possuirá alguma propriedade relevante se ele for resfriado na ausência dos materiais.
3ª	00:06:35 até 00:09:56	Investigação com o supercondutor resfriado na presença dos materiais.	Observar se o supercondutor possuirá alguma propriedade relevante se ele for resfriado na presença dos materiais.

Tabela 5.4. Divisão das etapas da atividade do vídeo.

(Fonte: Autoria própria)

No dia, o professor distribuiu o Material do Aluno (Apêndice B) para os aprendizes e organizou a turma em um grande grupo coletivo para expor o

⁴³ É claro que o experimento feito em sala é mais proveitoso (em termos de interação com os alunos) que a apresentação de um vídeo, logo se o pesquisador possui condições para adquirir os materiais necessários, basta seguir a ideia do vídeo que o experimento renderá efeitos apreciáveis.

⁴⁴ Essas etapas estão presentes no material do aluno.

vídeo. Durante o andamento do vídeo, o professor interrompia o filme em certos momentos para saber a opinião dos alunos sobre uma possível previsão do que poderia ocorrer na próxima cena e (em outros momentos) para eles responderem as perguntas do material impresso. Então, a análise será sobre as respostas dadas pelos alunos em cima das perguntas mais pertinentes⁴⁵ da atividade.

A primeira pergunta do material do aluno a ser analisada é sobre a aparência Física do supercondutor. Observe a Figura 5.17 (transcrição no Quadro 5.17) abaixo:

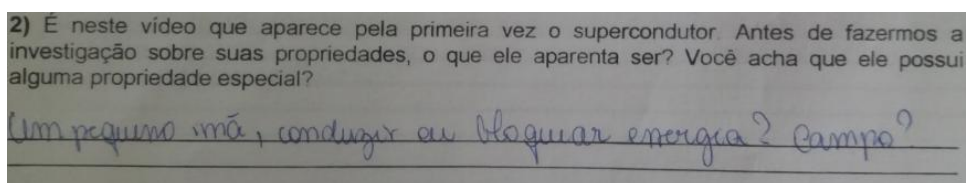


Figura 5.17. Resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 1ª etapa.
(Fonte: Autoria própria)

Um pequeno ímã [sic], conduzir ou bloquear energia? Campo?

Quadro 5.17. Transcrição da resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 1ª etapa.
(Fonte: Autoria própria)

Essa constatação do aluno é relevante, pois o supercondutor lembra um ímã de ferrite em forma de disco, muito comum em suas residências. Em seguida, diversos materiais entraram em contato com o supercondutor para investigar se ele possuía alguma propriedade perceptível (como o magnetismo), então, o aluno deve expressar sua conclusão até o momento (Figura 5.18 e Quadro 5.18).

⁴⁵ O material do aluno possui diversas perguntas pertinentes, no entanto, foram escolhidas para análise somente as que levavam a alguma conclusão.

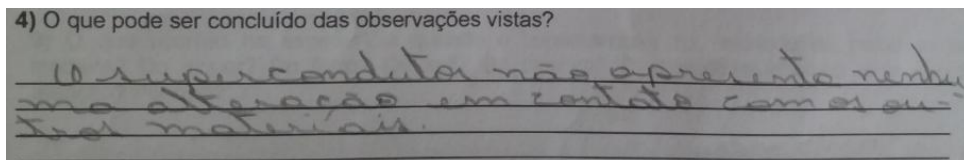


Figura 5.18. Resposta dada pela Carla a uma das perguntas da 1ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

O supercondutor não apresenta nenhuma alteração em contato com os outros materiais.

Quadro 5.18. Transcrição da resposta dada pela Carla a uma das perguntas da 1ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Na segunda etapa, realiza-se o resfriamento do supercondutor e aproximam-se os materiais de sua vizinhança. Após a constatação, os alunos responderam sobre o que eles poderiam concluir da observação (Figura 5.19 e Quadro 5.19).

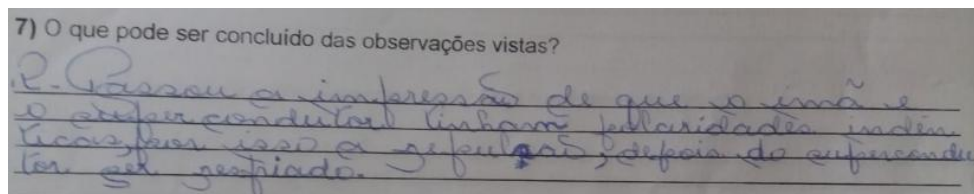


Figura 5.19. Resposta dada pelo Rodrigo a uma das perguntas da 2ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

R. Passou a impressão de que o ímã [sic] e o supercondutor tinham polaridades idênticas, pois isso a repulsão, depois do supercondutor ser resfriado.

Quadro 5.19. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo a uma das perguntas da 2ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

A resposta desse aluno revela duas conclusões pertinentes: (i) a dependência com a temperatura e (ii) a repulsão magnética. Nota-se que a

segunda foi através de uma analogia com a repulsão magnética entre dois ímãs de polos iguais. Ressalto que uma das características indispensáveis da supercondutividade é a dependência do material com a sua temperatura e esta foi constatada pelo aluno.

Na Figura 5.20 (Quadro 5.20), está exposta outra conclusão em relação à mesma pergunta. Nela, a aprendiz se aventura em supor uma mudança estrutural no supercondutor⁴⁶ quando ele é resfriado com o nitrogênio líquido.

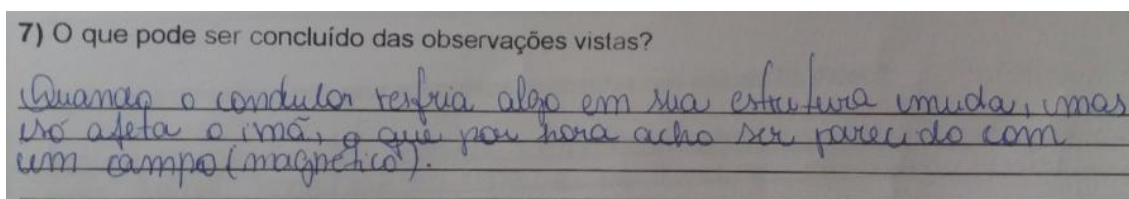
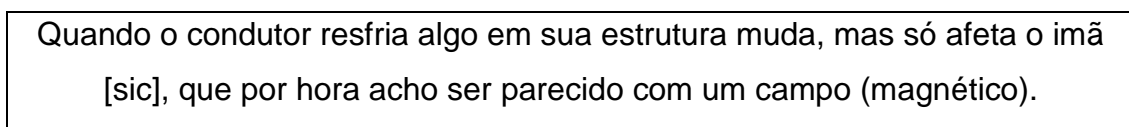


Figura 5.20. Resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 2ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)



Quadro 5.20. Transcrição da resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 2ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

É na terceira etapa que o supercondutor levita pela primeira vez para o estudante observar. Aqui, antes de tentar entender o que está acontecendo nas vizinhanças do supercondutor, algumas perguntas foram feitas para organizar tudo visto até então, como nas Figuras 5.21, 5.22 e 5.23 (todos com seus respectivos quadros de transcrição) a seguir:

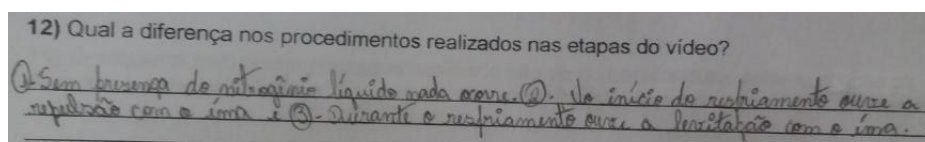


Figura 5.21. Resposta dada pela Beatriz a uma das perguntas da 3ª etapa.

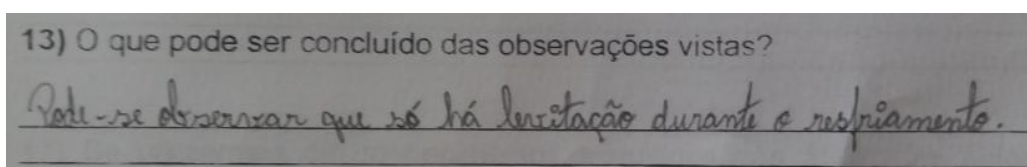
(Fonte: Autoria própria)

⁴⁶ Na resposta da Figura 5.20, o aprendiz escreveu 'condutor', mas acredito que sua intenção era de escrever 'supercondutor'.

(1) Sem presença do nitrogênio líquido nada ocorre. (2) No início do resfriamento ouve a repulsão com o íma [sic passim] e (3). Durante o resfriamento ouve a levitação com o íma.

Quadro 5.21. Transcrição da resposta dada pela Beatriz a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)



13) O que pode ser concluído das observações vistas?
Pode-se observar que só há levitação durante o resfriamento.

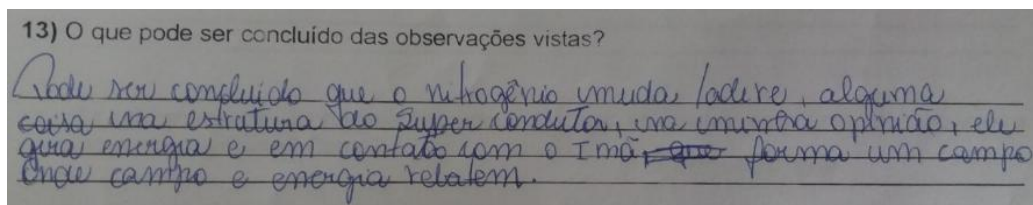
Figura 5.22. Resposta dada pela Beatriz a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Pode-se observar que só há levitação durante o resfriamento.

Quadro 5.22. Transcrição da resposta dada pela Beatriz a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)



13) O que pode ser concluído das observações vistas?
Pode ser concluído que o nitrogênio muda/adere, alguma coisa na estrutura do super condutor, na minha opinião, ele gera energia e em contato com o ímã, que forma um campo. Onde campo e energia repelem.

Figura 5.23. Resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Pode ser concluído que nitrogênio muda/adere, alguma coisa na estrutura do supercondutor, na minha opinião, ele gera energia e em contato com o imã [sic], que forma um campo onde campo e energia repelem.

Quadro 5.23. Transcrição da resposta dada pela Mariana a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Note que pelas respostas expostas nas Figuras 5.21 e 5.22, que a aluna aparenta entender as diferenças procedimentais das etapas e ressalta que só há levitação durante o resfriamento do supercondutor⁴⁷. Já na Figura 5.23 a aluna volta a insistir em uma mudança na estrutura interna do supercondutor e se aventura em acreditar na geração de uma ‘energia’ que repele o campo magnético formado pelo ímã⁴⁸.

Diversas perguntas foram feitas para os alunos com o intuito de tentar entender o fenômeno observado. Com as observações dos fenômenos presentes no vídeo e com os questionamentos feitos pelo professor, os alunos foram convidados a tentar descobrir os conceitos físicos envolvidos na levitação usando as leis estudadas anteriormente. Para tanto, o professor escreveu-as na lousa como auxílio. Eis algumas respostas dadas pelos alunos depois das observações supracitadas (Figuras 5.24 e 5.25 e Quadros 5.24 e 5.25):

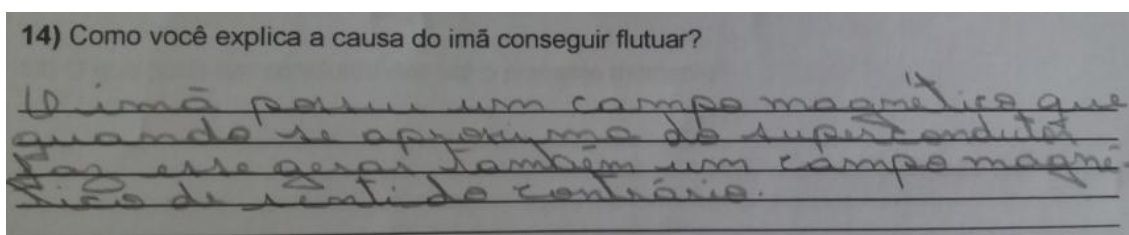


Figura 5.24. Resposta dada pela Carla a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

O ímã [sic] possui um campo magnético que quando se aproxima do supercondutor faz esse gerar também um campo magnético de sentido contrário.

Quadro 5.24. Transcrição da resposta dada pela Carla a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

⁴⁷ É provável que a aluna ao dizer que “... só há levitação durante o resfriamento” estava tentando dizer que só há levitação se resfria-lo na presença do ímã!

⁴⁸ Lembro que essas respostas são especulações feitas pelos alunos na busca ao entendimento qualitativo da causa da levitação do material.

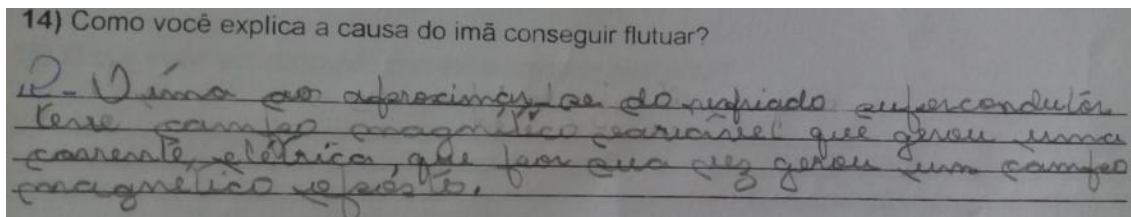


Figura 5.25. Resposta dada pelo Rodrigo a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

R. O íma [sic] ao aproximar-se do resfriado supercondutor teve campo magnético variável que gerou uma corrente elétrica, que por sua vez gerou um campo magnético oposto.

Quadro 5.25. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo a uma das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Ao observar as respostas dos alunos, nota-se claramente a eficácia e a necessidade do aprendizado das leis até aqui trabalhadas. Primeiramente, na resposta dada na Figura 5.24, está claro que a causa da levitação é pela interação entre o campo magnético do ímã com o campo magnético gerado pelo supercondutor no momento em que o ímã se aproxima do segundo. Pela resposta, é provável que o estudante estivesse tentando usar a Lei de Faraday no momento que ele diz que o “ímã se aproxima do supercondutor”. Já a Lei de Lenz está visível quando ele diz que “o campo magnético está em sentido contrário ao campo magnético do ímã”. Já na Figura 5.25, o aprendiz anuncia de maneira consistente o fenômeno físico presente na levitação usando a Lei de Faraday e a Lei de Lenz.

Como última tarefa para os alunos, eles tiveram que fazer um desenho (Figura 5.26 e transcrição no Quadro 5.26) sobre a resposta dada anteriormente (Figuras 5.24 e 5.25).

