



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

Material Instrucional para o Professor
Investigando o MAGLEV

Anderson da Silva Cunha
Deise Miranda Vianna
Marcos Binderly Gaspar

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Anderson da Silva Cunha, intitulada Levitando com a Física, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1: Introdução | 3 |
| Capítulo 2: Investigando o MAGLEV | 4 |
| 2.1 Breve panorama do problema da poluição do ar | 4 |
| 2.2 Introdução à sequência de Atividades Investigativas | 7 |
| 2.3 Primeira etapa – Contextualização e problematização do MAGLEV | 8 |
| 2.4 Segunda etapa – Tecnologia envolvida no MAGLEV | 10 |
| 2.5 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV | 11 |
| 2.5.1 Atividade 1 - Campo magnético produzido por um fio condutor..... | 11 |
| 2.5.2 Atividade 2 – Corrente elétrica induzida..... | 21 |
| 2.5.3 Atividade 3 – Como o trem levita?..... | 27 |
| Capítulo 3: Referências bibliográficas | 40 |

Capítulo 1

Introdução

Material para o professor

Este material didático, que é destinado para professores do ensino médio, contém uma sequência de atividades que possuem como propósito principal contextualizar o trem supercondutor e entender a causa de sua levitação de maneira qualitativa.

Capítulo 2

Investigando o MAGLEV

2.1 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 locomoção¹ 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

¹ 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 2.1). 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 escolares², 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 ³ " 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. |

² Aqui, escolares significam crianças de 6 a 7 anos de idade que frequentam instituições de ensino.

³ 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 2.1. 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 2.1 no ano de 2005.

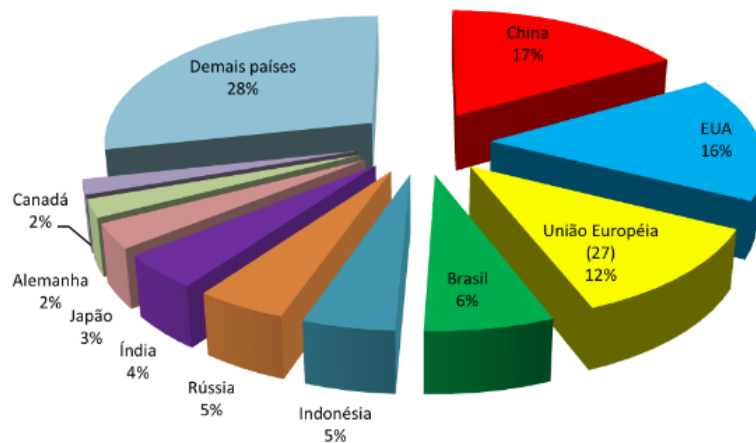


Figura 2.1. Emissores de GEE em 2005 pelo mundo.

(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.

2.2 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.

2.3 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.

2.4 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 2.2):



Figura 2.2. 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?

2.5 Terceira etapa – A Física envolvida no MAGLEV

2.5.1 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 2.2 e Figura 2.3 está a relação de materiais necessários.

| Material | Quantidade | Preço (R\$) ⁴ |
|---|------------|--------------------------|
| 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 2.2. Lista de materiais da Atividade 1.

(Fonte: Autoria própria)

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



⁴ Todos os preços dos componentes experimentais usados nesta dissertação foram pesquisados em janeiro de 2018.

