

Rafael Roza

**DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO  
DIDÁTICO PARA DEMONSTRAÇÃO DO  
COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DA  
MATÉRIA E FENÔMENOS  
ELETROMAGNÉTICOS**

Dissertação submetida ao Programa de  
Mestrado Nacional Profissional em  
Ensino de Física da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Mestre em  
Ensino de Física  
Orientador: Prof. Dr. Cristiano da Silva  
Teixeira

Blumenau  
Março de 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Roza, Rafael

Desenvolvimento de um produto didático para  
demonstração do comportamento magnético da matéria e  
fenômenos eletromagnéticos / Rafael Roza ;  
orientador, Cristiano da Silva Teixeira, 2018.  
119 p.

Dissertação (mestrado profissional) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Ensino de  
Física, Blumenau, 2018.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Física na Educação Básica.  
3. Problemas no Ensino de Física. 4. O Ensino de  
Física no Brasil. 5. Eletromagnetismo. I. Teixeira,  
Cristiano da Silva. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino  
de Física. III. Título.

Rafael Roza

**DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO DIDÁTICO PARA  
DEMONSTRAÇÃO DO COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DA  
MATÉRIA E FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de  
MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA na área de concentração Física na  
Educação Básica e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Blumenau, 12 de março de 2018.

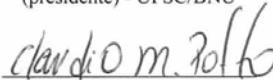


Prof. Dr. Daniel Girardi  
Coordenador do Programa

**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Cristiano da Silva Teixeira  
(presidente) - UFSC/BNU



Prof. Dr. Claudio Michel Poffo  
(membro externo) - UFSC/ARA



Prof.ª. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli  
(membro titular) - UFSC/BNU



Este trabalho é dedicado aos meus pais, meus professores do curso, especialmente ao meu professor orientador Prof. Dr. Cristiano da Silva Teixeira que não mediu esforços em minha orientação.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus pais pelo incentivo na busca de aprimoramento constante;

Ao meu orientador, por aceitar-me como orientando e por todas as orientações;

À coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Física que permitiu a possibilidade da realização do curso;

Aos colegas de classe pela convivência, pela cooperação em vários momentos, pela união, pela empatia e ajuda em diversos momentos do presente curso;

Aos meus alunos, pelo interesse demonstrado na aplicação deste projeto;

À CAPES pelo apoio financeiro destinado a este programa de mestrado;

À Universidade Federal de Santa Catarina e seus professores pelo comprometimento e disponibilidade para a realização deste programa;

Ao Colégio São Paulo de Ascurra/SC pela aceitação da aplicação e credibilidade neste produto pedagógico;

A Jaderson Guilherme Polli, acadêmico de Licenciatura em Física, ex-aluno do Colégio São Paulo de Ascurra/SC pelo auxílio na formatação da presente dissertação;

À Meriele Coelho pela exemplar dedicação na revisão ortográfica desta dissertação.



Conte-me e eu esqueço. Mostre-me e eu apenas  
me lembro. Envolve-me e eu compreendo.  
(Confúcio, séc. V a.C.)



## RESUMO

Esta dissertação apresenta uma proposta de um produto didático constituído de três experimentos que, por sua vez, buscam evidenciar os comportamentos magnéticos da matéria e a relação entre eletricidade e magnetismo, através das leis de Faraday e Lenz. É demonstrada a importância da abordagem de tais conteúdos no ensino médio, tendo em vista suas aplicações no mundo moderno. Adicionalmente, a otimização do tempo e aprendizado, promovidos pela aplicação de experimentos, é abordada, sendo este um fato de grande importância uma vez que a atual grade curricular do ensino médio não disponibiliza o tempo necessário para trabalhar todos os conteúdos de física quanto é necessário. É apresentada e discutida, por fim, a aplicação deste produto didático em uma turma de estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola da cidade de Ascurra/SC; bem como também são apresentados e discutidos os resultados obtidos através das respostas dos alunos às questões propostas, verificando as deficiências e possíveis melhorias para uma futura aplicação deste produto didático.

**Palavras-chave:** Eletromagnetismo. Comportamento magnético da matéria. Otimização da aprendizagem.



## ABSTRACT

This work presents a didactic product which consists on three experiments aiming to evidence the magnetic behaviors of matter and the relation between electricity and magnetism through the Faraday and Lenz's Laws. It is also demonstrated the relevance of approaching these contents at the high school, aiming all its applications at the contemporary world. Additionally, the time and learning optimization, promoted by this application is also addressed, since this is a very important topic and the current high school curriculum does not provide enough time to work on the contents as it seems to be necessary. It is presented and discussed, at the end, the application of this didactic product in a third-year high school class at a school from the city of Ascurra/SC; as well as the obtained results from the student's answers of the proposed questions are presented and discussed, verifying the deficiencies and possible improvements for the future applications of this didactic product.

**Keywords:** Electromagnetics. Magnetic behavior of matter. Learning optimization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: "Colher direcional", antecessora da bússola .....	27
Figura 2: O <i>versorium</i> de Gilbert. ....	31
Figura 3: Experimento de Ørsted .....	34
Figura 4: Campo magnético devido a uma corrente i estacionária.....	35
Figura 5: Propagação de uma onda eletromagnética através da variação nos dois campos que são perpendiculares entre si.....	39
Figura 6: Experimento de Hertz .....	40
Figura 7: Percentual de escolas por recurso disponível, segundo a etapa de ensino.....	58
Figura 08: Momento magnético orbital e de spin do elétron.....	60
Figura 09: Momento magnético desalinhado (acima) e alinhado (abaixo) .....	61
Figura 10: Dipolos desalinhados e alinhados com o campo, respectivamente .....	62
Figura 11: Prensa hidráulica.....	63
Figura 12: Posição do experimento .....	66
Figura 13: Quarto procedimento do experimento de susceptibilidade magnética .....	67
Figura 14: Campo magnético gerado por uma corrente em um fio.....	69
Figura 15: Eletroímã caseiro feito com prego, fio de cobre e bateria ...	70
Figura 16: Campo magnético gerado por um solenoide.....	70
Figura 17: Espira feita com fio de cobre conectada a um multímetro...	71
Figura 18: Lei de Lenz atuando em um ímã e uma espira.....	72
Figura 19: Posição do tubo.....	75
Figura 20: Eletroímã caseiro .....	76
Figura 21: Procedimento 5 .....	76
Figura 22: Trem Maglev .....	79
Figura 23: Levitação magnética com grafite pirolítico .....	80
Figura 24: Ímãs no suporte de madeira .....	82
Figura 25: Exemplo de cama com ímãs de neodímio.....	82
Figura 26: Grafite pirolítico levitando sobre a cama de ímãs.....	83
Figura 27: Compreensão esperada com o primeiro objetivo.....	87
Figura 28: Compreensão do Princípio de Pascal .....	88
Figura 29: Compreensão da relação entre magnetismo e eletricidade ..	90
Figura 30: Compreensão da Indução eletromagnética .....	90
Figura 31: Relação entre propriedades magnéticas e temperatura .....	91
Figura 32: Compreensão acerca da conservação da energia. ....	92
Figura 33: Compreensão do freio magnético e da Lei de Lenz.....	93
Figura 34: Compreensão do funcionamento da levitação magnética ....	95

Figura 35: Compreensões acerca das aplicações tecnológicas da levitação magnética.....	96
Figura 36: Imagem de auxílio para explicar a Lei de Lenz.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série triboelétrica .....	32
Tabela 2: Susceptibilidade magnética .....	63
Tabela 3: Comportamento magnético da matéria e a prensa hidráulica	65
Tabela 4: Tabela de anotação dos primeiros resultados do experimento.....	66
Tabela 5: Tabela de anotação da segunda parte do experimento .....	67
Tabela 6: Lista de materiais e seus pontos de Curie e de fusão.....	73
Tabela 7: Materiais para o experimento de indução eletromagnética, duas metades de uma ciência .....	74
Tabela 8: Materiais do experimento levitação magnética e o grafite pirolítico .....	81
Tabela 9: Anotações acerca do experimento de levitação magnética....	83



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CA - Corrente alternada

CC - Corrente contínua

fem – Força eletromotriz

IRM – Imagem por ressonância magnética

LDB – Lei de diretrizes e base da educação

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

NRM – Magnetização natural remanescente

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PISA – Programa Internacional de Avaliação de Alunos

UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos



## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\emptyset$  – Letra do alfabeto dinamarquês  
 $\vec{\phantom{x}}$  – Símbolo de representação de vetor  
 $\epsilon$  – Constante de permissividade elétrica  
 $\epsilon_0$  – Constante de permissividade elétrica no vácuo  
 $\mu_0$  – Constante de permeabilidade magnética no vácuo  
 $\pi$  – Letra grega *pi*  
 $\oint$  – Integral de linha  
 $\frac{d}{dt}$  – Operador diferencial em relação ao tempo  
– Produto escalar  
 $\times$  – Produto vetorial  
 $\nabla$  – Operador Nabla  
 $\rho$  – Resistividade elétrica  
 $\chi_m$  – Susceptibilidade magnética  
Fe - Ferro  
G – Constante Gravitacional  
kg - Quilograma  
 $m^2$  - Metro quadrado  
 $m^3$  - Metro cúbico  
N – newton  
Nd – Neodímio