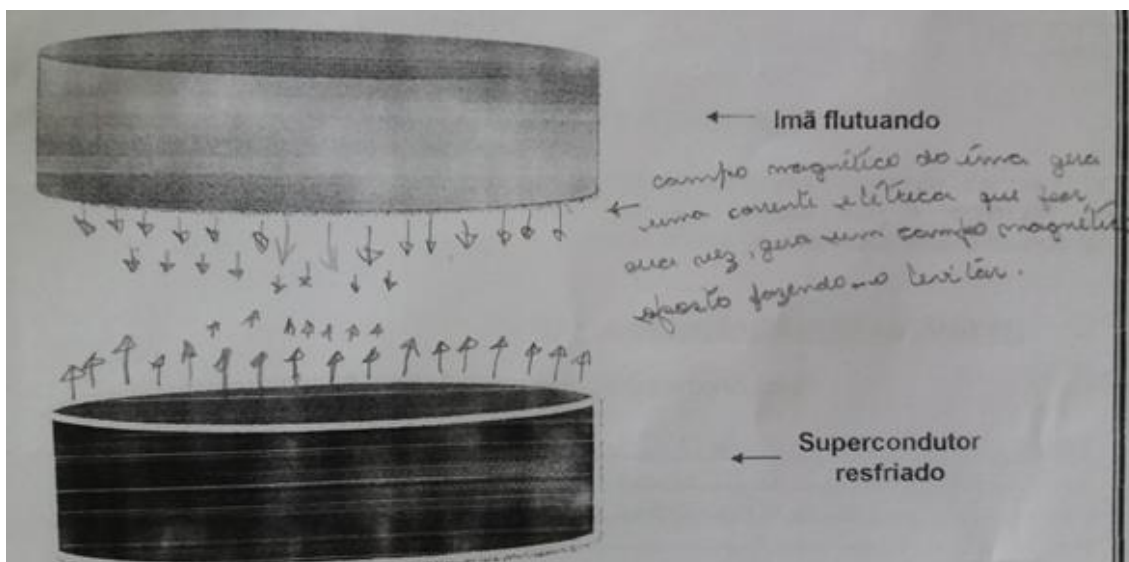


Figura 5.26. Resposta dada pelo Rodrigo a umas das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Campo magnético do ímã [sic] gera uma corrente elétrica que por sua vez, gera um campo magnético oposto fazendo-o levitar.

Quadro 5.26. Transcrição da resposta dada pelo Rodrigo a umas das perguntas da 3ª etapa.

(Fonte: Autoria própria)

Após as respostas dadas pelos aprendizes e sem ferir de forma alguma a atividade proposta, o professor revela que o campo magnético do ímã suspenso não adentra no interior do supercondutor e que esse fenômeno é conhecido como Efeito Meissner. Também foi revelado que a corrente elétrica formada na superfície do supercondutor não é genuinamente igual à corrente elétrica que passa em um condutor comum, e sim uma corrente formada por pares de elétrons, que são chamados de Pares de Cooper. Além disso, o professor anuncia à turma que é dessa maneira que o trem supercondutor (foco principal das atividades) fica suspenso no ar e expõe a causa de sua estabilidade, citando os vórtices que se formam no material cerâmico.

Por fim, o professor voltou a falar sobre as características mais relevantes que o trem possui na sociedade, ressaltando alguns pontos que foram estudados nas primeira e segunda etapas do trabalho.

Capítulo 6

Considerações Finais

Nesta dissertação procuramos aplicar uma sequência de ensino com atividades de investigação com enfoque em CTS abordando, como objeto de estudo, o trem supercondutor. Consideramos seus impactos e consequências na sociedade e no meio ambiente juntamente com o entendimento da causa de sua levitação. Para a realização das atividades, foram utilizados diversos recursos didáticos com textos, vídeos e experimentos (com viés investigativo) para que o objetivo fosse devidamente alcançado. No entanto, quando se aplica uma Atividade Investigativa com esse enfoque, não é só o aluno que é avaliado, mas também o professor, pois a todo instante o professor deve estimular a curiosidade do aluno, através questionamentos que o leve a refletir sobre sua maneira de ver os fenômenos sem que, em qualquer momento, revele ou dê pistas sobre a explicação do fenômeno em questão.

A atividade consistiu em cinco etapas, cada uma com o seu devido objetivo. A etapa (i) se baseou na contextualização e na problematização do trem supercondutor na sociedade contemporânea; a (ii) apresentou pela primeira vez aos alunos a imagem visual do trem supercondutor através de um vídeo retirado da internet e deu-se início às especulações daquilo que era necessário para compreender a causa da sua levitação; a (iii) se concentrou no aprendizado da Lei de Ampère e na superposição de campos magnéticos; a (iv) foi dedicada ao entendimento da Lei de Faraday e da Lei de Lenz e; por fim, (v) a compreensão qualitativa do Efeito Meissner, juntamente com a sua aplicação no MAGLEV.

A atividade com enfoque CTS propôs a contextualização da tecnologia, tão essencial quanto o aprendizado dos fenômenos físicos envolvidos. Conforme no Tópico 5.1, os estudantes fizeram a conexão com as tecnologias desenvolvidas na sociedade, os problemas que estas podem causar no meio ambiente, indo até à tomada de consciência sobre o seu papel nesta dinâmica. Além disso, a atividade evidenciou (através das respostas e das falas dos

alunos) a necessidade de se discutir a criação e utilização dessas tecnologias na sociedade.

Até a primeira etapa, os alunos não tinham observado a imagem do trem supercondutor debatido anteriormente, então, é na segunda etapa que eles tiveram o primeiro contato visual com o objeto de estudo. Com as respostas dos alunos (exemplo: Figura 5.5), notou-se que as características mais relevantes do trem supercondutor (do ponto de vista sustentável e econômico) foram bem compreendidas pelos alunos e que, através da observação do vídeo, conseguiram especular os possíveis requisitos necessários para a compreensão dos fenômenos físicos presentes na levitação do trem supercondutor.

A atividade sobre a Lei de Ampère (início da terceira etapa) foi inevitavelmente prejudicada, causada pelo sentimento de insegurança dos alunos por causa da situação de perigo nas comunidades vizinhas à instituição. Contudo, mesmo não ocorrendo uma atividade genuinamente investigativa, o experimento descrito no material do professor (Apêndice A) possui viés investigativo. Esse viés é confirmado no primeiro momento da atividade (Tópico 5.3.1), onde o aluno consegue enunciar a Lei de Ampère (Figura 5.8) durante a discussão criada pelo professor com a turma. Já no Segundo momento da terceira etapa, que tinha como foco a ideia da superposição de campos magnéticos, percebeu-se que eles constataram que o campo magnético aumentou de intensidade no centro da espira, porém a ideia da soma vetorial (sendo o vetor as setinhas feitas na Figura 5.9) dos campos provenientes de cada segmento de fio não foi bem compreendida pelos estudantes⁴⁹. A atividade da Lei de Ampère termina com um desafio proposto pelo professor à turma, onde pelas Figuras 5.12 e 5.13 constata-se que a experimentação das hipóteses sugeridas pelos integrantes do grupo levou-os a alcançarem a ideia da utilidade da bobina condutora e do aumento da corrente elétrica através do aumento da tensão.

Diferente da prática que abordava a Lei de Ampère, a atividade que continha como foco principal a Lei de Faraday e a Lei de Lenz ocorreu como planejado por nós. A atividade propôs um problema inicial e os alunos tinham

⁴⁹ Como já foi comentado no Tópico 5.3.1, no fim do Segundo momento o professor anunciou à turma a ideia da superposição magnética.

que responde-lo utilizando o experimento fornecido pelo professor. Nesta prática (juntamente com a próxima), os alunos trabalharam em grupo, realizaram hipóteses, testaram suas ideias, criaram situações desafiadoras e formularam argumentações para defender o que acreditaram ser correto. Tudo isso, analisado através dos indicadores de alfabetização científica mencionados no corpo da dissertação. Já o professor ficou circulando entre os grupos estimulando a curiosidade dos alunos com perguntas que os levavam a refletir sobre suas próprias ações. Pela análise das falas transcritas (Tabela 5.3) e pelas respostas às perguntas presentes no Material do aluno, foi constatado que a Lei de Faraday foi compreendida pelo Grupo, mas a Lei de Lenz foi entendida com alguns equívocos⁵⁰.

Além disso, os alunos conseguiram formular uma resposta ao problema inicial proposto pelo professor utilizando o que tinham concluído na investigação feita na atividade (Figura 5.15). A atividade das Leis de Faraday e Lenz termina com um novo desafio proposto pelo professor à turma, onde os alunos em grupo solucionaram-no.

A próxima atividade proposta aos alunos possuiu o intuito de compreender o Efeito Meissner, contudo (como já foi dito) o seu entendimento completo exige o conhecimento de Mecânica Quântica. Assim não se esperava que os alunos chegassem à compreensão real do efeito, mas que eles utilizassem como causa deste a Lei de Ampère, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz vistas nas etapas anteriores, fazendo assim, a ligação entre os fenômenos físicos ensinados em sala de aula com as tecnologias presentes na nossa sociedade.

Um ponto relevante desta atividade é que o ensino do Efeito Meissner pode ser um problema não só pela sua complexidade, mas pelo custo dos materiais para a realização do fenômeno em sala de aula. Nós deixamos a atividade acessível a qualquer professor interessado, confeccionando um vídeo que está liberado na internet e que pode ser acessado pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEqs&feature=youtu.be>.

Na primeira etapa do vídeo, onde os materiais são apresentados aos alunos, eles acreditaram que o supercondutor era uma espécie de ímã de

⁵⁰ A Figura 5.14 deixa claro essa afirmativa.

ferrite, por causa da sua aparência (Figura 5.17), no entanto pela Figura 5.18, os alunos constataram que estavam equivocados com a sua conclusão anterior. Isso é relevante para que não se confunda com as outras formas de levitação (a eletromagnética, por exemplo).

Já na segunda etapa, os alunos notaram que o supercondutor só apresenta interação magnética quando sua temperatura é reduzida com o nitrogênio líquido (Figura 5.19). Isso é relevante, pois além de diferenciar o supercondutor dos outros materiais presentes no seu dia a dia, a dependência com a temperatura é uma das características importantes presentes no estudo da supercondutividade.

A outra constatação dos alunos foi que a ordem do processo de resfriamento do supercondutor (ímã presente no momento do resfriamento / ímã se aproximando após o resfriamento) é determinante para que ocorra a levitação, como se pode notar na resposta presente na Figura 5.22. E com a exposição das leis do eletromagnetismo estudadas anteriormente, pode-se notar (pelas Figuras 5.25 e 5.26) que os alunos conseguiram propor uma explicação consistente para a levitação do objeto de estudo.

Após os dados coletados e analisados, o trabalho proposto possibilita um debate e aprimoramento para a formação de um cidadão alfabetizado cientificamente, pois os alunos tanto refletiram e debateram (Tópico 5.1) sobre a utilização do trem supercondutor na sociedade quanto estudaram os fenômenos físicos presentes na tecnologia. Tudo isso, através de uma sequência de Atividades Investigativas com enfoque CTS, contribuindo assim para a sua formação crítica e reflexiva sobre as tecnologias emergentes na sociedade contemporânea.

Capítulo 7

Referências bibliográficas

AIKENHEAD, G.S., Aikenhead. What is STS science teaching? In: Solomon, J., Aikenhead, G.S. STS education: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.47-59, 1994.

ASHCROFT, N.W.; MERMIN, N.D. Física do estado sólido. São Paulo: CENGAGE Learning, 2011. Cap. 34, p. 786-819.

AZEVEDO, M.C.P.S. Ensino por investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. (org), Ensino de Ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-43.

BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, no. 3, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília. Ministério da Educação, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 25/09/2017.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMETEC, 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 25/09/2017.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Brasília, 2006. Disponível em: <

http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_01_internet.pdf>.

Acesso em: 25/09/2017.

BRASIL, Plano Nacional de Educação (2014). Disponível em: <
<http://www.observatoriodopne.org.br/uploads/reference/file/439/documento-referencia.pdf>>. Acesso em: 25/09/2017.

BRASIL, Base Nacional Comum Curricular. Ciências da Natureza. Ensino Fundamental (2017). Disponível em: <
<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCCpublicacao.pdf>>. Acesso em: 25/09/2017.

CARVALHO, A.M.P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, A.M.P. (coord). Ensino de Física. São Paulo: CENGAGE Learning. 2010, p. 53-77.

CARVALHO, A.M.P. Habilidades de Professores Para Promover a Enculturação Científica. Contexto e Educação, v. 22, n. 77, p. 25-49, 2007.

CARVALHO, A.M.P. (Org.). Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: CENGAGE Learning, 2016.

COSTA, M.B.S.; PAVÃO, A.C. Supercondutividade: um século de desafios e superações. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2, 2602 (2012).

DICIONÁRIO DE BIOGRAFIAS CIENTÍFICAS. Benjamin C, editor. Rio de Janeiro: Contraponto; 2010.

EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas. Editora Campos Elsevier, 1994. Cap. 14, p. 607-637.

KITTEL, C. Introdução à Física do Estado Sólido. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A, 1978. Cap. 12, p. 349-389.

MARTINS, A.F.P. (Org.). Física ainda é cultura?. São Paulo: Livraria da Física, 2009. Cap. 1, p. 25-45.

McKAVANAGH, C., MAHER, M. Challenges to science education and the STS response. The Australian Science Teachers Journal, v. 28, n. 2, p.69-73, 1982.

MOURACHKINE, A. Room-Temperature Superconductivity. Cambridge International Science Publishing, 2004.

OLIVEIRA, I.S.; JESUS, V.L.B. Introdução à Física do estado sólido. São Paulo: Livraria da Física, 2011. Cap. 9, p. 267-304.

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, v. 20, n. 3, 1998.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. Supercondutividade. Temas atuais de Física. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

PENHA S.P., CARVALHO A.M.P., VIANNA D.M. 2009. A utilização de Atividades Investigativas em uma proposta de enculturação científica: novos indicadores para análise do processo. In VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009.

PEREIRA, S.H.; FÉLIX, M.G. 100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 1, 1313, 2013.

PINHEIRO, N.A.M.; SILVEIRA, R.M.C.F.; BAZZO, W.A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: A relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. Ciência e Educação, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

SANTOS, A.L.; PRESOTTO, A.G.; JÚNIOR, M.P.C.; BRITO, G.A.; CARVALHO, C.L.; ZADOROSNY, R. Experimento demonstrativo de levitação

supercondutora: Ferramenta de problematização de conceitos físicos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 2, 2505, 2015.

SANTOS, W.L.P.; MORTIMER, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência, vol. 2, n. 2, dezembro, 2002.

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. A alfabetização científica desde as primeiras séries do ensino fundamental em busca de indicadores para a viabilidade da proposta. In: XVII SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0167-1.pdf>> Acesso em: 25/09/2017.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SIERRA, D.F.M.; LOPES, N.C.; CARVALHO, W.L.P.; PÉREZ, L.F.M. A abordagem de uma questão sociocientífica na educação de adultos. In: SANTOS, W.L.P.; AULER, D. (Org.), CTS e educação científica . Desafios e tendências e resultados de pesquisa. Brasília: UnB, 2011. Cap. 11, p. 347-372.