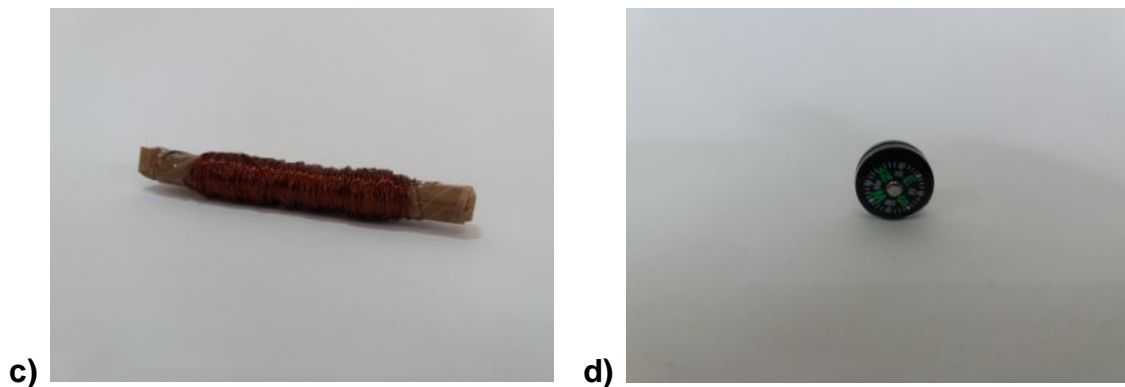


Figura 2.3. Kit experimental da Atividade 1 – **a)** Pilha tipo D de 1,5V; **b)** Aparato de madeira; **c)** Fio de cobre esmaltado enrolado em um tubo de papelão; **d)** Bússola.

(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 28⁵), 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 notebook⁶, que possui uma tensão de saída de 19,5 V e também

⁵ AWG significa American Wire Gauge (Escala Americana de bitolas de fios) é uma antiga escala normatizada para informar as bitolas de fios elétricos.

⁶ Podem-se usar carregadores de celulares como fonte de tensão.

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 2.4).

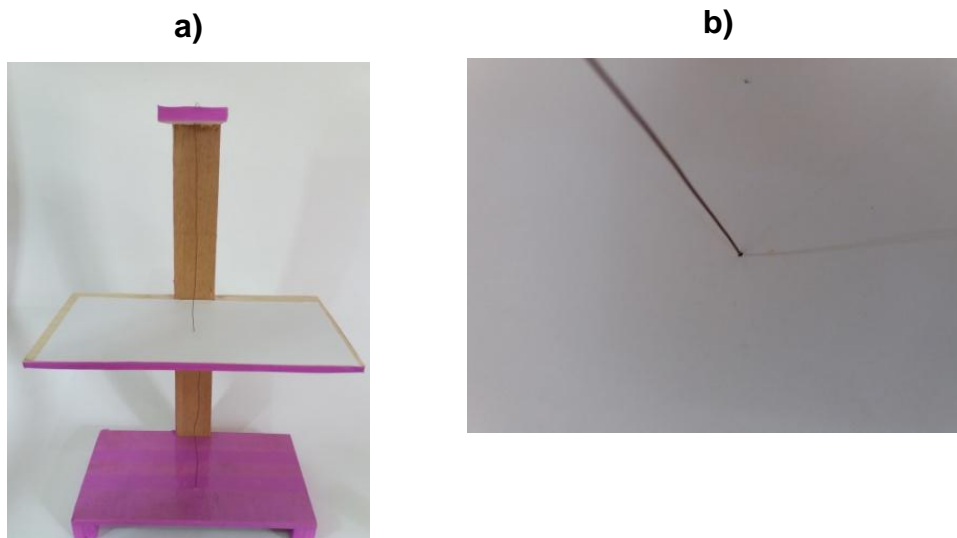


Figura 2.4. Fio de cobre perpendicular ao plano da plataforma – **a)** Aparato de madeira com o fio de cobre passando pela folha de papel; **b)** Visão do fio de cobre passando pela folha de papel.

(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 2.5). Então, o professor pergunta à turma:

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



Figura 2.5. 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 2.6). 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 2.6. Bússola nas vizinhanças do fio condutor com corrente elétrica⁷.

(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

⁷ Note que na Figura 2.5 o polo norte estava apontando para o lado direito (ausência de corrente), já na Figura 2.6, 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 2.7).