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1	PRIMEIROS REGISTROS ACERCA DO MAGNETISMO	25
1.2	O ELETROMAGNETISMO DE GILBERT A ØRSTED ....	29
1.3	A TEORIA ELETROMAGNÉTICA NO SÉCULO XIX.....	34
1.4	APLICAÇÕES.....	41
1.5	ELETROMAGNETISMO NA SALA DE AULA.....	44
1.6	OBJETIVOS .....	47
<b>1.6.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>47</b>
<b>1.6.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>47</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>49</b>
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	49
<b>2.1.1</b>	<b>Vantagens da aplicação.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1.2</b>	<b>A Educação e o Ensino de Física no Brasil .....</b>	<b>51</b>
2.2	METODOLOGIA .....	59
<b>2.2.1</b>	<b>Experimento de Susceptibilidade Magnética – “Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica” ..</b>	<b>60</b>
2.2.1.1	Objetivos.....	60
2.2.1.2	Análise física.....	60
2.2.1.3	Materiais.....	65
2.2.1.4	Procedimentos de Aplicação .....	66
2.2.1.5	Questionário sobre o experimento .....	67
<b>2.2.2</b>	<b>Experimento de Freio Magnético – “Indução eletromagnética: duas metades de uma ciência” .....</b>	<b>68</b>
2.2.2.1	Objetivos.....	68
2.2.2.2	Análise Física.....	68
2.2.2.3	Materiais.....	74
2.2.2.4	Procedimentos de Aplicação .....	75
2.2.2.5	Questões sobre o Experimento.....	77

<b>2.2.3</b>	<b>Experimento de Levitação Magnética – “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico”</b> .....	<b>78</b>
2.2.3.1	Objetivos.....	78
2.2.3.2	Análise Física.....	78
2.2.3.3	Materiais .....	81
2.2.3.4	Procedimentos de Aplicação.....	82
2.2.3.5	Questões sobre o Experimento.....	84
2.3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>84</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Realização dos experimentos</b> .....	<b>84</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Resultados obtidos</b> .....	<b>86</b>
2.3.2.1	Resultados do experimento: “Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica” .....	86
2.3.2.2	Resultados do experimento: “Indução Eletromagnética: Duas Metades de uma Ciência” .....	88
2.3.2.3	Resultados do experimento: “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico” .....	94
<b>2.3.3</b>	<b>Discussão</b> .....	<b>96</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>100</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE A – Manual de montagem do experimento “Indução Eletromagnética, Duas Metades de uma Ciência”</b> .....	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE B – Manual de montagem do experimento “Comportamento magnético da matéria e a prensa hidráulica”</b> ..	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE C – Manual de construção para o experimento “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico”</b> .....	<b>115</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PRIMEIROS REGISTROS ACERCA DO MAGNETISMO

Grande parte dos avanços referentes ao magnetismo e suas aplicações na sociedade humana são recentes, tendo início principalmente no começo do século XIX com o experimento de Ørsted em 1820 e avançando ao longo dos últimos 200 anos até chegar aos dias atuais. Entretanto, esta propriedade da matéria possui registros desde a antiguidade, sobre as manipulações e estudos acerca de um tipo de pedra muito peculiar que atraía o ferro, a pedra-ímã. O termo “pedra-ímã” é a tradução do termo em inglês *lodestone*, que possui significado de “pedra condutora”. Este termo designa qualquer amostra de minério que seja permanentemente magnetizada.

Materiais magnéticos na crosta terrestre possuem uma propriedade que se chama magnetização natural remanescente (do inglês NRM – *natural remanent magnetization*). A pedra-ímã possui esta propriedade e começou a chamar atenção do homem conforme o avanço das civilizações. É importante relatar que, muito provavelmente, suas descobertas e estudos se deram de maneira totalmente independente em cada parte do mundo.

O registro mais antigo sobre a pedra-ímã é de origem chinesa datando do século VII a.C.

O mais antigo manuscrito que menciona a existência da pedra-ímã é o trabalho de um escritor chinês, Guanzhong (falecido em 645 a.C.), mas objetos feitos de materiais magnéticos têm sido encontrados em sítios arqueológicos datando de muito tempo antes. (LACHEISSERIE, 2003, p.3)

A pedra-ímã também é conhecida como magnetita, termo que surgiu na Grécia Antiga onde a pedra foi encontrada e estudada. O nome original passou por várias alterações. Inicialmente nomeado por Onomacritus como *magnetes*, que deriva do termo grego *magnētis lithos* (μαγνητις λίθος) que significa “a pedra de magnésia”, sendo Magnésia uma unidade regional localizada na região da Tessália, na Grécia. Esta pedra de magnetita era frequentemente encontrada naquela região pelos gregos. A própria palavra “magnésia” significa “lugar de pedras mágicas”.

Segundo Kramer (1933), Tales de Mileto é o primeiro grego e provavelmente o primeiro homem a mencionar o nome “magnético”. Tales foi um filósofo grego pré-socrático, matemático e astrônomo que viveu entre cerca de 624 a.C. e 546 a.C.

Para Kramer, todos os trabalhos de Tales foram perdidos, mas ele é citado por Aristóteles (384-322 a.C.) na seguinte passagem da obra *De Anima* (Da Alma): “Tales parece ter percebido também a alma como algo capaz de mover - a avaliar pelo que se recorda das suas perspectivas - se de fato afirmou que o ímã possui alma por mover o ferro”. Tales também tinha conhecimento sobre a excitação do âmbar ao ser atritado, registrando assim dois fenômenos: o magnetismo e a eletrização por atrito.

Diversos outros pensadores gregos trouxeram explicações relacionadas a uma força vital que atraía o ímã e o ferro. Empédocles por exemplo, explicou através do princípio do amor: dentro de sua filosofia em que amor e ódio regiam o cosmo.

De acordo com Empédocles, o universo é um sistema em evolução composto por quatro elementos eternos e imperecíveis – ar, fogo, água e terra – que são moldados por duas forças igualmente eternas e conflitantes: o amor e o conflito. (DROZDEK, 2007, p.71)

Além da China e da Grécia, registros de esculturas em pedras magnetizadas encontradas na região de Soconusco, na costa do Pacífico no sul do México e oeste da Guatemala, mostram que os povos da América Central também tiveram contato com a pedra-ímã. As esculturas são datadas de um período entre 1200 a 500 a.C.

Dentre tais esculturas, destacam-se a cabeça de uma tartaruga em Izapa, com volume em torno de 1 m<sup>3</sup>, cujo focinho localiza-se exatamente no polo norte do magneto. Outra série de esculturas, conhecida como “*Fat boys*”, também indica o conhecimento dos polos magnéticos da pedra-ímã esculpida. (PESSOA JÚNIOR, 2010, p.196)

Esta evidência do conhecimento sobre a pedra-ímã e suas propriedades na América antes de seu “descobrimento”, aponta para a independência das descobertas.

A primeira das características magnéticas que chamou atenção do ser humano, não por acaso, foi a de atração do ferro, uma vez que é a propriedade mais perceptível.

Segundo Lacheisserie (2003) na China, Gui Guzi (400 a.C.) foi quem notou que pedras magnéticas atraem agulhas. Isso foi de grande importância no desenvolvimento das bússolas, instrumentos tão importantes na história da humanidade. Os escritos de Gui Guzi, em conjunto com o de Han Fei (280 a.C. – 233 a.C.), mostram que o conhecimento sobre o fato da pedra-ímã apontar os polos geográficos da terra é antigo.

Inicialmente as primeiras bússolas construídas eram utilizadas para geomancia<sup>1</sup>. Os relatos do texto chinês *Lunheng* (70-80 d.C.) citam uma escultura de pedra-ímã natural em formato de colher demonstrada na Figura 1, que quando colocada em um prato no chão, apontava para o sul. A mesma chamada de “Colher direcional” pode ser entendida como uma antecessora da bússola.

Figura 1: "Colher direcional", antecessora da bússola



Fonte: Yug. Anticchinese Compass.jpg. Setembro, 2006. Wikimedia Commons. Disponível em:

<[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antic\\_chinese\\_Compass.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antic_chinese_Compass.jpg)> Acesso em 23 nov. 2017.

---

<sup>1</sup>Pretensa adivinhação por figuras e linhas formadas ao se lançar pó de terra sobre uma superfície qualquer. Previsões do futuro.

Muito tempo depois, por volta dos séculos X e XI d.C. a bússola foi adaptada de maneira a possuir precisão e não sofrer dos efeitos do atrito como sofria a colher direcional, o que a tornou mais precisa. Segundo Needham *apud* Guarnieri o livro militar “Coleção das mais importantes técnicas militares”, de 1044, trazia instruções da construção de uma bússola baseada em uma agulha de ferro magnetizada flutuando na água ou fixa por um fio.