VIEIRA, S. R. Concordância: Normas de Transcrição. Disponível em: <http://www.concordancia.letras.ufrj.br/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=58>. Acesso em: 14/11/2017.

Apêndice A

Investigando o MAGLEV

A.1 Breve panorama do problema da poluição do ar

Por volta de 1914, com a produção em massa (e barateamento) de veículos automotores por Henry Ford, vêm se observando os impactos que esse novo meio de locomoção⁵¹ causa na sociedade e no meio ambiente. Com esse forte movimento (Fordismo), surgem os primeiros engarrafamentos, onde por consequência, nasce uma série de legislações urbanas sobre a locomoção nas cidades. Dentre muitos documentos criados até os dias atuais, ressalto a resolução N° 3/90 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 28 de junho de 1990, que apresenta (dentre outros assuntos) diversas medidas e regras sobre o nível de emissão de partículas para a atmosfera por veículos automotores e as consequências que causam no meio social e ambiental. Em seu primeiro artigo estão todas as implicações existentes quando tais regras não são obedecidas:

Art. 1° - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Fonte:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>

(Acesso em 08/02/2018)

Os poluentes atmosféricos citados no artigo se dão basicamente pela queima de combustível fóssil, como gasolina e diesel, que são produtos derivados do petróleo. Na queima, gases como o monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio, dentre outros, estão associados a vários casos de doenças cardiovasculares e respiratórias nos grandes centros

⁵¹ Antes do movimento fordista, somente uma pequena parcela da sociedade (maior poder aquisitivo) tinha veículos automotores.

urbanos e são responsáveis por diversos óbitos prematuros (Tabela A.1). Como exemplo, no ano de 2014, foi publicado um estudo que fazia uma relação entre os indicadores de poluição atmosférica nas grandes metrópoles e em regiões industriais com doenças de origem respiratória alérgica em escolares⁵², na região de Ribeirão Preto, São Paulo, em 2010 (NICOLUSSI et al., 2014). Nele, foi apontado que crianças que estudavam em instituições de ensino que se situam em regiões de grande tráfego de veículos automotores, possuem maior prevalência de diagnósticos de asma, rinite e outras doenças semelhantes, devido a maior concentração de gases poluentes na atmosfera (dentre outros fatores).

Poluente	Símbolo	Impacto
Monóxido de carbono	CO	Atua no sangue, reduzindo sua oxigenação, e pode causar morte após determinado período de exposição à determinada concentração.
Óxidos de nitrogênio	NO _x	É parte do "smog" ⁵³ fotoquímico e da chuva ácida. É um precursor do ozônio (O ₃), que causa e/ou piora problemas nas vias respiratórias humanas. Também provoca danos a lavouras.
Hidrocarbonetos (compostos orgânicos voláteis)	HC	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados formam o "smog" e compostos cancerígenos. É um precursor do ozônio (O ₃).
Material particulado	MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Degrada os imóveis próximos aos corredores de transporte.

⁵² Aqui, escolares significam crianças de 6 a 7 anos de idade que frequentam instituições de ensino.

⁵³ A palavra "smog" é de origem inglesa (smoke = fumaça + fog = neblina).

Óxidos de enxofre	SO _x	Forma a chuva ácida e degrada vegetação e imóveis, além de provocar problemas de saúde.
-------------------	-----------------	---

Tabela A.1. Gases provenientes da queima de combustíveis fósseis e os danos que causam à saúde.

(Fonte: Ipea (2011) (Modificado))

Outras pesquisas apontam que pessoas maiores de 65 anos são seriamente prejudicadas com a absorção desses gases, causando ou adquirindo doenças graves e gerando custos altíssimos para o estado (PAIVA, 2014; MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014).

Muitos são os motivos para a construção desse cenário (COSTA et al., 2013), como: o grande aumento do uso de transporte individual e, conseqüentemente, redução do uso de transporte coletivo (trens, ônibus); o grau de escolaridade da população; dentre outros.

No entanto, o problema da poluição atmosférica alcança indicadores de diferentes origens tão graves como os realizados nas pesquisas supracitadas. Talvez o maior problema que a emissão dos gases provenientes de veículos automotores causa na natureza é o Efeito Estufa. Este é um processo que ocorre de forma natural na atmosfera e é essencial para a vida na Terra. Em suma, o Efeito Estufa consiste na energia que vem do Sol que fica aprisionada na atmosfera terrestre por causa de determinados gases (Naturais: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e vapor de água; Sintetizados: clorofluorcarbonetos, hidrofluorcarbonetos, perfluorocarbonos e hexafluoreto de enxofre). Esse efeito de aprisionamento mantém uma temperatura média de 15°C na atmosfera terrestre, próximo à superfície. Se esse fenômeno não existisse, a temperatura média terrestre estaria em torno de -17 °C (DUBEUX, 2015).

Dubeux (2015) aponta o índice de emissão de gases causadores do efeito estufa no mundo (GEE) na Figura A.1 no ano de 2005.

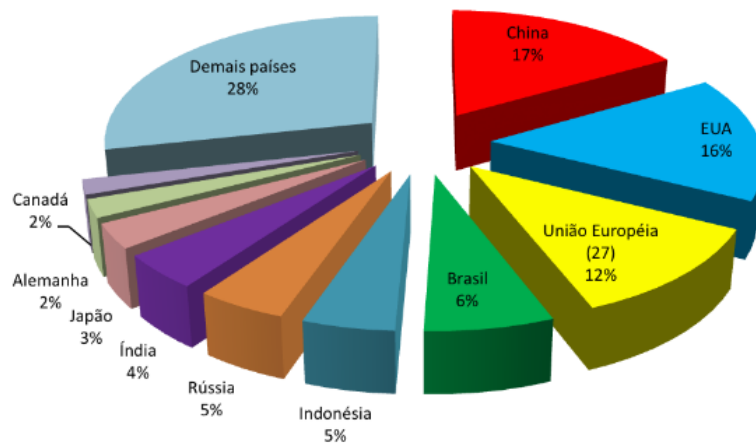


Figura A.1. Emissores de GEE em 2005 pelo mundo.

(Fonte: DUBEUX, 2015, p. 6)

A imagem revela que países mais desenvolvidos contribuem mais para o aumento do efeito estufa. Além disso, constata-se que o problema da emissão de gases poluentes é uma questão mundial e que diversas medidas já foram tomadas para a sua redução (Rio+20, Protocolo de Quioto, etc.).

A medida mais relevante para o nosso trabalho é a implementação de políticas públicas voltadas para a área do transporte urbano. Tecnologias como veículos automotores movidos a combustíveis de caráter sustentável (VONBUN, 2015) e incentivos aos meios de transportes coletivos sustentáveis envolvem toda essa dinâmica de discussão.

A.2 Introdução à sequência de Atividades Investigativas

A supercondutividade é um conhecimento de difícil acesso para o aluno do ensino regular, pois para obter entendimento quantitativo do fenômeno é necessário o estudo da Mecânica Quântica. No entanto, o efeito da supercondutividade apresenta um fenômeno macroscópico que é usado em trens de levitação magnética chamado de Efeito Meissner, em homenagem a um dos seus descobridores. O Efeito Meissner pode ser explicado sem adentrar na Mecânica Quântica e o seu entendimento, juntamente com os impactos ambiental e econômico que o trem de levitação magnética proporciona, é um dos objetivos centrais desta atividade.

Para o alcance de tal entendimento, o fenômeno da indução magnética deve ser trabalhado, pois o Efeito Meissner é a expulsão do campo magnético externo do seu interior (do material supercondutor) com um campo magnético interno formado por supercorrentes (pares de Cooper) induzidas. Os alunos recebem um material que possui quatro etapas com os conteúdos necessários para o entendimento da Física envolvida nos trens que funcionam à base de levitação supercondutora.

A primeira etapa consiste na reflexão de três textos que serão distribuídos para os alunos. A turma será dividida em grupos de até seis participantes, onde o tema “Sustentabilidade” será discutido e, por fim, terão de responder a um pequeno questionário e participar de um debate. Ressalto que esta etapa não dará base ao aluno para a compreensão da Física envolvida, mas fornecerá subsídios para que sejam discutidos os pontos positivos e negativos que o transporte em massa possui no meio social e ambiental.

A segunda etapa pretende continuar com a discussão realizada na unidade anterior, só que com o enfoque voltado para a Física envolvida no trem supercondutor. Para tanto, os alunos assistirão a um vídeo da internet. É nesta etapa que o aluno perceberá que é necessária a compreensão de outros conceitos fundamentais para poder entender a Física envolvida na tecnologia em questão.

Na terceira etapa, uma sequência de atividades com caráter investigativo será aplicada aos grupos de alunos. Cada atividade possui um objetivo bem definido (observado na etapa anterior) que dará base para alcançar o entendimento da Física qualitativa envolvida na supercondutividade.

Por fim, alcançado todo o conhecimento físico necessário para a compreensão do fenômeno da supercondutividade, inicia-se com uma atividade de demonstração investigativa sobre levitação supercondutora e termina com a apresentação das conclusões de cada grupo.

A.3 Primeira etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV

Esta atividade tem como objetivo fazer os alunos refletirem sobre as características mais relevantes que o transporte em massa pode trazer para o nosso dia a dia e para a natureza. Para tanto, o professor inicia a atividade investigando os meios de transportes que estão presentes no cotidiano dos alunos. Coletando as informações e registrando-as na lousa, o professor convida a turma a dividi-las nas categorias: sustentável e não sustentável.

Em seguida, a turma é dividida em grupos de no máximo seis alunos, e o professor distribui três textos para cada membro de cada grupo. Os textos abordam a questão do transporte público com o enfoque voltado para a sustentabilidade. O primeiro texto apresenta os problemas da poluição do ar causados principalmente pelos veículos automotores e algumas medidas cabíveis para a sua redução. O segundo texto relata uma atividade recente (22/09/2016) feita por alguns servidores do estado do Rio de Janeiro que incentivava o uso de transportes alternativos. O último texto aborda as características que o trem MagLev-Cobra possui (vide material do aluno).

Cada grupo deve discutir sobre os textos e o professor deve circular pela sala de aula de modo a observar e estimular as discussões. Ao fim de cada texto, o grupo deve responder as seguintes perguntas:

Texto I

I – Você contribui de alguma maneira para a redução da poluição do ar? (Se sua resposta for “sim”: *Como?*) (Se sua resposta for “não”: *Por quê?*).

II – De que maneira a poluição do ar afeta o seu dia a dia?

Texto II

III – Qual atividade podemos propor aos nossos amigos, para proporcionar a redução da poluição do ar no nosso bairro? (O grupo deve reunir as propostas em um único texto)

IV – Na sua família, que medidas podem ser tomadas para contribuir com a proposta mencionada no item anterior?

Texto III

V – O que mais chamou a sua atenção no trem supercondutor?

Para concluir a atividade, o professor organiza um debate simulado entre os grupos. Aqui, a turma deve ser dividida em três grandes grupos: Grupo 1 – é responsável por defender o uso dos meios de transportes convencionais (automotores). O segundo grupo defende o uso do trem supercondutor na sociedade e o terceiro grupo atuará como um avaliador dos argumentos apresentados pelos grupos e julgará aquele que foi mais convincente. Além do julgamento, o terceiro grupo pode intervir sobre os argumentos apresentados pelos grupos com o intuito de enriquece-los ou questiona-los. No fim do debate simulado, cada aluno deve responder a seguinte pergunta:

VI – Você concorda com a utilização do trem MAGLEV na nossa sociedade? Justifique sua resposta.

A.4 Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV

Na etapa anterior, foram observados e discutidas as vantagens e desvantagens no emprego dos meios de transportes em massa e seus impactos na vida social e no meio ambiente. Agora, a atenção será voltada ao funcionamento do trem supercondutor.

O professor coloca os grupos para assistirem ao vídeo (Figura A.2):



Figura A.2. Vídeo - Tecnologia supercondutora.

(Fonte: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2016/03/ufrj-desenvolve-trem-de-levitacao-magnetica.html>) Acesso em Janeiro de 2018.

Com isso, o professor deve discutir com a turma a diferença que o trem de levitação magnética possui em relação aos convencionais e ressaltar (registrando na lousa) os requisitos mínimos que o aluno deve saber para compreender, qualitativamente, a Física envolvida em tal tecnologia. No fim da discussão, os alunos deverão fazer as seguintes anotações:

VII – Quais vantagens que você achou mais relevantes no trem supercondutor em relação aos outros trens? E quais as desvantagens que esse meio de transporte pode ter na sociedade?

VIII – O que eu preciso saber para entender a Física presente no MAGLEV?

A.5 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV

A.5.1 Atividade 1 - Campo magnético produzido por um fio condutor

(I) Objetivo

Consiste na observação e na aprendizagem do fenômeno do campo magnético induzido por um fio condutor retilíneo.

(II) Variáveis a serem analisadas

O estudo do campo magnético formado por uma corrente elétrica que se desloca em um condutor retilíneo necessita da compreensão das seguintes variáveis:

- Corrente elétrica
- Linhas de campo magnético

(III) Material utilizado

Nas Tabela A.2 e Figura A.3 está a relação de materiais necessários.

Material	Quantidade	Preço (R\$)⁵⁴
Pilha tipo D - 1,5 V	1	2,00
Fio de cobre esmaltado – Diâmetro de 0,32 mm (AWG 28)	50 cm	15,80/100 g
Folha de papel A4	1	0,10
Aparato de madeira	1	---
Bússola – Diâmetro de 15 mm	1	7,00

Tabela A.2. Lista de materiais da Atividade 1.

(Fonte: Autoria própria)

Cada aluno receberá um roteiro para atividades, devendo relatar suas observações e a conclusão.



⁵⁴ Todos os preços dos componentes experimentais usados nesta dissertação foram pesquisados em janeiro de 2018.

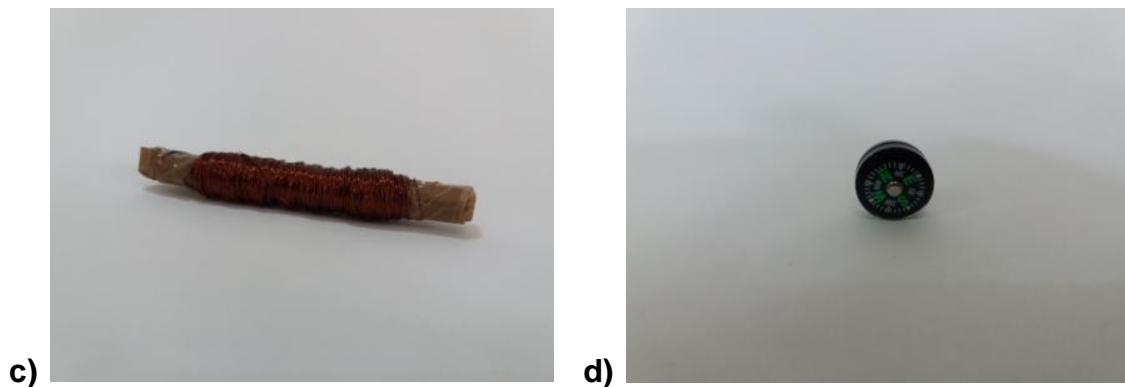


Figura A.3. Kit experimental da Atividade 1 – **a)** Pilha tipo D de 1,5V; **b)** Aparato de madeira; **c)** Fio de cobre esmaltado enrolado em um tubo de papelão; **d)** Bússola.