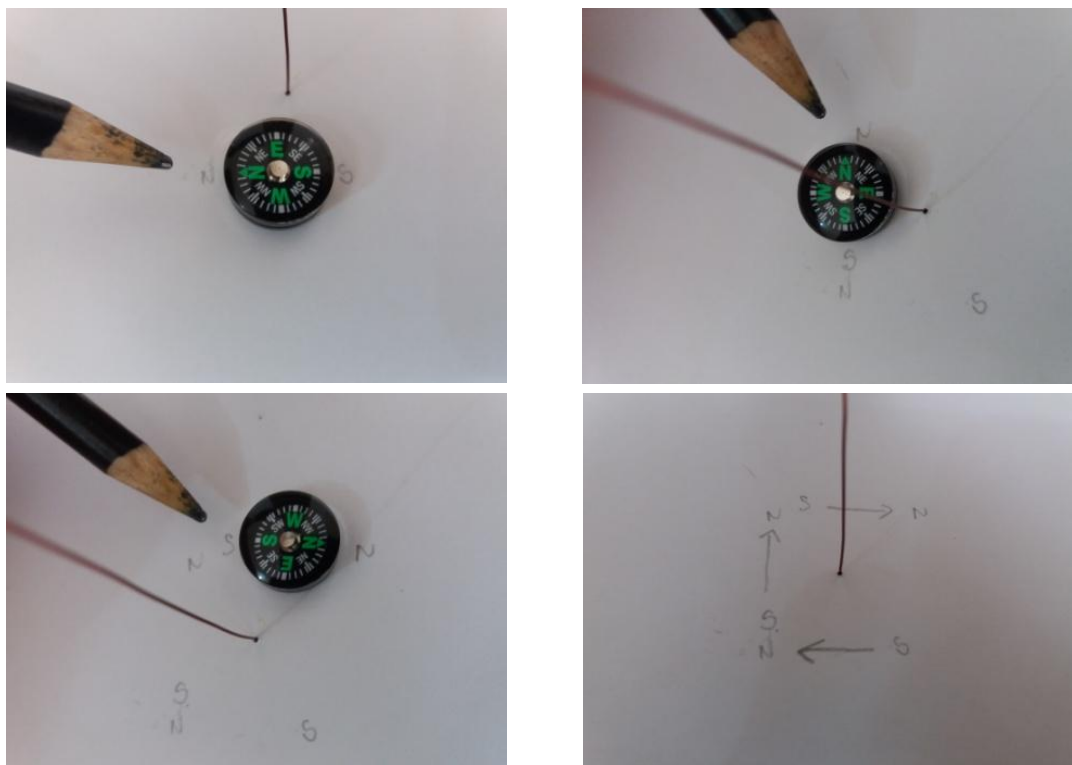


Figura 2.7. Mapeando o campo magnético induzido.

(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 2.8 abaixo:



Figura 2.8. 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 2.9).



Figura 2.9. 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.

2.5.2 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 2.3 e estão presentes na Figura 2.10.

| 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 2.3. Lista de materiais da Atividade 2.

(Fonte: Autoria própria)

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

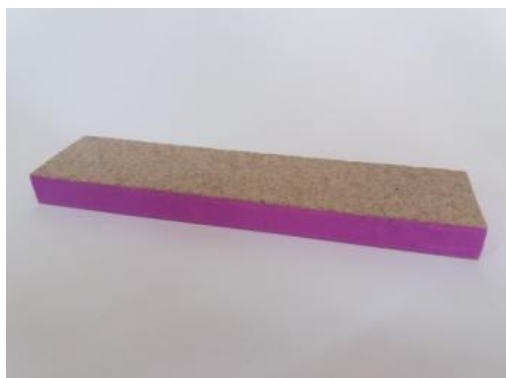
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



Figura 2.10. 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 2.11 abaixo⁸:

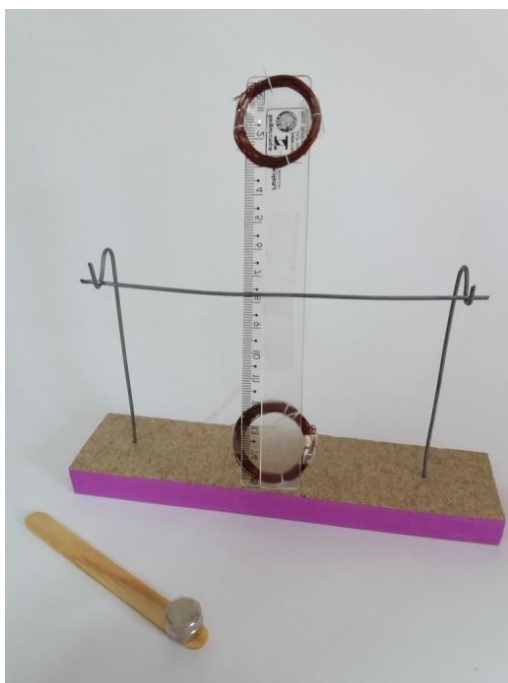


Figura 2.11. Kit experimental da Atividade 2.
(Fonte: Autoria própria)

⁸ 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 2.12). Depois ele pega os ímãs e volta a perguntar à turma:



Figura 2.12. 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 2.13).



Figura 2.13. 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. 2.14):

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

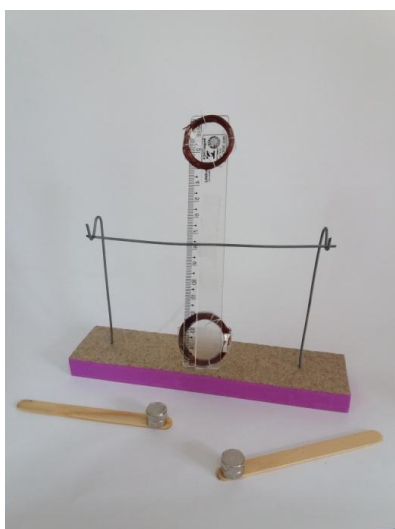


Figura 2.14. Desafio da Atividade 2.

(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.

2.5.3 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

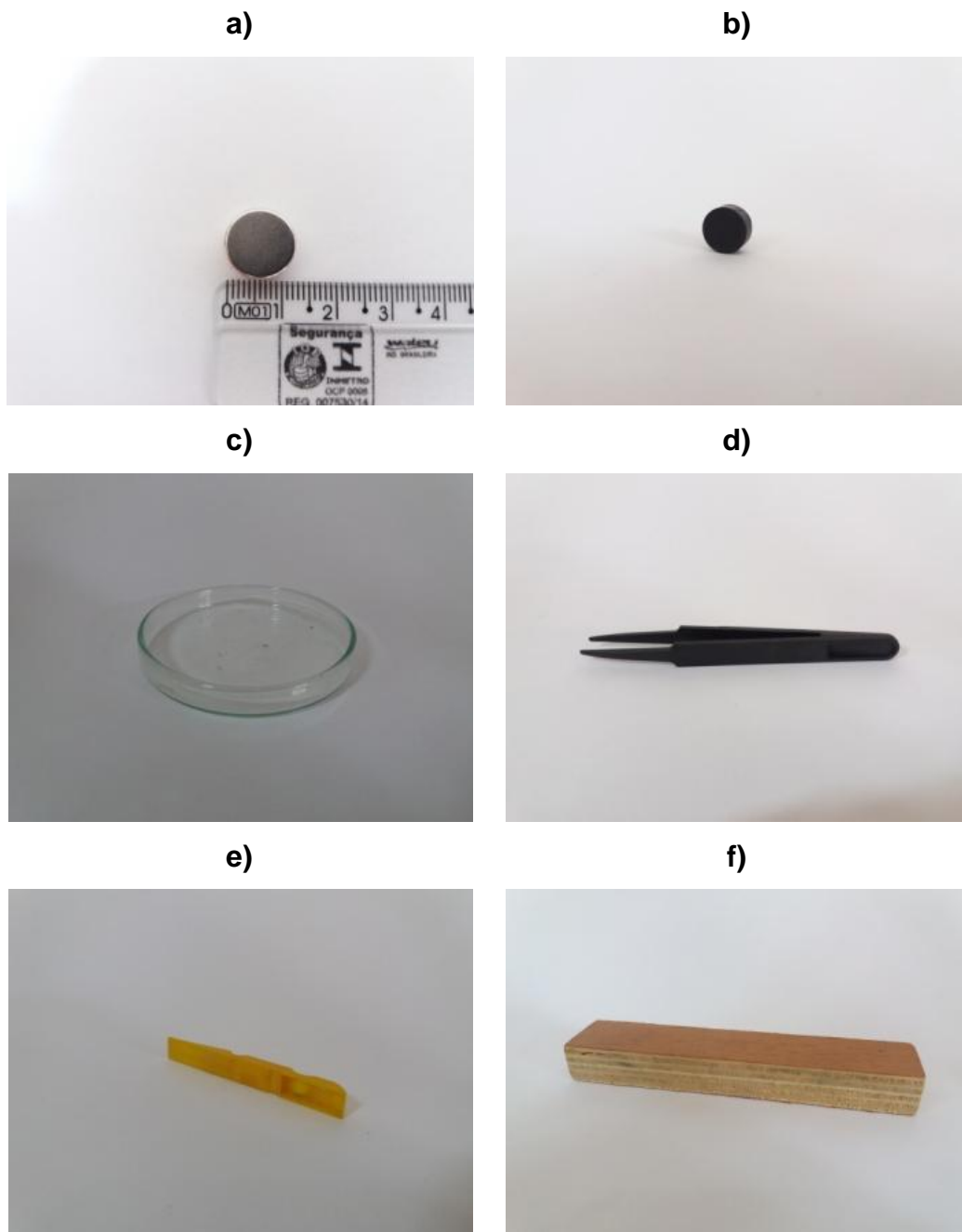
Para a execução da atividade, será utilizado um vídeo de caráter investigativo (link: <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>). Para a produção do vídeo foi necessária a aquisição dos materiais listados na Tabela 2.4:

| 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 2.4. Lista de materiais da Atividade 3.

(Fonte: Autoria própria)

É notável que alguns materiais listados na Tabela 2.4 e expostos na Figura 2.15⁹ 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.



⁹ Nem todos os materiais estão expostos na Figura 2.15.

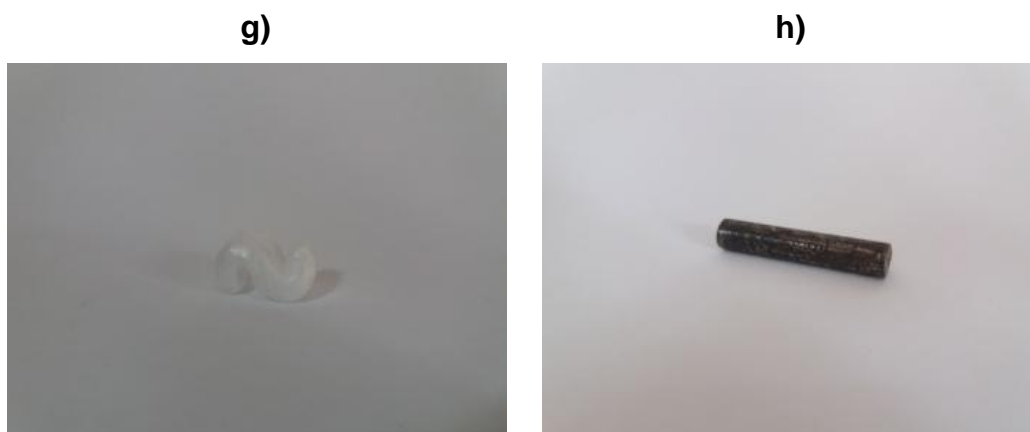


Figura 2.15. Kit experimental da Atividade 3 – **a)** Ímã de neodímio; **b)** Supercondutor cerâmico; **c)** Placa de petri; **d)** Pinça; **e)** Plástico; **f)** Pedaco de madeira; **g)** isopor; **h)** Barra de ferro.

(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 2.5.

| 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 2.5. 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 2.6.

| 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 vagarosamente 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 2.6. 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 2.7 – 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 2.7. 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. 2.8) 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 2.8. 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 expulsão¹⁰ 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**.

¹⁰ 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.

Capítulo 3

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_CLIM A-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.

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.