Conforme Schmidl *apud* Guarnieri, os árabes não possuíam conhecimento sobre a bússola até 1232.

No século XIII d.C., islâmicos espalharam-se por uma grande parte do mundo conhecido [...] para o leste, aprofundaram-se na Ásia Central. Aqui, em 751, os Cavaleiros Árabes Abassid duelaram contra o poderoso exército da Dinastia Tang [...] e apoiados por tribos locais, tiveram uma vitória inesperada. Dentre os chineses escravizados estavam artesãos, que revelaram aos seus novos mestres algumas das suas melhores tecnologias secretas como a seda e o papel. A bússola, no entanto, não era conhecida pelos Árabes antes de 1232, possivelmente depois de uma nova transmissão do conhecimento chinês. (GUARNIERI, 2014, p. 60)

Isso reforça a ideia de que o conhecimento da bússola não foi trazido para o ocidente pelos árabes, mas sim inventada independentemente na Europa, uma vez que o primeiro registro europeu sobre ela data de 1190. Anos antes do registro dos árabes terem conhecimento sobre o objeto, quando Alexander Neckham escreveu “Sobre a Natureza das Coisas” falando sobre a orientação de uma agulha magnetizada. Entretanto é preciso ressaltar que esta não é a única hipótese e, tendo em vista o tempo que levou para que os Chineses desenvolvessem a mesma com precisão, a bússola pode ter chegado à Europa de outra maneira. Algumas hipóteses relatam que teria chegado através de navegações árabes, outras, segundo Gilbert (1958 [1600]) *apud* Pessoa Júnior, através da rota da seda em 1260, todavia esta data é posterior ao livro de Neckham.

## 1.2 O ELETROMAGNETISMO DE GILBERT A ØRSTED

No decorrer dos anos, em diversas partes do mundo, descobertas sobre as características e propriedades dos materiais magnéticos foram sendo feitas e agregadas ao conhecimento humano. Além da propriedade de atração, outras como os polos magnéticos, a inseparabilidade dos mesmos, repulsão de polos iguais e magnetização do ferro por contato, foram descobertas ao longo do tempo. Em 1269, o Francês Petrus Peregrinus de Maricourt publicou a obra *Epistola de Magnete* onde reunia em sua primeira parte todas estas propriedades.

Pouco depois, iniciou-se na Europa um importante fenômeno histórico que possibilitou o início do avanço científico atual. Trata-se do Renascimento Cultural. A retomada da cultura greco-romana e o florescer de uma era onde o conhecimento e as descobertas se faziam presentes, foi muito importante para que a compreensão de mundo se modificasse.

Dentre as compreensões que estavam por se modificar no período entre os séculos XV e XVII, destaca-se a física aristotélica e toda a sua concepção de mundo que estavam fixadas como um grande paradigma. Desde que Aristóteles postulou suas ideias referentes à queda dos corpos e movimentos naturais, as forças, a *antiperistasis*, que explicava como um corpo mantinha seu movimento sem uma força agindo sobre ele, todo o paradigma do movimento circular uniforme e a questão do centro do universo, que estavam começando a ser contestados após quase 2000 anos.

O livro de Nicolau Copérnico publicado em 1543 “*De revolutionibus orbium caelestium*” (Sobre a revolução das órbitas celestes) pode ser entendido como um marco inicial das mudanças, mesmo que o processo de mudar o pensamento já estivesse acontecendo há um bom tempo. Este livro possui grande importância, pois apresenta conjecturas matemáticas que explicam a organização do Sistema Solar e do Universo.

Com uma simplicidade muito maior do que o modelo anterior de Ptolomeu, que trazia o planeta Terra como o centro do Universo e fazia uma série de remendos nas órbitas dos astros, tornando-as cada vez mais complexas através de um sistema de epiciclo-deferente para conseguir prever acontecimentos astronômicos.

O estudo do Sistema Solar e sua organização seguiram com as observações muito precisas de Tycho Brahe e a utilização das mesmas por Johannes Kepler, que possibilitou a formular suas três leis que descreviam as órbitas dos planetas ao redor do Sol. Assim, restava para

Kepler entender a razão para tudo ser daquela forma: a causa do movimento planetário. E então a questão do magnetismo volta a entrar em cena como uma tentativa de explicar as forças que mantêm os corpos presos a terra e que mantêm os planetas em órbita. Segundo Peduzzi (2008) Kepler foi influenciado pela obra do físico inglês William Gilbert (1540-1603) sobre o magnetismo, *De Magnete*, publicada em 1600.

Para Gilbert, a Terra era um gigantesco ímã envolto por uma camada superficial de água, solo e rochas. A ação desse ímã sobre a matéria ordinária impedia os corpos de se projetarem para o espaço, assegurando a unidade da Terra como um todo. Em outras palavras, era o magnetismo que mantinha a matéria coesa e reunida. De acordo com essa concepção, a queda de uma pedra para o solo se devia a uma força magnética exercida pela Terra sobre a pedra. (PEDUZZI, 2008, p. 156)

Gilbert explicava que não havia força realizada a distância, mas sim, a atração se dava através de um fluido magnético que mediava a atração. Através de experimentos com ímãs, verificou que a atração dependia da distância, da massa dos mesmos e ocorria de forma mútua entre dois corpos que interagem, onde os dois exerciam forças um sobre o outro. Algo claramente semelhante à Gravitação de Newton, que foi posterior à Gilbert.

O livro de Gilbert foi um grande marco, pois foi o primeiro da era moderna a trabalhar com os conceitos de magnetismo e eletricidade, citando segundo Pessoa Junior (2010), cinco fenômenos magnéticos:

- (1) a “coição” (atração, ou efeito pedra-ímã);
- (2) “direção” ou “verticidade” (propriedade diretiva);
- (3) “variação” (que inclui o que chamamos hoje “declinação” e, também, a variação, conforme o local);
- (4) “declinação”, “inclinação” ou “dip”;
- (5) a “revolução” da Terra, que seria explicada pela sua “energia magnética” (vi, 6). (GILBERT, 1958 [1600]).

Conforme Guarnieri (2014), descrevendo efeitos elétricos, distinguindo-os dos magnéticos e também introduzindo a palavra do latim *electricus*, referindo-se a substâncias que se comportam como o âmbar.

Gilbert também foi responsável pela construção do primeiro eletroscópio, denominado *versorium*, que consistia em uma agulha de metal sobre um pivô, semelhante a uma bússola, esta pode ser vista na Figura 2.

A agulha do *versorium* era feita inicialmente de um metal claro, não magnetizado, equilibrada em um pino colocado no ponto central da mesma. Em outras versões do *versorium*, Gilbert substituiu a agulha metálica por um pedacinho de palha. O *versorium* permitiu a Gilbert a realização de estudos muito mais sensíveis que aqueles feitos até então pelos seus antecessores [...]. Gilbert investigou várias substâncias que atraíam a palha, compilando uma lista enorme de materiais que poderiam ser eletrificados por atrito, denominando-os de "elétricos". (MEDEIROS, 2002, p. 355)

Figura 2: O *versorium* de Gilbert.



Versorium de Gilbert.

Fonte: MEDEIROS, 2002, p. 355.

Esta classificação de materiais que podem ser eletrificados por atrito, o chamado efeito triboelétrico, deu origem à uma lista muitas vezes tratada nos livros didáticos de Física do ensino médio: a série triboelétrica. Esta série classifica a capacidade de cada material perder elétrons (obter carga positiva) por atrito, sendo o material do topo da lista aquele que cede elétrons (obtem carga positiva) mais facilmente e o material mais abaixo é aquele menos suscetível a perder elétrons, sendo

aquele que os recebe quando atritado com outro material (obtendo carga negativa). A série é ilustrada na Tabela 1:

Tabela 1: Série triboelétrica

Pele humana
Couro
Vidro
Quartzo
Cabelo humano
Nylon
Seda
Alumínio
Papel
Madeira
Âmbar
Metais (cobre, prata, ouro)
Plásticos
Teflon

Fonte: Instituto de Física de São Carlos - Laboratório de Eletricidade e Magnetismo: Introdução à Eletrostática. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/01-IntroducaoEletrostatica.pdf>> Acesso em 09 jan. 2018.

Assim, após a publicação de Gilbert, os estudos acerca das propriedades elétricas e magnéticas foram se intensificando, culminando em diversas descobertas ao longo dos séculos XVIII e XIX, período que trouxe à luz a relação íntima entre o magnetismo e a eletricidade, culminando em uma teoria eletromagnética.

Por volta de 1785, Charles Augustin de Coulomb (1736-1803), físico francês, realizou experimentos com uma balança de torção. Equipamento na época recém criado por John Michell (1724-1793), com intuito de medir efeitos gravitacionais através de torques muito pequenos. Com estes experimentos, Coulomb concluiu o que foi chamado de Lei de Coulomb, que relaciona a força elétrica entre duas cargas e a distância entre elas, da mesma forma que a Lei da Gravitação faz com as massas e a distância.