(Fonte: Autoria própria)

Agora, voltemos à atenção para a escolha da fonte de tensão e do diâmetro do fio.

A atividade requer corrente contínua de determinado valor que gere resultados expressivos e, como o objetivo é a compreensão do fenômeno da indução magnética, o campo induzido em torno do fio condutor deve ser detectado com distância de aproximadamente 5 cm para um melhor entendimento do fenômeno. Porém, como a pilha será colocada em curto, haverá aquecimento do fio por Efeito Joule. Com o aumento da temperatura, haverá um acréscimo na resistência elétrica do fio e uma diminuição na corrente elétrica que o transpassa afetando diretamente o campo induzido nas vizinhanças do condutor.

Por isto, o fio precisará ter o maior diâmetro possível para que o seu aquecimento seja mínimo com a passagem da corrente elétrica. No caso, foi escolhido um diâmetro de 0,32 mm (AWG 28⁵⁵), no entanto, podem-se escolher fios de outros diâmetros.

A escolha da pilha de 1,5 V é que ela é de fácil acesso e gera corrente contínua. O problema da utilização de pilhas como fonte de tensão é que descarregam rapidamente quando estão em curto. Outra escolha seria o carregador de notebook⁵⁶, que possui uma tensão de saída de 19,5 V e

⁵⁵ AWG significa American Wire Gauge (Escala Americana de bitolas de fios) é uma antiga escala normatizada para informar as bitolas de fios elétricos.

⁵⁶ Podem-se usar carregadores de celulares como fonte de tensão.

também pode gerar corrente contínua, porém, como serão 6 kits utilizados no dia da atividade, aumentaria consideravelmente o orçamento da experiência.

(IV) Atividade em ação: agindo sobre os materiais, tomada de consciência das ações e o registro das atividades.

Até o presente momento, os alunos já possuem conhecimento do campo magnético gerado por um ímã permanente e do funcionamento de bússolas em trabalhos anteriores. Porém, esse é o primeiro contato que eles terão com o campo induzido por uma corrente elétrica que passa por um fio condutor.

A atividade consiste em três momentos: **Primeiro momento** – *(o aluno irá mapear o campo magnético gerado pelo fio perpendicular ao plano do papel A4 usando uma bússola)*; **Segundo momento** – *(o aluno irá mapear o campo magnético gerado pelo fio dobrado usando uma bússola)*; **Terceiro momento** – *(um desafio será proposto ao aluno: como aumentar o campo magnético usando os fios e as pilhas?)*.

No fim de cada momento, o professor deve orientar os alunos a responderem as perguntas presentes no material do aluno.

(V) Primeiro momento

Cada grupo encontrará o aparato experimental sobre a mesa e o professor deve apresentá-lo e permitir que seja manuseado.

Inicialmente, o professor deve lançar o enigma principal a turma:

“De que forma é possível criar campo magnético?”

Em seguida, como orientação inicial, o professor leva os alunos a colocarem a folha de papel A4 sobre a plataforma de madeira. Então, deve-se transpassar a plataforma e o papel com fio condutor de maneira a deixá-lo perpendicular ao plano da plataforma (Figura A.4).

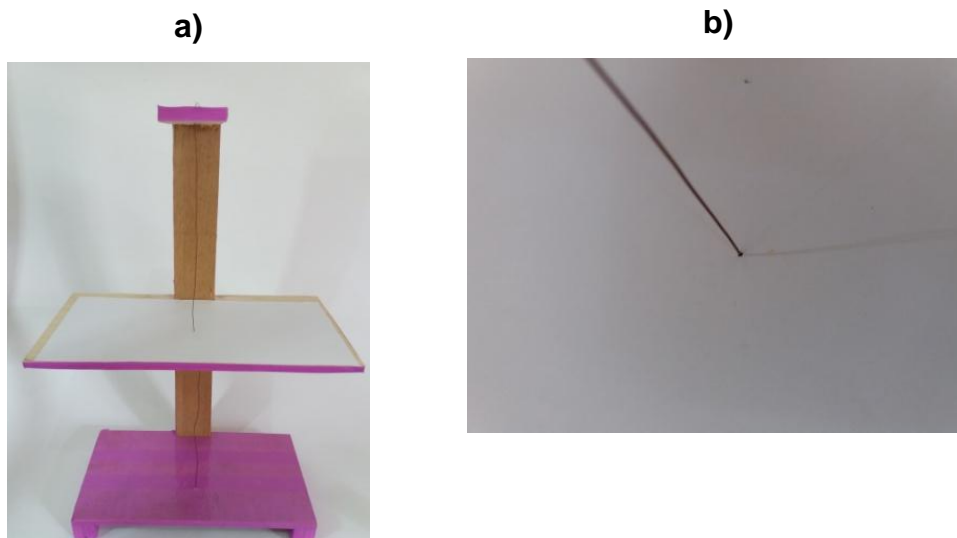


Figura A.4. Fio de cobre perpendicular ao plano da plataforma – **a)** Aparato de madeira com o fio de cobre passando pela folha de papel; **b)** Visão do fio de cobre passando pela folha de papel.

(Fonte: Autoria própria)

Os alunos são convidados a aproximar a bússola do fio condutor e observar se há alguma deflexão da agulha. Espera-se que não ocorra (Figura A.5). Então, o professor pergunta à turma:

I - Qual o motivo de não ter havido alteração na direção da bússola?



Figura A.5. Bússola nas vizinhanças do fio condutor sem corrente elétrica.

(Fonte: Autoria própria)

Como os mesmos já conhecem o funcionamento da bússola espera-se que identifiquem que a ausência (com exceção do campo magnético terrestre) de campo magnético seja o motivo.

Agora, os alunos ligaram as extremidades do fio de cobre nos terminais da pilha (a bússola continuará próxima do fio condutor). Com isso, o professor faz o seguinte questionamento:

II - O que houve com a agulha da bússola?

É provável que a resposta dos alunos seja que a agulha mudou de posição (Figura A.6). Então, inicia-se o momento para fazer questionamentos aos alunos sobre que está ocorrendo nas vizinhanças do fio condutor quando é submetido a uma tensão elétrica. Algumas perguntas questionadoras que podem (e devem) ser feitas pelo professor com o propósito promover a reflexão e a argumentação nos mesmos, estão expostas abaixo:

III - O que está sendo observado?

IV - Modificando a posição da bússola, ocorre alguma mudança? Qual?

V - Invertendo a polaridade da fonte de tensão, o que ocorre?

VI - Se modificar a posição do fio condutor, o que acontece com a agulha da bússola?



Figura A.6. Bússola nas vizinhanças do fio condutor com corrente elétrica⁵⁷.

(Fonte: Autoria própria)

Então, começa o momento de mapeamento do campo induzido. O aluno faz uma marcação na folha de papel com o lápis nas posições que se

⁵⁷ Note que na Figura A.5 o polo norte estava apontando para o lado direito (ausência de corrente), já na Figura A.6, com o aparecimento da corrente no sistema, o polo norte está apontando para o lado esquerdo.

encontram as extremidades da agulha da bússola. Com isso, translada-se a bússola para uma posição qualquer e faz-se uma nova marcação com o lápis. Esse processo se repete por algumas vezes até que as marcações apresentem um determinado formato geométrico (Figura A.7).

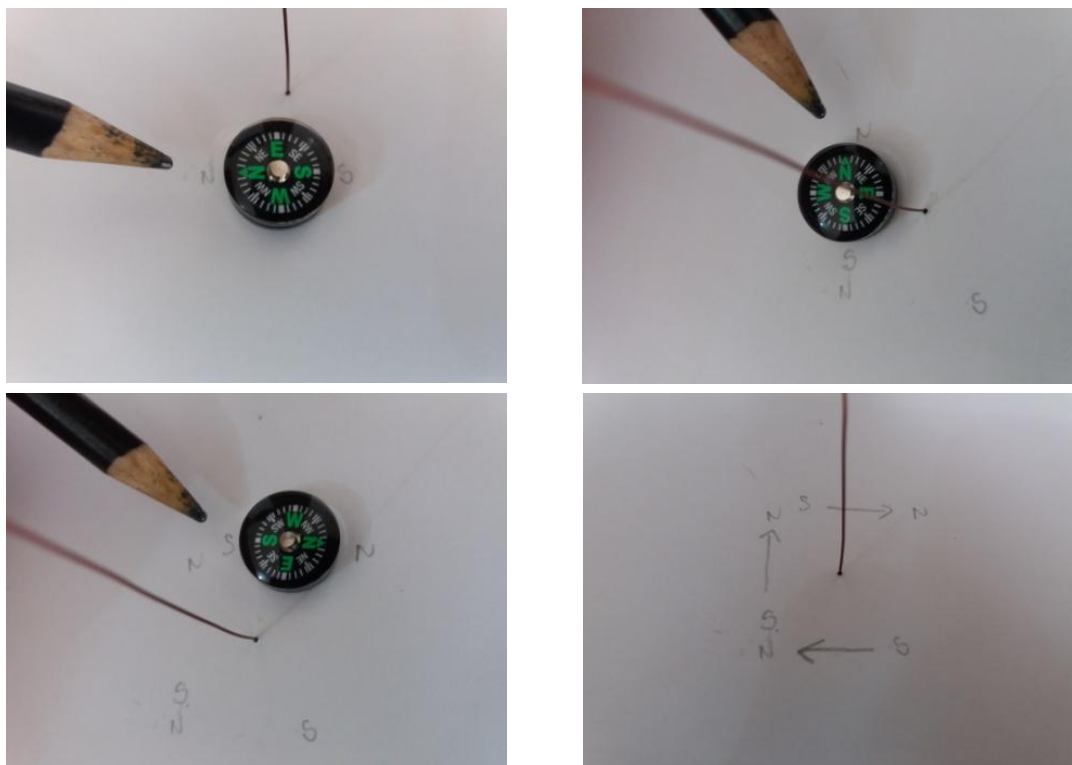


Figura A.7. Mapeando o campo magnético induzido.

(Fonte: Autoria própria)

Outros questionamentos devem ser propostos aos alunos para estimular a discussão dos fenômenos e para que possam fazer uma tomada de consciência sobre suas atitudes. Exemplos de questionamento estão expostos abaixo:

VII - O que está sendo observado?

VIII - Se inverter a polaridade da fonte de tensão, o que ocorre?

IX - Se afastarmos a bússola do fio condutor, o que acontece?

Nota-se que a atividade prática é de rápida execução, mas o processo de entendimento do fenômeno pode levar tempo. Como é uma atividade de investigação, é preciso que ocorra discussão de hipóteses entre os alunos. Eis

a importância dos questionamentos feitos pelo professor e da divisão da turma em pequenos grupos de no máximo seis indivíduos, facilitando uma maior interação entre os seus participantes.

(VI) Segundo momento

Nesta etapa, o objetivo é a compreensão da superposição dos campos magnéticos induzidos pelo fio dobrado. Para tanto, os alunos são convidados a realizar uma dobra no fio como na Figura A.8 abaixo:



Figura A.8. Fio condutor dobrado.

(Fonte: Autoria própria)

Ligam-se as pontas do fio aos terminais da fonte de tensão e aproxima-se a bússola das vizinhanças de cada segmento. O professor faz o seguinte questionamento:

X - O que está ocorrendo com o campo magnético no interior e no exterior (direito e esquerdo) da espira condutora?

Essa etapa é semelhante ao que foi apresentado anteriormente. O aluno deve mapear o campo magnético formado pelos segmentos utilizando a

orientação da agulha da bússola. Com isso, o professor deve realizar questionamentos aos alunos. Eis alguns exemplos:

XI - As orientações do campo magnético gerado pelos fios são os mesmos?

XII - Se inverter a polaridade da fonte de tensão, o que ocorre?

Ao fim desta atividade, espera-se que o aluno entenda que o campo magnético no interior da espira é maior por causa da superposição das linhas de campo magnético proveniente de cada ramo do fio.

(VII) Terceiro momento

Com o entendimento de campo induzido, o professor propõe o seguinte desafio aos alunos:

"De quais maneiras é possível aumentar o campo magnético na posição entre os fios condutores?"

O aluno deve usar (se quiser) o mesmo aparato experimental para poder tirar suas conclusões (Figura A.9).



Figura A.9. Plataforma do segundo momento com todos os itens expostos.

(Fonte: Autoria própria)

Esta é uma atividade que o aluno pode resolver experimentando suas hipóteses no próprio aparato em questão ou discutindo com seus colegas. O

professor deve apresentar o problema acima juntamente com questionamentos relevantes que devem possuir um propósito de estimular a curiosidade, a reflexão e a discussão entre os alunos acerca do mesmo. Como exemplo:

XIII – O que pode ser modificado no sistema para aumentar o campo magnético entre os fios?

XIV – O que é essencial para haver aumento do campo magnético entre os fios?

Ao fim da atividade, espera-se que os alunos consigam observar que a melhor maneira de aumentar o campo magnético no centro da espira é aumentando o número de espiras onde, conseqüentemente, os campos magnéticos se somaram, aumentando o campo magnético resultante induzido.

(VII) Tomada de consciência e registro da atividade

Com a realização das atividades propostas nos diferentes momentos, chega-se à etapa em que os alunos deverão dizer o que eles entenderam sobre a atividade. Para tanto, a classe deve se organizar em um grande círculo (ou em forma de U) para uma maior interação entre os alunos. Neste momento, o professor solicita o relato de cada grupo sobre as conclusões alcançadas. Lembrando que a todo instante dessa etapa, o professor deve fazer questionamentos que levem os alunos a refletirem sobre o que fizeram fazendo-os a tomar consciência de suas ações.

Ao decorrer da discussão das hipóteses apresentadas pelos alunos e pelos questionamentos feitos pelo professor, espera-se que o conceito de indução magnética por um fio condutor seja construído, juntamente com a ideia da sua superposição para gerar um campo magnético resultante mais intenso.

Finalizando a atividade, os alunos devem registrar a experiência relatando o que eles entenderam sobre o primeiro e segundo momentos da atividade e qual foi o procedimento tomado para resolver o problema proposto no terceiro momento. O local de registro está presente no material do aluno.

A.5.2 Atividade 2 – Corrente elétrica induzida

(I) Objetivo

Promover o aprendizado do fenômeno da corrente elétrica induzida, e sua orientação, por um campo magnético variável.

(II) Variáveis a serem analisadas

O estudo da indução magnética requer a análise das seguintes variáveis pertinentes:

- Campo magnético variável
- Força de atração e repulsão magnética
- Corrente elétrica

(III) Material utilizado

Assim como na “Atividade 1”, os materiais estão expostos na Tabela A.3 e estão presentes na Figura A.10.