A equação abaixo representa a relação matemática encontrada por Coulomb, sendo de grande importância para os futuros estudos acerca da eletricidade. Temos:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}, \quad (1)$$

Onde a força elétrica  $\vec{F}$  que age sobre uma das duas cargas  $q_1$  e  $q_2$  é inversamente proporcional ao quadrado da distância  $r$ , entre as cargas e tem direção e sentido do vetor  $\hat{r}$ . Sendo o termo  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  uma constante  $k$  que é dependente do meio por conta do termo  $\epsilon$  que é a permissividade elétrica do meio e levando em conta apenas o módulo da força elétrica. A Lei de Coulomb geralmente é descrita no Ensino Médio como

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (2)$$

A constante  $k$  é chamada Constante de Coulomb e seu valor é aproximadamente  $9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ . Desta forma, ao fazer a comparação da Equação 2 com a Lei da Gravitação Universal, as cargas estão para as massas, as distâncias se relacionam da mesma forma, e a Constante de Coulomb  $k$  está para a Constante Gravitacional  $G$ , cujo valor é aproximadamente  $6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{s}^2$ . Assim, é possível perceber como a intensidade da interação gravitacional é fraca perto da elétrica, uma vez que a Constante de Coulomb é 20 ordens de grandeza maior que a Constante Gravitacional, o que explica porque efeitos elétricos entre dois corpos de pouca massa (como a interação entre elétrons ou prótons) são muito mais perceptíveis no dia a dia do que os efeitos gravitacionais.

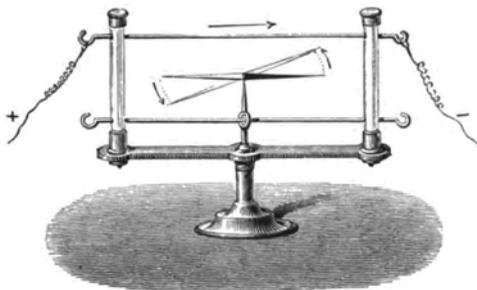
Entretanto, segundo Medeiros (2002), esta lei do inverso do quadrado das distâncias já havia sido anunciada para forças magnéticas, em 1760 por Johann Tobias Mayer e para forças elétricas por Henry Cavendish em 1762 - apenas com evidências parciais em cada caso. “O uso da balança de torção por Coulomb marca o início dos trabalhos quantitativos na eletricidade e no magnetismo [...]” (MEDEIROS, 2002, p. 359).

Dessa forma, com o início dos trabalhos quantitativos acerca da eletricidade e do magnetismo, diversos experimentos foram sendo conduzidos na tentativa de trazer maior luz à esta área ainda tão obscura. Um destes experimentos, que marcou um novo passo, verificando que

os campos elétricos e magnéticos estavam de alguma forma relacionada, foi o experimento de Ørsted em 1820.

Segundo Guarnieri (2014), Christian Ørsted (1777-1851) era um renomado físico dinamarquês, membro de diversas academias e professor da Universidade da Dinamarca, onde introduziu pesquisas experimentais e isolou alumínio em 1825. Em 1820, ao se preparar para uma conferência, Ørsted descobriu acidentalmente o efeito de uma corrente elétrica passando por um fio condutor próximo a uma bússola, que modificava a direção da agulha. Assim, se fez uma descoberta que revolucionou os anos seguintes de estudos, pois havia sido encontrada de alguma maneira, uma relação entre os efeitos da eletricidade e do magnetismo, onde uma corrente elétrica aparentemente gerava um campo magnético. A Figura 3 mostra um exemplo do experimento de Ørsted.

Figura 3: Experimento de Ørsted



Fonte: GUARNIERI, 2014, p. 62.

Em julho de 1820 Ørsted publica *Experimenta circaefficaciam conflictus electrici in acum magneticum* (Experimentos sobre o efeito da eletricidade em uma agulha magnética) reportando sua descoberta e despertando interesse em diversos cientistas a seguir com estudos.

### 1.3 A TEORIA ELETROMAGNÉTICA NO SÉCULO XIX

Após os estudos de Ørsted e sua publicação em 1820, a curiosidade de pesquisadores de todo o mundo rapidamente se voltou para os fenômenos elétricos e magnéticos. Parecia que a física de Newton, até então inabalável, não podia explicar satisfatoriamente fenômenos desta natureza. Logo, havia algo novo a ser estudado. Assim

seguiu-se todo o século XIX, com pesquisas, descobertas e culminando em uma sólida teoria clássica do eletromagnetismo.

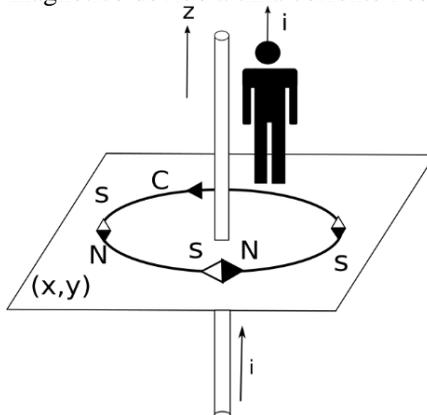
Além de Ørsted, nomes como Ampère, Lenz, Biot, Savart e Faraday são muito conhecidos, pois estes deixaram importantes contribuições para o estudo do eletromagnetismo, apesar de não terem sido os únicos a fazê-lo.

Ampère, Biot e seu assistente Savart trouxeram estudos acerca do campo magnético gerado ao redor de um fio condutor estacionário, sendo que a Lei de Ampère veio a ser completada por Maxwell em suas equações, de forma mais generalizada.

Segundo Nussenzveig, para uma curva fechada  $C$  com orientação dada pela Figura 4, resulta das experiências de Ampère que a circulação de campo magnético é proporcional à intensidade de corrente  $i$  que atravessa a curva  $C$ , válido para correntes estacionárias. A Equação 3 é a lei de Ampère para correntes estacionárias.

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i \quad (3)$$

Figura 4: Campo magnético devido a uma corrente  $i$  estacionária.



Fonte: Nussenzveig, 1997, p. 139.

Michael Faraday e Heinrich Lenz elucidaram a indução magnética, fenômeno que foi posteriormente importante para a compreensão da propagação das chamadas ondas eletromagnéticas. Faraday através do que hoje conhecemos como lei de Faraday descreveu o fenômeno experimentalmente - tarde descrita quantitativamente por Maxwell. Lenz, através da conhecida lei de Lenz, elucidou a interpretação do sinal da corrente elétrica induzida e seus efeitos, sendo

este um conceito importante para a compreensão de um dos experimentos deste trabalho: freio magnético.

Informações bibliográficas de Tyndal (1961) e Williams (1971) *apud* Dias e Martins (2004), relatam que Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em uma família com situação financeira precária, onde não teve acesso a boa educação básica. Aos 13 anos começou a trabalhar como ajudante em uma livraria, onde pode melhorar sua formação através de diversas leituras. Em 1812 ao assistir uma série de conferências do químico Humphry Davy, enviou-lhe um pedido de emprego em qualquer função relacionada à Ciência, tornando-se assim em 1813, aos 22 anos auxiliar de laboratório de Davy, na Royal Institution de Londres. Neste emprego, viajou pela Europa e aprendeu sobre o pensamento científico, além de desenvolver conhecimentos acerca do trabalho experimental, sendo capaz então de conduzir seus próprios experimentos de forma independente, e se tornar membro da Royal Society, por seus trabalhos em química. A partir de 1820, com o experimento de Ørsted, começou a realizar experimentos também na física, o que em 1831 culminou na descoberta da indução eletromagnética.

É importante ressaltar que todo o trabalho de Faraday foi experimental e qualitativo, uma vez que ele não possuía um grande ferramental matemático para descrever os fenômenos. Segundo Dias e Martins (2004) no dia 17 de outubro de 1831, Faraday realizou o seu experimento mais conhecido, a indução de corrente pela movimentação de uma barra magnética dentro de uma bobina.

A descrição dada no diário se refere a um cilindro de papel, oco, coberto por 8 rolamentos[...] de fio de cobre, com aproximadamente 220 pés de comprimento, separados por algodão [...].

As oito extremidades das hélices, em uma extremidade do cilindro, foram limpas e rapidamente unidas como um feixe. O mesmo foi feito na outra extremidade. Essas extremidades compostas foram conectadas a um galvanômetro por longos fios de cobre. (DIAS e MARTINS, 2004, p. 527)

A seguir são apresentados os escritos originais de Faraday em seu diário de laboratório acerca do experimento de indução.

Depois, um ímã cilíndrico [...] teve uma extremidade inserida dentro da hélice – depois foi rapidamente empurrada em todo seu comprimento, e a agulha do galvanômetro moveu-se – depois, foi empurrada para fora e novamente a agulha se moveu, mas em direção oposta. Este efeito se repetiu todas as vezes que o ímã era colocado dentro ou retirado e portanto, uma onda de eletricidade foi assim produzida pela mera aproximação de um ímã e não por sua formação in situ (MARTIN, 1932-1936, p. 375).