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Ímã de neodímio (2R = 13 mm; h = 5 mm)	2	6,00
Suporte de madeira (20 x 5 x 5 cm ³)	1	---
Fio de cobre esmaltado – Diâmetro de 0,32 mm	1,5 m	15,80/100 g
Arame galvanizado – Diâmetro de 1,65 mm	50 cm	1,00/metro
Régua de plástico de 15 cm	1	1,00

Lixa de unha de 10 cm	1	0,20
-----------------------	---	------

Tabela A.3. Lista de materiais da Atividade 2.

(Fonte: Autoria própria)

Durante a atividade, os alunos terão de fazer anotações, em um roteiro para atividades.

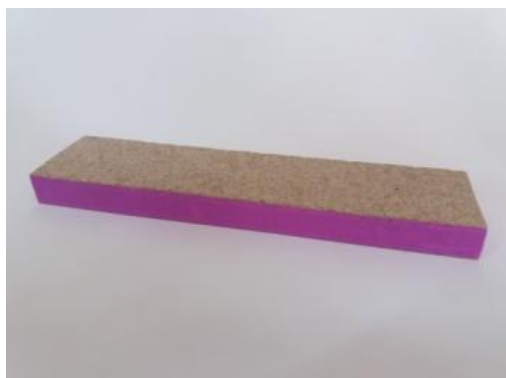
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



Figura A.10. Kit experimental da Atividade 2 – **a)** Diâmetro do ímã de neodímio; **b)** Altura do ímã de neodímio; **c)** Suporte de madeira; **d)** Fio de cobre; **e)** Arame galvanizado; **f)** Lixa de unha; **g)** Régua de plástico.
(Fonte: Autoria própria)

Na atividade, foram usados dois ímãs de neodímio de 13 mm de diâmetro e 5 mm de espessura para poder ter um forte campo magnético, no entanto, pode-se usar um ímã de neodímio de dimensões maiores para obter campos magnéticos mais intensos. A configuração do aparato experimental está exposta na Figura A.11 abaixo⁵⁸:

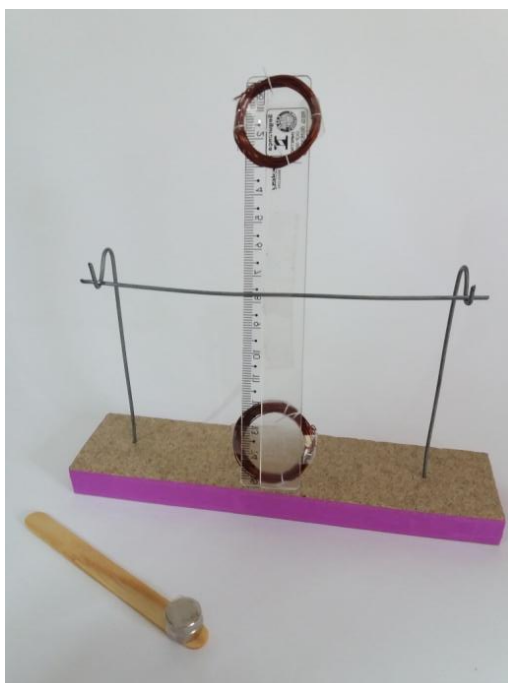


Figura A.11. Kit experimental da Atividade 2.
(Fonte: Autoria própria)

⁵⁸ Note que as bobinas estão presas na régua por uma fita de colante. Além disso, a régua e os ímãs também estão fixados em suas posições pelo mesmo material.

(IV) Atividade em ação: agindo sobre os materiais e a tomada de consciência das ações

Com a aplicação da “Atividade 1”, o aluno adquiriu conhecimento sobre campo magnético induzido por uma corrente que transpassa por um material condutor, cujo fenômeno é conhecido como Lei de Ampère. Agora, o foco é no efeito oposto: *campo magnético induzindo corrente elétrica*. Essa atividade exige cuidado, pois para gerar corrente elétrica no fio de cobre é necessário um campo magnético variável, logo isso tem que ficar claro para o aluno durante o andamento da atividade.

A atividade consiste em resolver o seguinte enigma:

“É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?”

(V) Desafiando a turma: demonstração e investigação

A atividade começa com o lançamento do desafio a turma. São esperadas muitas respostas ligadas ao aprendizado possivelmente adquirido na “Atividade 1”, pois ela promove um fenômeno muito semelhante. Para desmistificar esse pensamento, o professor dá início à atividade, que possui caráter investigativo, apresentando o aparato experimental para os alunos e explicando seus componentes.

Inicialmente, o professor pega o pedaço de lixa de unha e faz a seguinte pergunta:

XV – Se aproximar e afastar esse pedaço de lixa de unha de uma das bobinas ocorrerá alguma coisa?

Já é esperada uma resposta negativa, então o professor realiza a ação (Figura A.12). Depois ele pega os ímãs e volta a perguntar à turma:



Figura A.12. Pedaco de lixa de unha passando pelo centro da bobina.

(Fonte: Autoria própria)

XVI – Se aproximar e afastar esses ímãs do centro de uma das bobinas ocorrerá alguma coisa?

Antes de fazer a aproximação, é interessante mostrar que não há atração entre os ímãs e o cobre das bobinas, aproximando os ímãs a um pedaco das espiras. Com isso, o professor leva lentamente os ímãs até o centro da espira e, em uma ação rápida, o afasta (Figura A.13).



Figura A.13. Os ímãs passando pelo centro da bobina.

(Fonte: Autoria própria)

No momento em que o professor afasta o ímã do centro da bobina, ela irá se deslocar levemente. Então, o professor faz a seguinte pergunta:

XII – Por que a bobina se deslocou?

O professor divide a turma em grupos de no máximo seis alunos e distribui um kit experimental para cada grupo. Os grupos devem ser orientados a realizar o experimento e a refletir sobre a causa do deslocamento da bobina.

O professor deve estimular os alunos fazendo perguntas que os levem a refletir sobre suas próprias ações, como:

XIII – Qual o procedimento tomado para conseguir deslocar a bobina?

XIX – Qual a diferença entre a madeira e os ímãs?

XX – De que maneira você está passando os ímãs pela bobina?

XXI – A forma de passar os ímãs pela bobina faz alguma diferença?

XXII – O que existe entre os ímãs e a bobina?

XXIII – Ao aproximar os ímãs da bobina, o que ocorre?

XXIV – Ao afastar os ímãs da bobina, o que ocorre?

Após essa discussão, o professor propõe o seguinte desafio (fig. A.14):

“Como fazer o sistema girar 360° com o auxílio de dois suportes com ímãs nas vizinhanças das bobinas simultaneamente?”

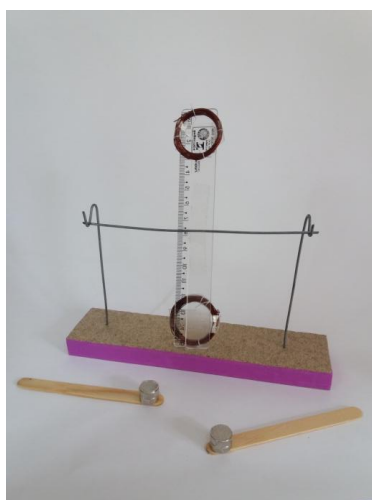


Figura A.14. Desafio da Atividade 2.

(Fonte: Autoria própria)

Como auxílio, os alunos possuem em seu material dois exercícios que contribuem significativamente para a descoberta e devem efetua-los durante a execução da atividade prática. Esta etapa é rica e pode durar um tempo considerável. Durante esse tempo, o professor deve ficar circulando pelos grupos, ouvindo os argumentos dos alunos e questionando-os a fim de estimular novas ideias.

(VI) Tomada de consciência e registro da atividade

Para o registro, o grupo escolhe um aluno representante para escrever a resposta que o grupo deu ao desafio inicial e relatar os procedimentos tomados pelo grupo para que os levassem a tais conclusões. Caso algum outro grupo dê uma resposta diferente, é essencial que ocorra um debate simulado semelhante ao realizado na Etapa 1.

Com a atividade experimental e com as anotações dos alunos, espera-se que os conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz sejam construídos e assim, compreendidos pela turma.

A.5.3 Atividade 3 – Como o trem levita?

(I) Objetivo

O entendimento qualitativo do Efeito Meissner.

(II) Variáveis a serem analisadas

O Efeito Meissner é a expulsão do campo magnético externo do interior do supercondutor pela formação de supercorrentes induzidas. As grandezas Físicas envolvidas são:

- Lei de Ampère
- Lei de Faraday
- Lei de Lenz

- Temperatura

(III) Material utilizado

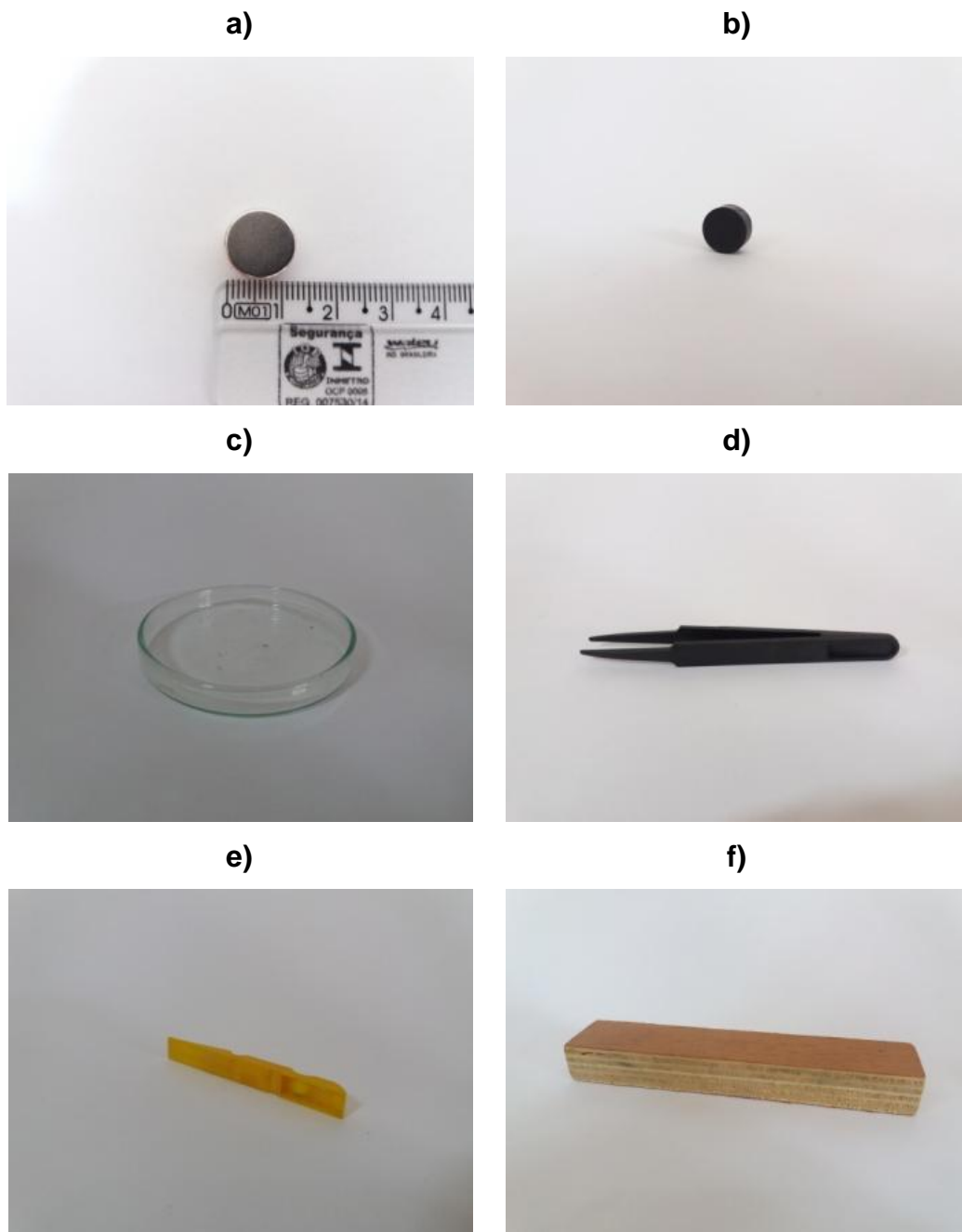
Para a execução da atividade, será utilizado um vídeo de caráter investigativo (link: <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>). Para a produção do vídeo foi necessária a aquisição dos materiais listados na Tabela A.4:

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Ímã de neodímio (2R = 13 mm; h = 5 mm)	1	6,00
Pedaço de madeira (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Pedaço de isopor (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Pedaço de ferro (2R = 1 mm; h = 8 mm)	1	---
Pedaço de plástico (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Supercondutor cerâmico (disco de 20g)	1	900,00
Nitrogênio líquido	1 litro	10,00/litro
Garrafa térmica de 600 mL	1	10,00
Pinça de plástico	1	5,00
Placa de petri	1	4,00
Caixa de isopor (5 x 3 x 5 cm ³)	1	5,00

Tabela A.4. Lista de materiais da Atividade 3.

(Fonte: Autoria própria)

É notável que alguns materiais listados na Tabela A.4 e expostos na Figura A.15⁵⁹ não são de baixo custo (como o supercondutor e os ímãs de neodímio), logo o motivo da realização da atividade experimental com um vídeo. Além disso, o fenômeno requer um campo magnético considerável (em torno de 0,5 Tesla) e que o supercondutor seja resfriado até a temperatura de 196° C negativos. O neodímio e o nitrogênio líquido são ingredientes que se encaixam perfeitamente na função.



⁵⁹ Nem todos os materiais estão expostos na Figura A.15.

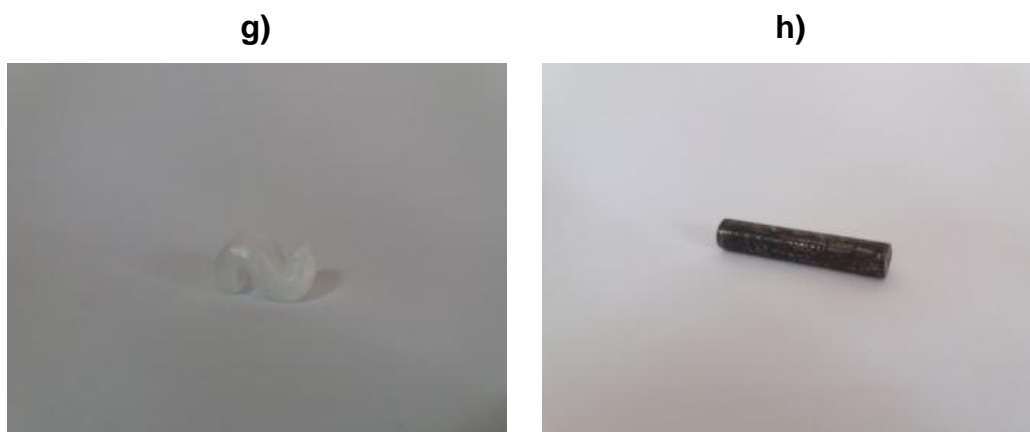


Figura A.15. Kit experimental da Atividade 3 – **a)** Ímã de neodímio; **b)** Supercondutor cerâmico; **c)** Placa de petri; **d)** Pinça; **e)** Plástico; **f)** Pedaco de madeira; **g)** isopor; **h)** Barra de ferro.

(Fonte: Autoria própria)

(IV) Atividade em ação: agindo sobre os materiais e a tomada de consciência das ações

É nesta atividade que o aluno irá adquirir o entendimento, de maneira qualitativa, sobre uma característica presente nos materiais que alcançam o estado físico supercondutor chamado de Efeito Meissner. Logo, o aluno precisa ter aproveitado o máximo as atividades anteriores, pois elas deram as bases indispensáveis para esse momento.

Esta atividade (projeção de vídeo) será dividida em quatro momentos: **Primeiro momento** – *investigando o supercondutor na temperatura ambiente;* **Segundo momento** – *investigando o supercondutor resfriado sem estar na presença do campo magnético externo;* **Terceiro momento** – *investigando o supercondutor resfriado na presença do campo magnético externo;* **Quarto momento** – *investigando a causa da levitação.*

(V) Primeiro momento (00:00:00 até 00:03:44)

Nesse primeiro momento, o vídeo vem com o propósito principal de apresentar o supercondutor aos alunos. Destacando sua aparência, como

tamanho, cor e peso (por exemplo), e investigando se ele possui algumas características inerentes da matéria, como, por exemplo, o magnetismo.

O supercondutor é posto sobre uma superfície lisa (azul), e aproximam-se diversos materiais pelas suas vizinhanças para investigar se o material possui alguma particularidade perceptível da matéria (atração e repulsão, por exemplo). É possível que os alunos acreditem que ele tenha propriedades magnéticas, pois o supercondutor possui a aparência de um ímã de ferrite, pela cor e formato. Esse vídeo vem desmistificar essa crença quando determinados objetos vêm se aproximando do material supercondutor. O roteiro está exposto na Tabela A.5.

Intervalo de tempo das cenas	Descrição das cenas	Observações e sugestões
Abertura do vídeo 00:00:00 até 00:00:56	Aparecem diversos trens que funcionam à base de levitação magnética.	O professor pode pedir para que a turma especule como o trem consegue levitar.
Apresentação dos materiais 00:00:57 até 00:02:20	Com o fundo azul e com letras brancas, a cena começa com a seguinte frase: Para entender a causa da levitação vamos usar os seguintes materiais: Em seguida, os materiais: Madeira, Isopor, Ferro, Ímã e Plástico são apresentados. Por fim, o supercondutor é apresentado.	O professor deve informar que a peça supercondutora é a responsável pela levitação do trem.
Aproximando os materiais do supercondutor 00:02:21 até	Com o fundo preto e com letras brancas, aparece a seguinte frase: Vamos começar a nossa investigação! Em seguida, aparece: Aproximando os materiais do	Antes de passar/aproximar os materiais do supercondutor, o professor deve

00:03:44	supercondutor. O supercondutor é posto no centro da placa de petri. Aproxima-se vagarosamente a madeira das suas vizinhanças e observa-se o efeito. Em seguida, faz-se o mesmo com o plástico, com o ímã, com o isopor e com o ferro.	indagar o que eles acreditam que vai acontecer.
Conclusões	Com a observação de todos os materiais. Chega a hora das conclusões feitas até o momento.	O professor deve pedir para os alunos registrarem suas conclusões no material do aluno.

Tabela A.5. Roteiro do primeiro momento do vídeo.

(Fonte: Autoria própria)

No fim deste momento, espera-se que os alunos percebam que o material não possui nenhuma característica relevante aparentemente, já que ele não interage, visualmente, com nenhum material, desmistificando assim, a relação com o ímã de ferrite.

(VI) Segundo momento (00:03:45 até 00:06:37)

O segundo momento do vídeo vem apresentando a mesma atividade que o primeiro momento, com a diferença que o supercondutor será resfriado com N₂ líquido antes que os materiais circulem em suas vizinhanças. Ressalto que os alunos não possuem conhecimento sobre o que é o N₂ líquido, então, antes de passar à cena de resfriamento do supercondutor, vale explicar que para liquefazer o N₂ (que constitui a maior parte das moléculas suspensas no ar) é preciso abaixar sua temperatura até os -196° C (aproximadamente) e que o mesmo evapora rapidamente (um dos motivos de aparecer tanta “fumaça branca” nas cenas, pois o ar nas vizinhanças da placa de petri também condensa).

Esse vídeo não possui o propósito de ensinar a ideia de transferência de calor, mas vale lembrar como ocorre a redução de temperatura no supercondutor para a turma antes de passar a cena. Quando o N₂ líquido é inserido na placa de petri com o supercondutor no seu centro, o material supercondutor perde calor rapidamente para o nitrogênio líquido, descendo assim sua temperatura até entrar em equilíbrio térmico e, enquanto o equilíbrio não é atingido, o supercondutor fica borbulhando (como se estivesse fervendo). O roteiro do segundo momento está na Tabela A.6.

Intervalo de tempo das cenas	Descrição das cenas	Observações e sugestões
<p>Abaixando a temperatura do supercondutor 00:03:45 até 00:05:04</p>	<p>Com o fundo preto e com letras brancas, a cena começa com a seguinte frase: Agora vamos abaixar a temperatura do supercondutor e ver o que ocorre. Em seguida, sobre uma superfície azul o professor coloca o suporte de isopor com papel fino, e coloca a placa de petri sobre o suporte. Em seguida coloca o supercondutor no centro da placa de petri e despeja-se o N₂ líquido lentamente sobre o sistema. Espera-se um tempo para o nitrogênio parar de borbulhar.</p>	<p>O professor deve informar aos alunos sobre a temperatura que se encontra o nitrogênio líquido e ressaltar o motivo de estar dentro de um recipiente térmico. Durante o despejo do N₂ líquido sobre o sistema, o professor explica o motivo do borbulhar do N₂.</p>
<p>Aproximando os materiais do supercondutor resfriado</p>	<p>Agora, aproxima-se vagorosamente a madeira das vizinhanças do supercondutor e observa-se o efeito. Em seguida, faz-se o mesmo com o</p>	<p>O professor deve investigar as hipóteses dos alunos perguntando</p>

<p>00:05:05 até 00:06:18</p>	<p>isopor, com o plástico, com o ferro e com o ímã.</p>	<p>o que eles acham que irá ocorrer quando cada material se aproximar do supercondutor.</p>
<p>Observando o supercondutor por outro ângulo 00:06:18 até 00:06:37</p>	<p>Observa-se o efeito que aparece quando o ímã é aproximado do supercondutor resfriado por um ângulo diferente.</p>	<p>O professor deve indagar os alunos com perguntas que os levem a refletir sobre o que está acontecendo.</p>
<p>Conclusões</p>	<p>Com as observações feitas até aqui, chega a hora de registrar as conclusões até o momento.</p>	<p>O professor deve pedir para os alunos registrarem suas conclusões no material do aluno.</p>

Tabela A.6. Roteiro do segundo momento do vídeo.

(Fonte: Autoria própria)

Espera-se que ao fim do segundo momento o aluno perceba que o supercondutor adquiriu uma nova propriedade da matéria relacionada com o magnetismo, já que o supercondutor repele o ímã fortemente quando estão a uma determinada distância um do outro. Além disso, é primordial que o aluno entenda que a redução de temperatura foi vital para a aquisição dessa nova propriedade. Essas conclusões devem ser discutidas com o professor (e entre os alunos) no andamento do vídeo e registradas em um material à parte (vide material do aluno).

(VII) Terceiro momento (00:06:38 até 00:08:15)

Agora que o aluno percebeu que o supercondutor adquire certa propriedade após atingir uma determinada temperatura, podemos apresentar a

levitação supercondutora. Essa parte exige muito cuidado por parte do professor que está apresentando o vídeo, pois os alunos devem entender, primeiramente, que a ordem do processo de resfriamento do supercondutor com a entrada dos materiais no sistema é importante e que só existe levitação entre o supercondutor e o ímã, descartando assim, os outros materiais. Outro fato é que no primeiro momento os materiais não tiveram qualquer interação com o supercondutor, no segundo momento o supercondutor foi repellido fortemente pelo ímã e no terceiro momento aparecerá uma espécie de repulsão fraca entre o ímã e o supercondutor (levitação), então é provável que os alunos possam entender que o material supercondutor pode virar um ímã forte se for resfriado sem estar na presença do campo magnético externo e fraco quando resfriado na presença do mesmo. Espera-se que essa ideia errônea seja desmistificada com os próximos vídeos (Tabela A.7 – Roteiro do terceiro momento).

Intervalo de tempo das cenas	Descrição das cenas	Observações e sugestões
<p>Os materiais (isopor, madeira, ferro, plástico) na presença do supercondutor durante o seu resfriamento 00:06:38 até 00:07:05</p>	<p>Com o fundo preto e com letras brancas, a cena começa com a seguinte frase: E se o supercondutor for resfriado na presença dos materiais? Em seguida, sobre uma superfície azul estará o suporte de isopor com papel fino e com a placa de petri sobre a sua parte superior. Com o supercondutor no centro da placa de petri, despeja-se o N₂ líquido lentamente sobre o sistema. No entanto, durante o resfriamento do supercondutor, os materiais estarão próximos das suas vizinhanças, com exceção do ímã.</p>	<p>O professor deve investigar as hipóteses dos alunos perguntando o que eles acham que irá ocorrer com cada material que está próximo do supercondutor durante seu resfriamento.</p>

<p>O ímã na presença do supercondutor durante o seu resfriamento 00:07:05 até 00:08:15</p>	<p>Agora, o ímã estará nas vizinhanças do supercondutor durante o seu resfriamento.</p>	<p>O professor deve investigar as hipóteses dos alunos perguntando o que eles acham que irá ocorrer com o ímã próximo da superfície do supercondutor durante seu resfriamento. Após o observado, o professor deve estimular hipóteses sobre como o ímã consegue levitar sobre o supercondutor.</p>
<p>Conclusões</p>	<p>Com as observações feitas até aqui. Chega a hora de registrar as conclusões até o momento.</p>	<p>O professor deve pedir para os alunos registrarem suas conclusões no material do aluno.</p>

Tabela A.7. Roteiro do terceiro momento do vídeo.

(Fonte: Autoria própria)

Por fim, espera-se que os alunos percebam que a levitação supercondutora necessite que o material cerâmico seja resfriado na presença de um campo magnético externo a uma determinada distância.

(VIII) Quarto momento (00:08:15 até 00:09:56)

É no quarto momento que a aprendizagem sobre como ocorre a levitação deve acontecer. Portanto, o professor com o auxílio do material do aluno, deve levar a turma à reflexão da causa do efeito, estimulando-os com perguntas que os levem a pensar sobre suas conclusões anteriores e o que está sendo observado. Eis alguns exemplos de perguntas que podem ser feitas pelo professor com o intuito de leva-los a esta reflexão:

XXV – Quais são as grandezas Físicas presentes no experimento?

XXVI – O que existe entre os ímãs e o material cerâmico?

Aqui, tudo que foi trabalhado nas atividades anteriores (Leis de Ampère, Faraday e Lenz) precisa ser levado em consideração e o professor deve lembrar isso aos alunos:

XXVII – Utilizando o conhecimento aprendido anteriormente, podemos resolver esse mistério? Como?

Vale lembrar que o terceiro momento pode causar conflito na linha de raciocínio dos alunos, pois nele é apresentada, a estabilidade do supercondutor quando o mesmo fica suspenso no ar de cabeça para baixo e quando ele entra em movimento continuamente (leva um certo tempo para entrar em repouso). A estabilidade do supercondutor não está sendo trabalhada, pois exige uma abordagem mais cuidadosa e este trabalho não possui tal foco.

Mesmo sendo cuidadoso com o entendimento do efeito, é provável que ocorra dissenso entre os alunos sobre a causa da levitação, então se possível, o professor divide a turma em grupos de alunos que comungam da mesma ideia (os alunos indecisos também devem formar grupo). Com os grupos formados, o professor dá início a um debate, possuindo a função de questionador e mediador entre as hipóteses apresentadas pelos grupos. Com o andamento do debate, os alunos que concordarem com alguma hipótese apresentada, devem migrar para o grupo que a apresentou. No fim, espera-se que fique somente um único grande grupo na turma, mostrando que houve um consenso de hipóteses. Abaixo (Tab. A.8) está representado o roteiro do quarto momento.

Intervalo de tempo das cenas	Descrição das cenas	Observações e sugestões
<p>Observando a levitação do ímã sobre o supercondutor mais de perto 00:08:15 até 00:09:56</p>	<p>A cena inicia-se com o a mensagem: Observe mais de perto. Em seguida aparece o supercondutor resfriado e com o ímã flutuando. A cena é parecida com as cenas finais do terceiro momento, no entanto, com mais detalhes.</p>	<p>Antes que comece o momento, o professor deve escutar as hipóteses dos alunos sobre o motivo da levitação. Além disso, o professor deve colocar na lousa as leis aprendidas nas atividades anteriores: Lei de Ampère, Lei de Faraday e Lei de Lenz. Com o andamento da cena, o professor deve acolher as hipóteses apresentadas de cada aluno e registrá-las na lousa. Além disso, o professor deve estimular a argumentação e a reflexão através de questionamentos.</p>

Conclusões	Com as observações feitas até aqui. Chega a hora de fazer a conclusão da atividade.	O professor deve pedir para os alunos registrarem suas conclusões no material do aluno.
-------------------	---	---

Tabela A.8. Roteiro do quarto momento do vídeo.

(Fonte: Autoria própria)

Com o fim do debate, espera-se que os alunos tenham entendido que a causa da levitação seja pela expulsão⁶⁰ do campo magnético externo devido as correntes superficiais (pares de Cooper) que aparecem no supercondutor que induz um campo magnético contrário ao externo. Com isso, o professor informa à turma que esse fenômeno recebe o nome de **EFEITO MEISSNER**.

A.6 Referências bibliográficas

COSTA, R.G.R.; SILVA, C.T.; COHEN, S.C. A origem do caos – a crise de mobilidade no Rio de Janeiro e a ameaça à saúde urbana. Cad. Metrop., São Paulo, v. 15, n. 30, p. 411-431, 2013.

DUBEUX, C.B. Mudanças no clima. Disponível em: <
http://s3.amazonaws.com/greennation/documents/arquivos/4723/original_CLIMA-GNF-CAROLINA-1.pdf > Acesso em: 25/09/2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Comunicado N° 113, 2011. Disponível em: <
http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110922_comunicadoipea113.pdf> Acesso em: 25/09/2017.

⁶⁰ A expulsão é parcial por se tratar de um supercondutor do Tipo 2, no entanto, esse trabalho não dá suporte para o aluno chegar a essa conclusão.