Segundo Nussenzveig (1997), a interpretação física deste resultado é: um campo magnético variável com o tempo produz campo elétrico (que não é mais eletrostático). A corrente gerada acontece em função de uma f.e.m. (força eletromotriz). A descrição de uma equação acerca do experimento de Faraday só surgiu em uma das quatro equações de Maxwell. A Equação 4 descrita na sequência é conhecida como Lei de Faraday que relaciona a força eletromotriz gerada em um condutor, o campo elétrico não eletrostático e a variação do campo magnético no tempo.

$$\mathcal{E} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4)$$

A lei de Lenz, desenvolvida por Heinrich Lenz é qualitativa, entretanto serve como explicação para o sinal negativo que surge na derivada do campo magnético em relação ao tempo. Dessa forma, se a derivada for positiva e se a intensidade do campo aumentar com o tempo, o campo elétrico gerado produzirá um campo magnético oposto ao da fonte e se a derivada for negativa, o campo magnético gerado pelo campo elétrico induzido terá o mesmo sentido.

A lei de Lenz está diretamente vinculada ao princípio de conservação da energia. [...] se a f.e.m. induzida tivesse sinal oposto ao da lei de Lenz, ela tenderia a *favorecer* a variação do fluxo. No exemplo do ímã cuja face norte se aproxima da espira, uma corrente em sentido oposto ao da lei de Lenz criaria uma face sul na espira, *atraindo* o ímã para ela e acelerando seu movimento. Ele *ganharia* energia cinética e ao mesmo tempo *produziria* o calor no efeito Joule

através da corrente induzida na espira, violando a conservação da energia. (NUSSENZVEIG, 1997, p. 167)

Todos os físicos que trouxeram contribuições foram importantes para a formulação geral feita por James Clerk Maxwell (1831-1879) nas chamadas Equações de Maxwell. São quatro equações que descrevem os fenômenos elétricos e magnéticos, unificando-os como o fenômeno do eletromagnetismo.

No seu famoso tratado sobre eletricidade e magnetismo, Maxwell apresenta uma formulação matemática unificada das leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot/Savart, Faraday e Lenz, expressando essas leis na forma de quatro equações, conhecidas, hoje, como equações de Maxwell. (ROCHA, 2009)

As quatro equações são representantes de quatro leis e podem ser expressas tanto na forma integral quanto na forma diferencial. As equações na forma integral são as seguintes:

Lei de Gauss para a eletricidade:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (5)$$

Lei de Gauss para o magnetismo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (6)$$

Lei de Faraday:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (7)$$

Lei de Ampère-Maxwell:

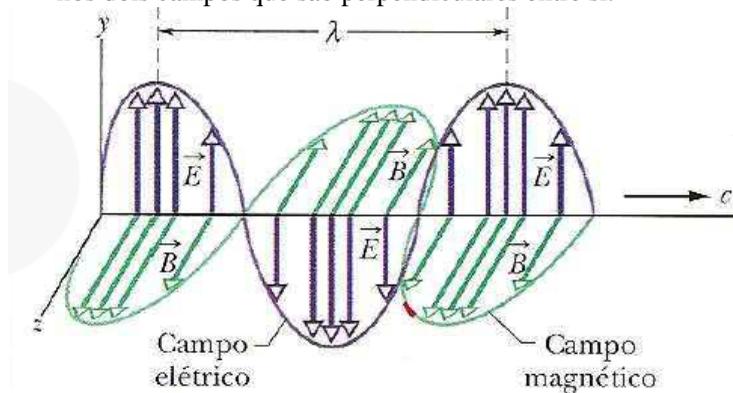
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 i \quad (8)$$

A Lei de Gauss para a eletricidade, representada pela Equação 5 relaciona o fluxo elétrico às cargas elétricas envolvidas. A Lei de Gauss para o magnetismo representada pela Equação 6 relaciona o fluxo magnético às cargas magnéticas, que não existem, o que também evidencia a inseparabilidade de polos magnéticos.

As duas últimas leis e equações explicam a propagação dos campos como apenas um: o eletromagnético.

A Lei de Faraday, representada pela Equação 7 relaciona um campo elétrico induzido a uma variação de campo magnético. Já a lei de Ampère-Maxwell, na Equação 8, relaciona um campo magnético induzido a uma variação do campo elétrico e é um complemento da Equação 3. A original lei de Ampère, leva em conta apenas correntes estacionárias. Dessa forma, surge a ideia de propagação dos campos como uma onda eletromagnética, que se propaga como resultado de infinitesimais variações do campo magnético. Por exemplo, o que gera campo elétrico e a variação infinitesimal deste, que por sua vez gera campo magnético e assim sucessivamente. A Figura 5 representa a propagação de uma onda eletromagnética através da variação dos campos elétrico e magnético.

Figura 5: Propagação de uma onda eletromagnética através da variação nos dois campos que são perpendiculares entre si.



Fonte: HALLIDAY, Fundamentos de Física – 8ª ed. v. 3. 2009. p. 5

As ondas eletromagnéticas, como todas as ondas, deveriam possuir uma certa velocidade de propagação. Para chegar a tal velocidade é necessário o uso da forma diferencial das Equações de Maxwell, apresentadas a seguir:

Lei de Gauss para a eletricidade:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (9)$$

Lei de Gauss para o magnetismo:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (10)$$

Lei de Faraday:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \quad (11)$$

Lei de Ampère-Maxwell:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J} \quad (12)$$

A velocidade de propagação destas ondas no vácuo permite uma pequena modificação nas equações, uma vez que se supõe a não existência de cargas elétricas ou correntes. Após uma série de deduções que não serão explicitadas nesta dissertação, a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo é encontrada como:

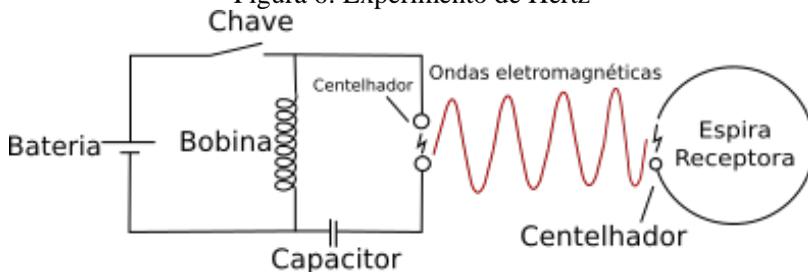
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \quad (13)$$

Esta velocidade é exatamente a mesma encontrada para a propagação da luz no vácuo, o que amplia as discussões acerca da natureza da luz.

A teoria estava formulada. Após mais de dois milênios de mistérios, os fenômenos elétricos e magnéticos estavam explicados. Faltava apenas a sua comprovação, que foi feita por Heinrich Hertz no ano de 1887, através de um experimento que verificava os fenômenos de propagação e indução eletromagnética.

O experimento, como pode ser visto na Figura 6 consistia em um oscilador, que gerava uma corrente alternada em um circuito com duas bolas de metal próximas. Também por um anel circular aberto com outras duas bolas de metal em suas pontas aproximado do circuito com o oscilador, sem tocá-lo. Assim, ao ligar o oscilador, as faíscas que saíam de uma bola de metal para a outra no oscilador, também saíam no anel metálico, mesmo sem contato entre estes. Este experimento demonstrava a existência de ondas eletromagnéticas e da indução eletromagnética.

Figura 6: Experimento de Hertz



Fonte: O Autor.

Esta teria sido a primeira transmissão de ondas eletromagnéticas da história, que posteriormente culminará numa série de avanços nas comunicações, até chegarmos aos dias atuais. De fato, atualmente o eletromagnetismo possui diversas aplicações e na sequência será discutido isso.

#### 1.4 APLICAÇÕES

Após todo o histórico de descobertas e estudos acerca do eletromagnetismo, atualmente no século XXI o ser humano pode desfrutar de grandes avanços tecnológicos que se deram, principalmente ao longo do século XX, e que são aplicações dos estudos desta área.

A energia elétrica e sua distribuição foi uma das primeiras boas aplicações destes estudos, possibilitando a iluminação pública, a iluminação das casas a noite e se fazendo presente na sociedade atual de uma maneira crucial, de modo que quase tudo hoje em dia depende de energia elétrica.

Sua geração e transporte mais eficientes foram possibilitados pela descoberta da indução eletromagnética. Geradores utilizam a variação de campo magnético para gerar uma diferença de potencial e assim, energia elétrica, como previsto na Lei de Faraday. O transporte dessa energia foi facilitado por transformadores, que também utilizam o princípio da indução e possibilitam o aumento da tensão da rede para transportes de longa distância, reduzindo perdas pelo efeito Joule e possibilitando transportes a longas distâncias.

O experimento de Hertz foi apenas a primeira entre uma série de transmissões de ondas eletromagnéticas que se sucederam entre o fim do século XIX até hoje. Outra importante aplicação encontrada pelo homem para a capacidade de transmitir as ondas eletromagnéticas, foi a comunicação. Há pouco consenso com relação ao inventor do rádio e da tecnologia para o a transmissão da informação sonora por meio de ondas eletromagnéticas. Uma lista de nomes sugere: Guglielmo Marconi, Nikola Tesla, Alexander Popov, entre outros. O fato é que, como todo produto tecnológico, não é possível conceder sua invenção à apenas uma pessoa, ela é fruto do estudo e de pesquisas de diversas pessoas, muitas vezes simultaneamente.