MIRAGLIA, S.G.E.K.; GOUVEIA, N. Custo da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 10, n. 19, p. 4141-4147, 2014.

NICOLUSSI, F.H.; SANTOS, A.P.M.; ANDRÉ, S.C.S.; VEIGA, T.B. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. *Revista Saúde Pública*, v. 2, n. 48, p. 326-330, 2014.

PAIVA, R.F.P.S. Morbidade hospitalar por doenças associadas à poluição do ar na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro: casos e custo econômico. *Cad. Saúde Colet.*, v. 2, n. 22, p. 127-32, 2014.

VONBUN, C. Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea (2015). Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5328/1/td_2123.pdf> Acesso em: 25/09/2017.

Apêndice B

Contextualização e levitação do MAGLEV

O Trem de Levitação Magnética Maglev



Figura B.1. Ilustração de um trem voando.

(Fonte: <https://apkpure.com/br/flying-train-in-sky/com.WorldGameSimulator.FlyingOldTrain>) Acesso em Janeiro de 2018.

B.1 Primeira etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV



Figura B.2. Ilustração do tráfego urbano.

(Fonte: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>) Acesso em Janeiro de 2018.

Leia atentamente os textos e discuta com seus colegas de grupo qual (ou quais) ponto(s) dos textos chamou mais a sua atenção.

Texto 1

Poluição veicular: um problema global e local

Em todo o mundo, as megacidades com mais de 10 milhões de habitantes enfrentam sérios problemas causados pela poluição veicular. Ao contrário do que se poderia supor, a poluição não é mais grave nos países mais ricos e desenvolvidos. Atualmente, grandes metrópoles como Paris, Nova York, Londres e Tóquio são menos poluídas do que muitas cidades de países em desenvolvimento, como a Cidade do México, Buenos Aires e São Paulo. Nesse ranking, os países pobres levam desvantagem, pois carecem de investimentos em transporte coletivo e outras medidas capazes de melhorar a qualidade do ar.

No Brasil, os paulistanos são os que mais sofrem com a poluição do ar. São Paulo tem sido apontada como a quinta cidade mais poluída do planeta. Em 2003, segundo dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento

Ambiental (Cetesb), órgão responsável pelo monitoramento da qualidade do ar no Estado, a região metropolitana possuía uma frota de 7,5 milhões de veículos e cerca de 2 mil indústrias. Estima-se que essas fontes de poluição são responsáveis pelas emissões para a atmosfera de: 1,8 milhões de t/ano de CO, 415 mil t/ano de HC, 409 mil t/ano de NOx, 67 mil t/ano de MP e 37 mil t/ano de SOx. Desses totais, os veículos são responsáveis por 98% das emissões de CO, 97% de HC, 97% de NOx, 52% de MP e 55% de SOx⁶¹. Da frota que circula na região metropolitana de São Paulo, 5,8% dos veículos são movidos a óleo diesel (cerca de 400 mil veículos, entre ônibus, caminhões e caminhonetes) e despejam anualmente 12,4 mil toneladas de fumaça preta na atmosfera, colocando em risco o meio ambiente e a saúde da população.

Para os governos de todo o mundo, a poluição representa um grande ônus, pois é preciso manter mecanismos sofisticados de medição da qualidade do ar e estabelecer políticas de controle da poluição. Em muitos países, essas medidas têm contribuído para dar um alívio à população. Na Cidade do México, por exemplo, depois de dez anos de um programa que incluiu o rodízio de automóveis, a inspeção dos veículos a cada seis meses e o melhoramento dos combustíveis, os índices de poluição se tornaram mais baixos. Mesmo assim, a cidade ocupa o terceiro lugar na lista das mais poluídas do mundo.

No Brasil também foram adotadas várias medidas para reduzir os níveis de poluição veicular. Merece destaque a iniciativa do Ibama, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores (Proconve). Por meio da Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986, o Proconve estabeleceu como objetivo principal a redução da emissão de poluentes por veículos automotores nacionais e importados. A resolução foi ratificada pela Lei nº 8723, de 28 de outubro de 1993.

Desde a sua implantação, o Proconve já promoveu a redução das emissões de monóxido de carbono dos veículos novos em cerca de 97%. O programa também estabeleceu a inspeção periódica dos veículos em circulação para verificação dos níveis de emissão dos escapamentos. O país também foi o primeiro do mundo a produzir gasolina sem chumbo, reduzindo as nocivas emissões de compostos desse metal, e a utilizar combustíveis

⁶¹ Nomenclaturas: CO = Monóxido de Carbono; HC = Alguns Hidrocarbonetos; NO = Monóxido de Nitrogênio; SO = Óxido de Enxofre.

alternativos, como o álcool. Atualmente, não se usa mais gasolina pura nos veículos rodoviários, e sim uma mistura de gasolina e álcool anidro, muito menos poluente. O Proconve também possibilitou o desenvolvimento tecnológico dos veículos, permitindo a introdução do uso de catalisadores no Brasil, a partir de 1992. Um cilindro de aproximadamente 30 cm é colocado antes do cano de escapamento dos veículos automotores, para promover o tratamento dos gases produzidos pela queima de combustível.

Com essas medidas, a qualidade do ar tem melhorado nos últimos anos, mas isso ainda não é suficiente para conter o efeito negativo de uma frota de veículos que não pára de crescer. Só para se ter uma ideia, de 1980 para cá, a frota cresceu 215% (cerca de 12 vezes mais que o crescimento da população, que foi de 18%). Isso significa que, a cada ano, são cerca de 170 mil veículos novos em circulação. Em muitas cidades, o número de automóveis já é tão grande que eles passam a maior parte do tempo presos em longos congestionamentos, o que contribui para aumentar ainda mais as emissões.

(Fonte: CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. [acesso em 24 de ago 2017]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>)

Responda as seguintes perguntas:

I – Você contribui de alguma maneira para a redução da poluição do ar? (Se sua resposta for “sim”: *Como?*) (Se sua resposta for “não”: *Por quê?*).

II – De que maneira a poluição do ar afeta o seu dia a dia?

Texto 2

Uma opção de transporte

Com o objetivo de incentivar a população a utilizar transportes alternativos em detrimento a veículos, uma boa prática ambiental que contribui para desafogar o trânsito, os servidores da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) e do Instituto Estadual do Ambiente (Inea) se mobilizaram e fizeram suas selfies registrando de que forma chegaram ao trabalho neste dia.

Os registros fotográficos foram feitos na última quinta-feira (22/09⁶²), data de atenção ao Dia Mundial Sem Carro. As imagens estarão reunidas em um mural que será montado na entrada da sede da Sea/Inea, na Avenida Venezuela, no Centro do Rio.

A servidora do Inea, a advogada Fernanda Pietro utiliza um ônibus e o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para se deslocar do município de Petrópolis, onde mora, até a sede do Inea, no Centro do Rio.

Já a servidora Lohanna Costa, moradora de Bonsucesso, costuma se deslocar para o trabalho utilizando o transporte ferroviário, ramal de Gramacho.

Mesmo os servidores que precisam utilizar o carro, fizeram desta quinta-feira (22/09) um dia diferente, deixando o automóvel na garagem e aderindo à campanha pelo uso do transporte alternativo. Os servidores participaram ainda de um passeio ciclístico que contou com a presença do Secretário de estado do Ambiente André Corrêa, o Presidente do Inea, Marcus Lima e demais diretores e gerentes.

O ponto de partida foi na sede do Inea, no Centro do Rio, de onde saíram pedalando em 20 triciclos individuais e de família, cedidos pelo Instituto Caminhos da Terra, com destino ao Museu do Amanhã, passando pelo Boulevard Olímpico, onde foi lançado o 2º Inventário de Emissões Veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com destaque para a redução de até 90% das emissões atmosféricas contempladas no 1º inventário publicado em 2004.

Passada mais de uma década da primeira publicação, durante a qual foram aplicadas diversas medidas de controle de emissões veiculares, tanto em âmbito nacional quanto estadual, as emissões estimadas foram reduzidas em aproximadamente 90% para monóxido de carbono (CO) e 75% para os óxidos de nitrogênio (NOx). Em relação ao somatório das emissões estimadas em 2004 e 2016, a redução alcançou 90% mesmo com a ampliação, de 186 para 1.233 de vias inventariadas e da frota (de 885.716 para 1.352.561) consideradas no estudo.

“O inventário de emissão veicular é uma das ferramentas mais úteis na gestão do controle da poluição atmosférica. Por meio do levantamento das

⁶² Ano: 2016.

emissões de poluentes emitidos pela frota de veículos automotores de uma região, o inventário permite a elaboração de diagnósticos que norteiam e reforçam as ações governamentais preventivas e corretivas e também contribuem para o desenvolvimento de ações pontuais de controle”, disse o secretário estadual do ambiente, André Corrêa.

(Fonte: <http://200.20.53.3:8081/Portal/Noticias/INEA0127231&lang=#ad-image-0>.

Notícia publicada em 26/09/2016. (Acesso em Janeiro de 2018)

Responda as seguintes perguntas:

III – Qual atividade podemos propor aos nossos amigos para proporcionar a redução da poluição do ar no nosso bairro? (A resposta deve ser a mesma para todos os membros do grupo!).

IV – Na sua família, que medidas podem ser tomadas para contribuir com a proposta mencionada no item anterior?

Texto 3

Uma decisão estratégica

A necessidade de transporte público eficiente, não poluidor e com custos de implantação e manutenção competitivos, faz parte das prioridades do mundo moderno, onde uma grande parte da população concentra-se em metrópoles.

Cidades que dispõem de uma extensa malha de metrô subterrâneos são consideradas como modelos de solução. No entanto, o custo de implantação destas vias encontra-se na faixa de 100 a 300 milhões de reais por km, dependendo do tipo de solo.

É na busca de uma solução que contemple questões operacionais de manutenção e implantação, além de custos, que surge a Tecnologia MagLev Cobra.

A tecnologia MagLev cobra é a proposta de um veículo urbano de levitação magnética com articulações múltiplas, que lhe permite efetuar curvas com raios de 50 metros, vencer aclives de até 15% e operar em vias elevadas ou ao nível do solo a uma velocidade aproximada de 70km/h.

O custo de implantação desta revolucionária tecnologia é da ordem de 1/3 do necessário para um metrô.

O sistema MagLev Cobra vale-se das propriedades diamagnéticas dos supercondutores de elevada temperatura crítica Y-Ba-Cu-O e do campo magnético produzido por ímãs de Nd-Fe-B para obter a levitação.

Estes materiais só foram produzidos a partir do final do século passado e ainda não existe no mundo nenhum veículo que use esta tecnologia.

Isso significa, em outras palavras, que o Brasil está na vanguarda tecnológica, o que nos permitirá galgar um importante degrau no crescimento científico aplicado, uma verdadeira revolução com inúmeros desdobramentos.

A tração é obtida através da ação de um motor linear, tecnologia que também abre novas expectativas para o parque industrial brasileiro.

Sendo movido pela energia elétrica, cuja produção no Brasil é predominantemente de origem hidráulica, o sistema MagLev Cobra opera sem nenhuma emissão de gases poluentes.

Por não depender de atrito mecânico, o sistema MagLev Cobra, além de menor consumo energético, não produz poluição, podendo harmonizar-se com a arquitetura das cidades em vias elevadas, apresentando uma imagem futurista dos locais onde for instalado.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com o instituto Leibniz (IFW), da Alemanha, comprovou a aplicação desta tecnologia através de modelos funcionais em escala reduzida.

Após o enorme sucesso que representaram as demonstrações públicas da tecnologia através dos modelos em escala, a FAPERJ e o BNDES apoiaram o projeto, investindo nas pesquisas que estão em processo de viabilização de um protótipo funcional em escala real.

Este protótipo⁶³ em escala real operará em uma linha de testes com 223m de extensão em uma área já doada pela prefeitura da Cidade Universitária, ligando os dois Centros de Tecnologia. A UFRJ aposta no projeto como uma solução de apelo mundial para a redução dos gases poluentes responsáveis pelo aquecimento global.

⁶³ O protótipo já está em funcionamento na Ilha do Fundão desde 01/10/2014.

O investimento na tecnologia é uma decisão estratégica para todo país que reconhecer que o domínio tecnológico será o principal elemento que o diferenciará no futuro, trazendo vantagens econômicas diretas e incontáveis benefícios indiretos.

(Fonte: <http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/veiculo.html> (Acesso em 08/02/2018))

Responda a seguinte pergunta:

V – O que mais chamou a sua atenção no trem supercondutor?

Debate simulado

Agora a turma irá participar de um debate simulado sobre o tema em questão. Siga as orientações dadas pelo professor e, no fim do debate, responda:

VI – Você concorda com a utilização do trem MAGLEV na nossa sociedade? Justifique sua resposta.

B.2 Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV



Figura B.3. MAGLEV-COBRA.

(Fonte: <https://oglobo.globo.com/rio/trem-de-levitacao-magnetica-abre-as-portas-para-publico-na-ufrj-18684652>) Acesso em Janeiro de 2018.

Na etapa anterior, foi vista a importância que o transporte de massa possui no nosso cotidiano e no meio ambiente. Agora, voltemos a nossa atenção para a Física envolvida no trem de levitação magnética. Assista ao vídeo que o professor irá expor e, em seguida, faça as seguintes anotações:

VII – Quais vantagens que você achou mais relevantes no trem supercondutor em relação aos outros trens? E quais as desvantagens que esse meio de transporte pode ter na sociedade?

VIII - O que eu preciso saber para entender a Física presente no MAGLEV?

B.3 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV

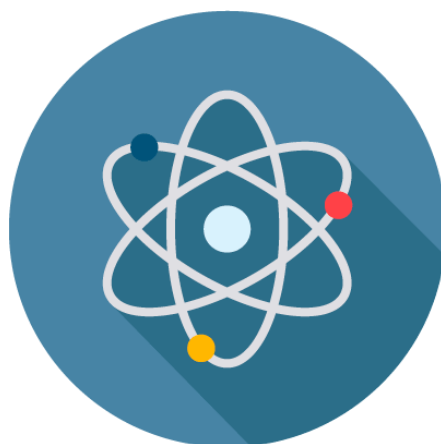


Figura B.4. Ilustração tradicional do átomo.

(Fonte: <https://aulalivre.net/disciplina/fisica>) Acesso em Janeiro de 2018.

Atividade 1

Para compreender com clareza a Física envolvida nos trens de levitação magnética, será preciso conhecer alguns conceitos fundamentais. Siga as orientações dadas pelo professor e faça as questões a seguir:

Primeiro momento

VI - Com a orientação do professor, desenhe em uma folha separada a figura que está se formando nas vizinhanças do fio condutor.

VII - Qual o significado da figura formada?

VIII - O que o grupo pode concluir da atividade?

Segundo momento

IX - Faça o desenho da imagem que está se formando quando os fios estão dobrados.

X - Explique o que está ocorrendo no interior da espira.