Marconi recebe título de inventor oficial por muitos autores. Recebeu o Nobel de Física em 1909, juntamente com o físico alemão, Karl Ferdinand Braun, “em reconhecimento por suas contribuições ao desenvolvimento de telegrafia sem fio” e também segundo Hong (2001)

é responsável por patentear um dispositivo de transmissão sem fio e fazer transmissões cada vez mais distantes, até que em 1901 fez uma transmissão que cruzou o Oceano Atlântico.

Apesar da patente de Marconi em 1896 ser a primeira patente em telegrafia de ondas-Hertzianas, Marconi não foi a única pessoa que as utilizou para a telegrafia. Em 1895-96, independente de Marconi, Ernest Rutherford e o Capitão Henry Jackson faziam alguns experimentos com a aplicação das ondas Hertzianas em mente. (HONG, 2001, p. 13)

Transmissões sem fio continuaram evoluindo, passaram a transmitir não somente a voz, mas também imagem e cores, proporcionando a criação de uma indústria que ficou cada vez mais presente na vida do ser humano, à mídia. Em geral, toda a comunicação no planeta pode ser feita de maneira muito mais rápida.

Outra tecnologia que surgiu como aplicação de todos estes conhecimentos foi à computação. Esta também se baseou em formas de transmissão e principalmente armazenamento da informação, utilizando-se de uma linguagem binária. Linguagem essa que só foi possível graças à conhecimentos de eletromagnetismo, uma vez que seu armazenamento e transmissão utilizam-se dos conhecimentos desenvolvidos na área.

A linguagem binária possibilitou a criação de informação digital, substituindo os métodos analógicos em todo o mundo. Um código baseado em “zero” e “um” pode ser armazenado e transmitido, evitando problemas de transmissão e perdas de informação. Uma vez que se trata de informação discreta e não contínua, como no caso da analógica que deve ser totalmente análoga ao que se quer transmitir sendo que qualquer interferência pode prejudicar esta característica.

Apesar de concluída a teoria eletromagnética, as descobertas não cessaram. Com o surgimento da física quântica a partir de 1900, a descrição quântica dos fenômenos eletromagnéticos seria necessária, uma vez que trabalhava com partículas subatômicas. Assim, durante o século XX, diversas pesquisas e teorias acerca da eletrodinâmica quântica (EDQ ou QED do inglês: *quantum electrodynamics*) foram desenvolvidas, iluminando ainda mais o conhecimento humano.

Outra descoberta que tem trazido grandes aplicações tecnológicas nos dias atuais, foi a do fenômeno da supercondutividade. Sua descoberta é devida à Heike Kamerlingh Onnes em 1911, quando, em seu laboratório, Onnes, segundo Costa (2012), investigou o

comportamento da resistência elétrica para vários metais em temperaturas abaixo de 4 K e encontrou um comportamento onde a resistência elétrica praticamente desaparecia para valores abaixo de uma temperatura crítica ( $T_c$ ). “Por sua investigação das propriedades da matéria a baixas temperaturas a qual levou à produção de hélio líquido”, Onnes recebeu o prêmio Nobel de Física em 1913.

Ao longo do século XX, também foram feitas diversas descobertas acerca deste fenômeno, ainda que a pesquisa só voltou a chamar atenção quando:

[...] em 1933, os alemães Karl Walther Meissner e Robert Ochsenfeld verificaram que as propriedades reais de um supercondutor não são equivalentes as de um condutor perfeito. (Costa, 2012, p. 2603)

Tal descoberta, foi denominada Efeito Meissner e é a característica que materiais, no estado supercondutor, obtêm e passam a emitir distribuição nula do campo magnético em seu interior, literalmente expulsando o campo magnético, tornando-o um material diamagnético perfeito.

Com o avanço nas pesquisas e o surgimento de teorias para explicar o fenômeno, atualmente é possível obter supercondutores a temperaturas cada vez mais altas e com aplicações deste fenômeno no dia-a-dia da população. Costa (2012), cita diversas aplicações tecnológicas da supercondutividade em aceleradores de partícula, imagens por ressonância magnética, separação magnética, geradores, blindagem magnética entre diversas outras aplicações, por exemplo, no transporte público como o Maglev, espécie de trem que levita e se move por meio de supercondutores.

Na área da medicina e fisiologia, os estudos contribuíram fortemente para que se tornasse possível a visualização de imagens internas do corpo humano. A imagem por ressonância magnética (IMR) permitiu grandes avanços na medicina e abrange tópicos como o eletromagnetismo e supercondutividade.

A IRM é, resumidamente, o resultado da interação do forte campo magnético produzido pelo equipamento com os prótons de hidrogênio do tecido humano, criando uma condição para que possamos enviar um pulso de radio frequência e, após, coletar a radio frequência

modificada, através de uma bobina ou antena receptora. Este sinal coletado é processado e convertido numa imagem ou informação. (MAZZOLA, 2009, p.117)

Este é um método complexo de visualização de imagens interiores do corpo humano, mas que trouxe muitos benefícios para a sociedade em geral.

A lista de aplicações do eletromagnetismo e seus estudos são extensos e deve aumentar. Ainda assim é possível identificar com alguns exemplos a importância destes conteúdos e conhecimentos na sociedade moderna, o que evidencia uma necessidade de ensiná-los aos jovens estudantes.

### 1.5 ELETROMAGNETISMO NA SALA DE AULA

Apesar de muito popular do ponto de vista de aplicações, estes conteúdos de eletromagnetismo são por muitas vezes pouco estudados no ensino médio brasileiro, principalmente nas escolas públicas. Isso ocorre seja pelo número reduzido de aulas, ou falta de formação adequada dos professores bem como por recursos indisponíveis. Vários autores têm relatado tal problema, conforme pode ser visto, por exemplo, na publicação de Moreira, 2013, p. 1:

A física na educação básica está em crise: além da falta e/ou despreparo de professores, das más condições de trabalho, do número reduzido de aulas e da progressiva perda da identidade no currículo, o ensino da Física na educação contemporânea estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados.

Conforme Pedrisa (2001), Diogo e Goraba (2007) *apud* Costa e Barros (2015), vimos que:

O ensino das ciências físicas e naturais no país está fortemente influenciado pela(o) ausência da prática experimental, dependência excessiva do livro didático, método expositivo, reduzido número de aulas, currículo desatualizado e descontextualizado e profissionalização insuficiente do professor. (PEDRISA (2001); DIOGO, GORABA (2007))

Ao estabelecermos uma relação entre a teoria e a prática, através de experimentos que demonstram um conteúdo científico que fora estudado de forma exclusivamente teórica em sala de aula, é possível promover inovações didático-pedagógicas, assim fazendo com que os alunos percebam a importância de estudar tais conteúdos, de suas aplicações tecnológicas em benefício da humanidade e consequentemente desenvolver a admiração pela ciência.

A ausência da tecnologia na formação geral é paradoxal, na medida em que cada vez mais os saberes científicos e tecnológicos estão presentes nas tomadas de decisões e as pessoas estão mais e mais dependentes de seus avanços. Em contrapartida em nenhum momento, ou em raras ocasiões, os alunos recebem uma formação explícita em tecnologia. Talvez uma possibilidade fosse associar a crescente presença de atividades relacionadas à elaboração de projetos nas escolas com a tecnologia. Embora a compreensão e implementação dessa tendência na escola seja discutível, pois em muitos casos há uma confusão entre se trabalhar com projetos e a parte diversificada do currículo, conforme estabelece a LDB/96, seria por outro lado, uma oportunidade de inovações didático-pedagógicas. (RICARDO e FREIRE, 2007, P. 263).

Aplicações tecnológicas podem ser trabalhadas utilizando materiais de baixo custo e de fácil aquisição, com isso não só demonstrando leis físicas, mas principalmente dando significado aos conteúdos trabalhados em sala de aula, potencializando a aprendizagem e melhorando a relação professor-aluno, já que os alunos participam ativamente do processo de aprendizagem, fato esse que geralmente não acontece em aulas estritamente teóricas. Conforme DAMASCENO, 2011, p. 11:

Considerando a importância da utilização da didática no ensino de Física, no pressuposto que não basta ter o conhecimento, mas é preciso também saber transmiti-lo. Para esse ensino-aprendizagem ocorrer de maneira mais satisfatória, é exposto a importância do correto uso de recursos metodológicos, onde o livro

didático, ao ser utilizado para nortear as atividades desenvolvidas em laboratório, na ausência dele, ou em conjunto com ele, a realização de experimentos virtuais através da internet e os experimentos com material de baixo custo, nas explicações de conceitos físicos, ao ser relacionado aos fatos cotidianos poderá promover a potencialização do aprendizado.

Ainda segundo SANTOS, PIASSI e FERREIRA, 2004, p. 7:

Quando os brinquedos eram construídos pelas próprias crianças, estes tinham para aquelas um maior valor. Da mesma maneira, num laboratório, o aluno se sente muito mais envolvido e entenderá muito melhor se ele mesmo constrói os instrumentos para sua experimentação. A utilização de um instrumento após a sua construção fará com que o aluno aja de uma maneira mais racional, pois ele terá uma ideia clara, a respeito do funcionamento e as limitações do instrumento. Assim sua atuação será menos mecânica e sua aprendizagem, provavelmente, mais eficiente.

Segundo Kaptisa, prêmio Nobel de Física:

“Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá muito melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para sua experimentação” (KAPTISA, 1985, p.501).

Diante de tal cenário sobre o ensino da física, entende-se de que existe uma demanda reprimida por um ensino sobre magnetismo na matéria e de suas aplicações de forma mais ampla, já que a maioria do material didático existente apenas cita tais materiais e suas características de forma sucinta, não dando ênfase a suas aplicações tecnológicas e cabendo ao professor, de acordo com DA COSTA, 2016:

Durante a discussão fenomenológica, o professor deve apresentar exemplos e discutir o funcionamento de aplicações da indução eletromagnética tais como o microfone de

indução, o cartão magnético, a fita magnética utilizada em gravação de vídeos e áudios e o detector de metais.

A não discussão a respeito das aplicações tecnológicas no cotidiano, gera desinteresse por parte dos aprendentes. Segundo, RICARDO e FREIRE, 2007, p. 263:

A necessidade de relacionar a física escolar com o cotidiano dos alunos é um assunto presente no discurso escolar, o que não significa que esteja ocorrendo efetivamente na prática docente, para além, evidentemente de simples ilustrações de final de capítulo.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo geral

Diante do cenário exposto anteriormente, a presente dissertação tem como objetivo geral o desenvolvimento de um produto didático que possibilite a demonstração dos diferentes comportamentos magnéticos da matéria, apresentando assim suas aplicações tecnológicas.

Busca-se com isso desenvolver maior interesse e participação dos alunos para este conteúdo de física, uma vez que um trabalho experimental envolve a prática, algo diferente da teoria em sala de aula e que pode despertar o interesse do aluno em participar.

### 1.6.2 Objetivos específicos

Para tanto, este produto didático foi dividido em três experimentos, sendo eles: o comportamento magnético dos materiais, a levitação magnética e, por fim, o freio magnético. Os experimentos foram desenvolvidos utilizando materiais de baixo custo e que podem facilmente ser obtidos sem grandes problemas e preocupações por parte de professores e alunos. A execução deve ser durante o período de aulas regulares para turmas do terceiro ano do Ensino Médio, preferencialmente logo após terem sido trabalhados os conceitos iniciais e fundamentais de eletromagnetismo.

O primeiro experimento pretende demonstrar o ferromagnetismo, o paramagnetismo e o diamagnetismo dos materiais, através de uma prensa hidráulica evidenciando o Princípio de Pascal.

O segundo pretende demonstrar a levitação magnética, através de um diamagnético poderoso denominado grafite pirolítico e ímãs que podem ser obtidos em equipamentos eletrônicos inutilizados. Tema esse que se analisa a possibilidade de inclusão em parte da grade curricular dos cursos de engenharia como disciplina específica.

O terceiro e último experimento pretende demonstrar a Lei de Faraday, de Lenz e sua relação com o freio magnético, além de evidenciar o princípio da conservação de energia que entra em ação com o freio magnético, sendo a Lei de Lenz uma consequência desta conservação.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **2.1.1 Vantagens da aplicação**

Diversas vantagens podem ser apontadas sobre a aplicação destes experimentos além do incremento nas aulas teóricas em sala de aula, abordando conteúdos de eletromagnetismo.

O fato de ampliar com atividades e sair do tradicional processo de aula teórica (passar o conteúdo, realizar exercícios e a prova), utilizar atividade experimental em laboratório, diminui o número de aulas necessárias para o processo de aprendizagem, otimizando o pouco tempo destinado às aulas de física.

Em 2017 as escolas públicas do estado de Santa Catarina contavam com apenas duas aulas de física por semana, cada uma com 40 minutos de duração, totalizando 1 hora e 20 minutos de trabalho do professor com cada turma, o que evidentemente não é suficiente para suprir a demanda de conteúdos da disciplina.

O terceiro ano do Ensino Médio se volta para o estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos da matéria, assim como a relação entre estes fenômenos dada pelo eletromagnetismo. Ainda restando debates sobre a inserção da física moderna e contemporânea na ementa do último ano, este conteúdo já está presente em alguns livros didáticos, que, porém, em muitos casos se torna inviável trabalhar pela falta de tempo. Outras razões como a má formação e preparação dos professores, fazem com que raramente se atinja completamente o ensino de todos os conteúdos. Assim, otimizar o tempo de ensino através de atividades experimentais é uma forma de contemplar os conteúdos a trabalhar em sala de aula, de uma forma prática e objetiva.

Construir experimentos com materiais reciclados e de baixo custo, trazem além de acessibilidade muito maior ao experimento e sua construção, facilidade de aplicação pelo professor, levando a física para perto da realidade do aluno, que inicialmente pode ter a ideia de que a física é uma ciência distante, com alto custo. Torna-se algo mais palpável e que pode ser feito com pouco recurso, desperta maior interesse pela experimentação. Verifica-se que a otimização de tempo também é obtida através da facilidade na aquisição de materiais e do fato de que uma vez construído o experimento, ele pode ser aplicado em outras turmas ou em anos posteriores.

Alguns aspectos de ordem funcional apontam dificuldades no uso de experimentos que dizem respeito, por exemplo, [...] não haver tempo suficiente para preparação dos experimentos, ao consumo de elevado tempo proporcionado pela atividade experimental e que poderia ser gasto com outras atividades didáticas que se imaginam mais efetivas para a aprendizagem. (LABURU et al, 2008, pp. 168-169)

Segundo Laburu et al (2008), o fato de professor e aluno estarem trabalhando com instrumentos já mais conhecidos do dia a dia, faz com que a atenção na hora da realização do experimento se volte de maneira muito maior ao aprendizado da teoria e sua interação com a realidade e não a manipulação de um instrumento complexo que nem o professor, muito menos o aluno, dominam. O fato de o aluno construir o próprio instrumento desenvolve habilidades manuais e também faz com que o mesmo tenha um conhecimento pleno do funcionamento de seu experimento.

Em cursos superiores de engenharia a experimentação e a própria montagem dos experimentos é algo muito comum e pode ser útil já ter contato no ensino médio.

A epígrafe deste trabalho refere-se ao conhecido pensador chinês, Confúcio, que viveu em um período antes de Cristo. A citação diz: “Conte-me e eu esqueço, mostre-me eu apenas me lembro, envolva-me e eu compreendo.”. A utilização da frase se justifica e é uma boa forma para compreender a vantagem de envolver o aluno na experimentação e utilizar deste método e não de um modelo tradicional onde apenas “contamos” e “mostramos” ao aluno sobre a física. Desta forma o aluno é envolvido na física e pode compreendê-la de maneira muito melhor. Procura-se sair de uma abordagem totalmente teórica e abstrata que são os conceitos do magnetismo, do eletromagnetismo e suas propriedades para algo muito mais substancial, proporcionando uma aprendizagem muito mais significativa para o aluno, pois traz a teoria abstrata para uma realidade com muito mais significado.

De acordo com Costa e Barros (2015):

Nas escolas, o ensino da física é fracamente vinculado ao laboratório e à situações concretas[...] De modo geral, é pequena a carga horária destinada às disciplinas científicas e excessivo número de alunos em classe, há defasagem de laboratórios de ciências e de bibliotecas com acervo apropriado, além de dificuldades para o acesso e a aquisição de livros e de material experimental. (COSTA; BARROS, 2015, p. 10 983)

Busca-se com este produto pedagógico trazer para o aluno a real compreensão dos conceitos através da vivência do experimento e acrescenta nova ferramenta para que o professor possa trabalhar mais profundamente os conteúdos em suas aulas, mesmo com a falta de tempo. Aplicações desta natureza são importantes e válidas para dar significado e demonstrar as aplicações do magnetismo e eletromagnetismo no cotidiano e vem acontecendo conforme o exemplo proposto por Freitas e Fujii, 2014:

Nas aulas práticas, os alunos em grupos construíram um sistema simplificado de motor de corrente contínua e fizeram uma aplicação do eletromagnetismo, aproximando a física escolar do universo cultural dos estudantes abordando questões tecnológicas, complementando as aulas os alunos receberam um formulário com questões orientadas para pesquisas com referência de internet e de biblioteca.

Muitas vezes o que acontece com os conteúdos de magnetismo e eletromagnetismo é que o professor relata em seu plano de aula que trabalhou o conteúdo, mas isso não garante de forma alguma que o aluno tenha aprendido. Até mesmo pode ocorrer que o professor não tenha passado o conteúdo ou feito isso de uma maneira superficial sem que o aluno alcance o aprendizado.