Terceiro momento

XI - Descreva quais as estratégias que podem ser usadas para resolver o problema proposto pelo professor.

XII - Descreva a “melhor” maneira de resolver o problema proposto e explique o critério de você ter considerado como sendo a “melhor” maneira de resolver o enigma.

XIII - Explique a Física envolvida na maneira dada pelo exercício acima.

XIV - Faça um desenho do esquema da maneira que você considerou para resolver o problema.

Atividade 2

Para compreender o funcionamento básico do trem de levitação supercondutora, estudamos na “Atividade 1” o fenômeno do surgimento do campo magnético por uma corrente elétrica que transpassava um fio condutor retilíneo. Contudo, esta atividade abordará outro fenômeno envolvido na Física dos trens supercondutores. Siga as orientações do professor e faça as questões abaixo:

XIV - No início da atividade, o professor colocou o pedaço de madeira no centro da bobina e nada ocorreu. Escreva qual o motivo.

XV - Depois de colocar madeira, o professor aproximou o ímã do fio de cobre e nada ocorreu, mas depois de um determinado movimento, houve um leve deslocamento da bobina. Como você explica isso?

XVI - O que o grupo fez para resolver o desafio proposto pelo professor? Quais foram os procedimentos tomados pelo grupo?

XVII - Essa atividade possui alguma relação com o conhecimento adquirido na atividade anterior? Como você explica a Física envolvida no fenômeno observado?

XVIII - Agora, tente responder a pergunta dada no início da atividade: “É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?”.

XIX - A figura abaixo representa o esquema do aparato experimental utilizado em sala. Explique (e desenhe se precisar) qual foi o movimento feito pelo grupo para conseguir realizar o desafio do professor.

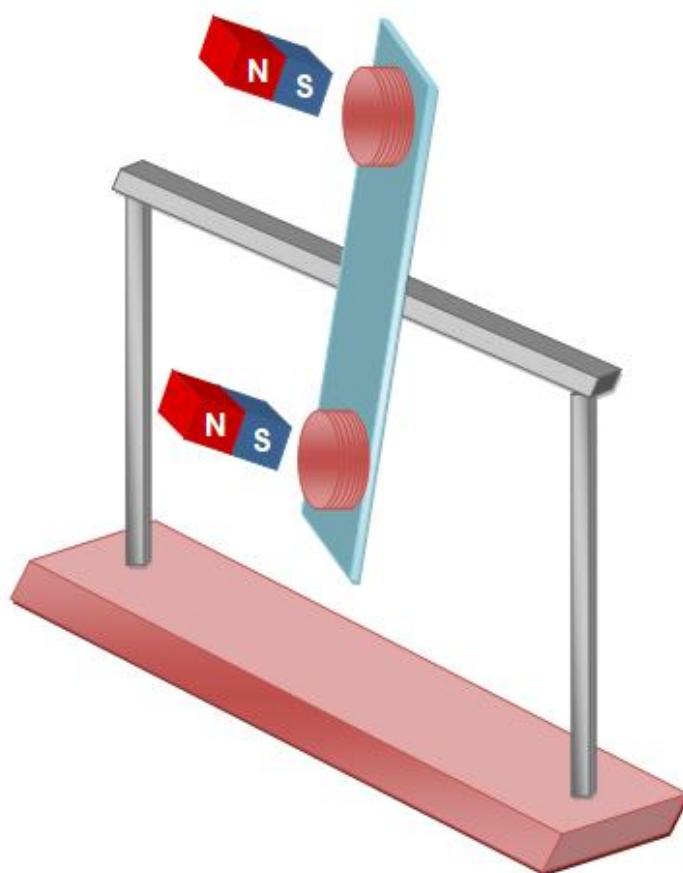


Figura B.5. Ilustração do aparato experimental usado no dia da atividade.

(Fonte: Autoria própria)

XX - Continuando com a análise do aparato experimental, indique para qual sentido a régua irá se deslocar: horário (a parte superior da régua irá para direita) ou anti-horário (a parte superior da régua irá para esquerda). Justifique sua resposta.

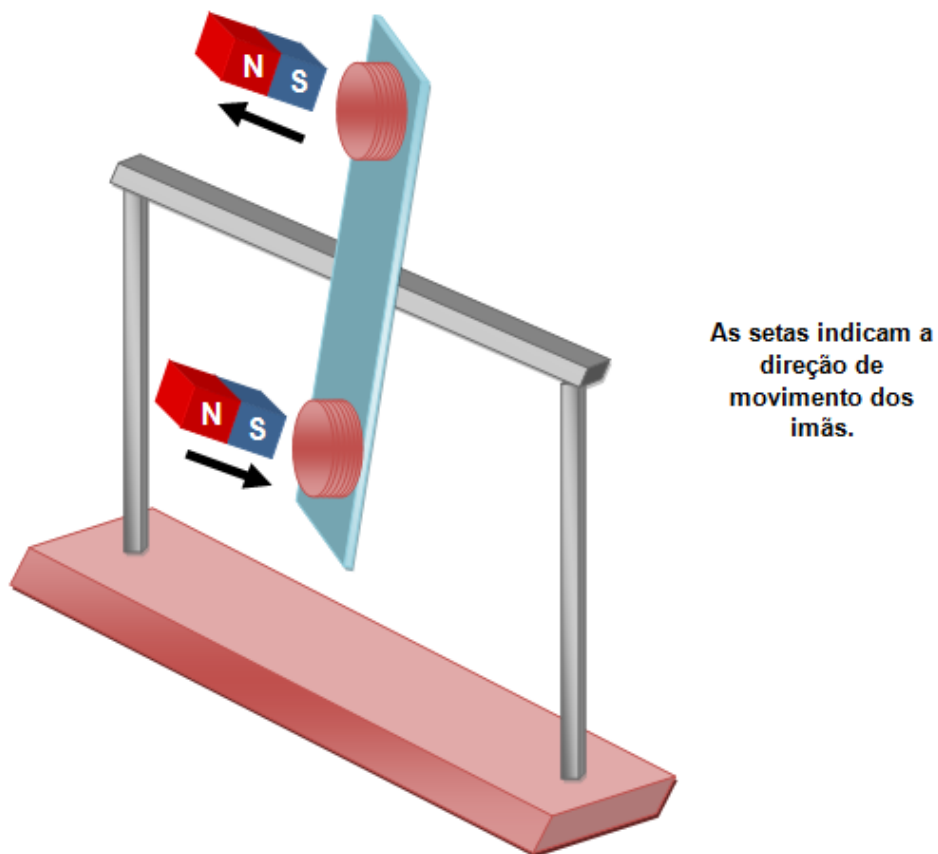


Figura B.6. Ilustração do aparato experimental usado no dia da atividade.
(Fonte: Autoria própria)

XXI - Desenhe as linhas de campo magnético e a orientação da corrente elétrica na bobina abaixo:

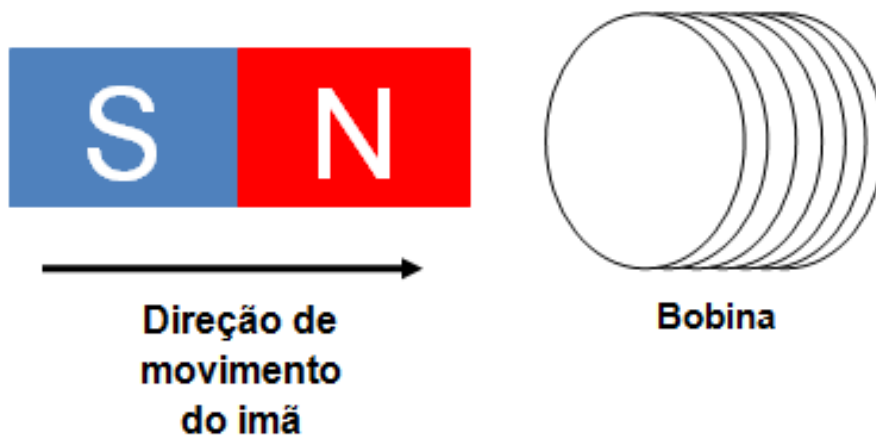


Figura B.7. Exercício sobre a corrente induzida em uma bobina de cobre.
(Fonte: Autoria própria)

XXII - Faça o mesmo nos esquemas abaixo:

a)



Figura B.8. Exercício sobre as correntes induzidas em duas bobinas de cobre.

(Fonte: Autoria própria)

b)



Figura B.9. Exercício sobre as correntes induzidas em duas bobinas de cobre.

(Fonte: Autoria própria)

Atividade 3

Com todo o conceito físico trabalhado nas atividades anteriores, podemos dar início à investigação dos mistérios presentes nos trens que levitam com a tecnologia de supercondução. Siga as orientações do seu professor e faça os exercícios abaixo quando for solicitado.

Primeiro momento

XXII - Como um trem consegue levitar com a tecnologia supercondutora?

XXIII - É neste vídeo que aparece pela primeira vez o supercondutor. Antes de fazermos a investigação sobre suas propriedades, o que ele aparenta ser? Você acha que ele possui alguma propriedade especial?

XXIV - O que ocorreu quando os materiais (madeira, isopor, ferro, ímã, plástico) se aproximaram do supercondutor? Qual material chamou mais a sua atenção? A sua resposta vai de encontro com a resposta da questão XXIII? Por quê?

XXV - O que pode ser concluído das observações feitas?

Segundo momento

XXVI - O que vocês acham que pode acontecer se resfriarmos o supercondutor com N₂ líquido?

XXVII - O que ocorreu quando os materiais (madeira, isopor, ferro, ímã, plástico) se aproximaram do supercondutor resfriado? Qual material chamou mais a sua atenção? Por quê?

XXVIII - O que pode ser concluído das observações feitas?

Terceiro momento

XXIX - Se resfriarmos o supercondutor com o N₂ líquido na presença de algum material, fará alguma diferença?

XXX - O que ocorreu na experiência quando o supercondutor foi resfriado na presença da madeira? Do isopor? Do ferro? Do ímã? Do plástico? Qual material chamou mais a sua atenção? Por quê?

XXXI - O que pode ser concluído das observações feitas?

XXXII - Até agora, qual material chamou mais a sua atenção?

XXXIII - Qual a diferença nos procedimentos realizados nos vídeos 1, 2 e 3?

XXXIV - O que pode ser concluído das observações feitas?

Quarto momento

XXXV - Como você explica a causa do ímã conseguir flutuar?

XXXVI - Faça um desenho da sua explicação no esquema abaixo:

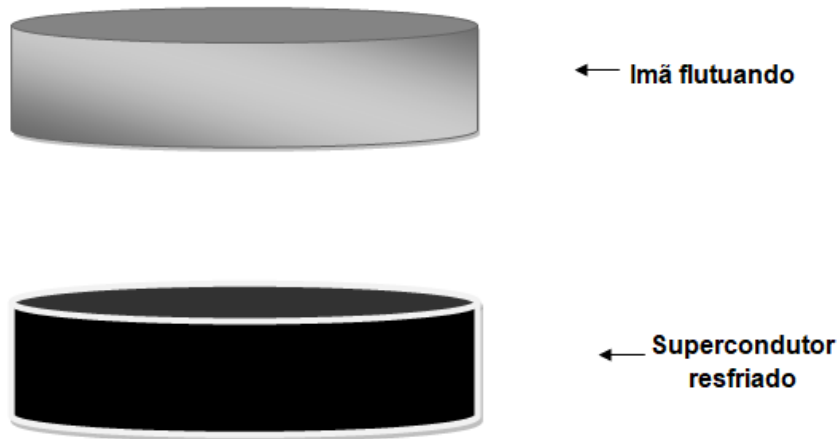


Figura B.10. Exercício sobre a corrente induzida na superfície de um supercondutor.
(Fonte: Autoria própria)

XXXVII - Se utilizarmos os conhecimentos adquiridos nas atividades anteriores, conseguiremos resolver o enigma acima? Como?

XXXVIII - O que pode ser concluído até o presente momento?

XXXIX - Abaixo, está exposta uma peça do trilho magnético com o supercondutor suspenso. Explique o motivo de o supercondutor estar levitando com o desenho das linhas de campo magnético.

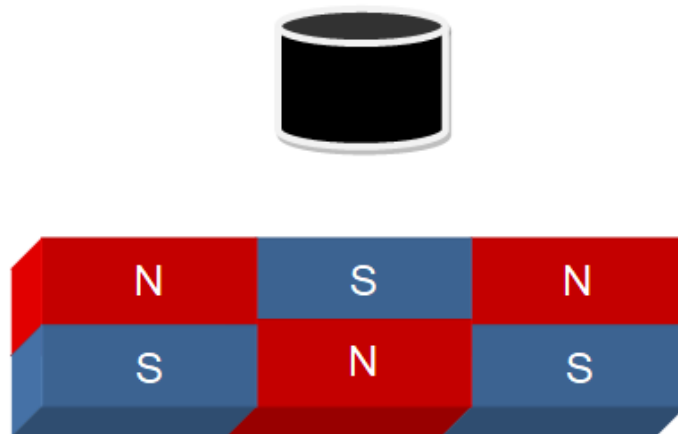


Figura B.11. Exercício sobre a causa da levitação de um supercondutor sobre um trilho magnético.
(Fonte: Autoria própria)

Anexo

Autorização



COLÉGIO ESTADUAL GENERAL OSÓRIO

AUTORIZAÇÃO PARA FOTOGRAFIA, FILMAGEM E GRAVAÇÃO EM ÁUDIO

Por meio deste documento autorizo o professor/pesquisador ANDERSON DA SILVA CUNHA ou o(s) seu(s) representantes(s) por ele designado(s), a fazer, reproduzir, multiplicar fotografias, vídeos, filmes ou transparências em que eu aluno/a do COLÉGIO ESTADUAL GENERAL OSÓRIO, matriculado no NEJA 4 TURMA 3 do ensino médio, apareça no todo e ou focalizado/a uma parte de seu corpo, para fins de pesquisa, informação e ou divulgação, para ensino de Física e ou para docência, publicados em periódicos ou em outros meios de divulgação científica, podendo ser feitos em cor ou em preto e branco. Autorizo ainda, que a reprodução e multiplicação dessas imagens possam ser acompanhadas ou não de texto explicativo, abrindo mão de qualquer direito de pré-inspeção e pré-aprovação do material, assim como de qualquer compensação financeira pelo seu uso, e que será publicado preservando seu(s) nome(s) e privacidade.

Deixo expresso nesta autorização que () permito ou () não permito que o rosto seja utilizado, sem as tarjas usualmente empregadas para dificultar a identificação.

Declaro que sou responsável, tendo todo o direito de autorizar os termos acima expressos, estando plenamente ciente do inteiro teor desta autorização.

Instituição: Colégio Estadual General Osório – NEJA

Data: ____/____/2017

Nome completo do estudante: _____

Idade do estudante: _____

Nome completo do responsável: _____

Idade do responsável: _____

Parentesco: _____

Assinatura do responsável: _____

Identidade: _____

Residência (rua, bairro, cidade): _____

(se menor de 18 anos, o responsável deve assinar).