### **2.1.2 A Educação e o Ensino de Física no Brasil**

Como debatido anteriormente, um dos grandes problemas do ensino de física na educação básica é a falta de tempo para trabalhar os conteúdos, não sendo possível concluir a ementa devido o número

escasso de aulas semanal. Entretanto, diversos outros fatores acabam por interferir e fazer com que as aulas de física não sejam tão proveitosas.

O professor do Ensino Médio precisa, por muitas vezes, agir por conta própria para conseguir algo a mais em suas aulas. Nas escolas públicas, o apoio é mínimo por parte do governo. Algo específico como esta falta de apoio verificado nas aulas de física do Ensino Médio, está relacionada diretamente a todo o ensino básico no Brasil.

Há muitos relatos da falta de interesse dos alunos para com a disciplina no Ensino Médio. E este problema está de alguma forma relacionado com a demora para que aconteça o primeiro contato do aluno com as ciências, em específico com a física.

Durante os anos iniciais do Ensino Fundamental, o aluno tem pouco contato com ciências, seja qual for sua natureza, de modo que a física em si é uma disciplina muito distante, e que quando a ciência é trabalhada foca-se em conteúdos de biologia. Até mesmo durante os anos finais do ensino fundamental, parte dos quatro anos de aulas de ciências é voltada para a biologia, sendo apenas o último deles dividido entre a física e a química.

Consequentemente torna-se evidente a razão do aluno não possuir interesse em física quando chega ao Ensino Médio. Muitas vezes não compreende o que é a física de fato, tendo a concepção de uma disciplina extremamente matemática. A falta desse contato e poucos conhecimentos de física influenciam negativamente. Se o contato for com o conteúdo cinemática, que é muitas vezes trabalhado de forma extensa e maçante, exigindo muito mais matematização do que conceitos físicos de fato, reforça então a ideia para o aluno de que a física é puramente matemática.

Fica dessa forma evidente a necessidade de uma introdução da física muito mais cedo para os alunos. E isso não apenas para que os alunos cheguem mais preparados ou interessados no conteúdo ao ensino médio, mas também para sua própria formação pessoal. Segundo Schroeder (2007) a importância das aulas de física desde os anos iniciais do ensino fundamental está muito mais relacionada ao auxílio no desenvolvimento de autoestima e capacidade de aprender a aprender do que uma real preparação para o ensino médio.

A física pode ter muito mais a contribuir com o ensino em geral do que geralmente se supõe. É comum se pensar [...] que ensinar física para crianças desde os primeiros anos de escola tem grande importância para a construção de conceitos físicos, [...], sem que se questione no que mais a física pode contribuir. Esse ponto de vista, pelo menos aparentemente, ignora aquilo que a física tem de mais fundamental: o fato de ser o mais básico dos ramos da ciência. Adotando-se uma perspectiva mais ampla a respeito dos propósitos do ensino e da física, pode-se identificar nesta uma oportunidade singular para que as crianças desenvolvam sua autoestima através da vivência de situações ao mesmo tempo desafiadoras e prazerosas. (SCHROEDER, 2007, p. 89)

Ao trazer a física para o início da vida escolar do aluno, todos podem sair ganhando, uma vez que, como Schroeder (2007) argumenta:

O ensino de Ciências é, portanto, uma ótima oportunidade para que as crianças aprendam a se expressar de maneira clara, sem dubiedades. Mais do que aprender conteúdos, as aulas de Ciências podem servir para auxiliar na maturação dos valores afetivos necessários para o aprendizado. (SCHROEDER, 2007, p. 91).

O que traz benefícios, tanto ao aluno que desenvolverá habilidades de aprendizado quanto ao professor, que receberá um aluno mais capaz de aprender. Quando já ouviu falar alguma vez em física, também terá maior interesse em outros assuntos e disciplinas, como consequência secundária.

Uma proposta muito interessante, é a cartilha “Capitão Renew” coordenada pelo Prof. Dr. Marcio Rodrigo Loos, projeto da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2014.

Esta cartilha integra o projeto de extensão RENEW, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Seu objetivo é levar ao alcance das crianças uma base de conhecimento sobre energias renováveis, conscientização para o não desperdício de água e reciclagem do lixo. (LOOS, 2014, p. 2)

A conscientização do cidadão desde cedo, constrói atitudes voltadas à preocupação com a sustentabilidade, temas esses, que possuem ligação com a produção de experimentos de baixo custo, de modo a aproveitar os materiais reciclados. Chegar ao ensino médio mais habituado a isso e encontrar experimentos e atividades que utilizem desta concepção torna possível a maior criatividade e facilita na aceitação para o trabalho com estes materiais.

Há outras propostas para a divulgação dos conhecimentos científicos da física que também são válidas para auxiliar a despertar interesse dos alunos e melhorar a qualidade das aulas. Propostas como o projeto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Blumenau, chamado “Física de Portas Abertas” que busca apresentar à comunidade em geral diversas atividades relacionadas à física.

A falta de uma base nacional comum curricular para o ensino na educação básica abre discussões a respeito da sua elaboração. A falta de coerência entre as etapas, é um problema que vem crescendo e vai trazer consequências negativas no futuro.

Consequências estas que vão desde os altos índices de reprovação nos primeiros semestres de graduação por falta de base, o que pode levar muitos à desistência até a falta de profissionais capacitados no país. Fato este constatado recentemente. Na questão da reprovação nos primeiros semestres dos cursos de graduação na área de ciências exatas, existem diversos estudos de caso referente à reprovação na disciplina de Cálculo I, que contém em sua ementa conteúdos muito importante para a Física como limites e derivadas.

Estes estudos revelam que a taxa de reprovação em diversas universidades é alta. Segundo a pesquisa de Wisland *et al* (2014) que obteve dados referentes à reprovação na disciplina de Cálculo I na Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), dos anos de 2009 a 2012, em doze cursos diferentes, a média de aprovação na disciplina foi de 72%, com valores variando desde 90% no curso de Engenharia de Produção, até 33% no curso de Física, o que reflete de maneira negativa nas outras disciplinas do curso.

Estes resultados são reflexos da educação básica do país, mais especificamente do ensino médio, onde muitos conteúdos não são trabalhados devido ao número reduzido de aula. O presente projeto torna-se uma alternativa para que o entendimento de determinados conteúdos ocorram de uma forma alternativa e mais eficiente.

A reforma do ensino médio que está em andamento, entrar em vigor da forma como está, sem participação democrática e sem uma preparação que venha desde o início da jornada escolar básica, tende a ser outro problema com reflexos no futuro. Certamente o ensino de física, que atualmente é afetado pela falta de estruturação organizada do ensino desde o início, com tardia inserção da física para o aluno, será afetado por uma mudança deste caráter.

A reforma, agora não mais apenas como medida provisória, mas como a Lei Nº 13.415 de 16 de fevereiro de 2017, prevê que o currículo a ser elaborado na Base Nacional Comum Curricular deverá ser organizado por meio da oferta de cinco diferentes arranjos curriculares e que serão oferecidos conforme a relevância para o contexto local e possibilidade dos sistemas de ensino.

Art. 4º O art. 36 da Lei no 9.394, de 20 de dezembro de 1996, passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 36.O currículo do ensino médio será composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos, que deverão ser organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber:

I - linguagens e suas tecnologias;

II - matemática e suas tecnologias;

III - ciências da natureza e suas tecnologias;

IV - ciências humanas e sociais aplicadas;

V - formação técnica e profissional. (BRASIL, 2017)

Vislumbrando um futuro incerto para o ensino da física, haverá o risco de não ser mais disponibilizado em todas as escolas e para todos os alunos, uma vez que nem todas poderão aplicar o arranjo curricular de ciências da natureza e suas tecnologias, que inclui a física. Tendo em vista que a oferta será conforme a relevância para o contexto local e possibilidade dos sistemas de ensino, de modo que nenhuma escola terá obrigatoriamente de oferecer todos os arranjos curriculares, se alegar a impossibilidade de disponibilização ou irrelevância no contexto local.

Visto a amplitude dos problemas na estrutura do ensino, aqui em especial a física no ensino médio, ressalta-se que a ideia de ensino em

tempo integral pode ser interessante, entretanto não há possibilidade de aplicação no momento atual.

Sobre a formação técnica dos professores de física, segundo o site Folha de São Paulo, citando o Censo Escolar 2015, quase 50% dos professores não tem formação na disciplina que ensina. No caso da física a situação é ainda pior, o Censo Escolar mostrou que em 2015 apenas 26,70% dos professores de física são formados na área, a maioria (31,3%) é formada em outra área, 29,8% são formados em matemática e ainda 12,20% não possuem formação superior. Tais dados mostram de maneira evidente que a demanda por professores de física formados na área é enorme, 73,30% dos que atuam como professor de física não possuem formação suficiente para tal, e isso certamente reflete na qualidade do aprendizado do aluno.

É possível ver assim a importância de cursos de Licenciatura em Física, com qualidade e quantidade para que os professores de Física possuam realmente uma formação na área, ou de programas como o MNPEF (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) para que seja possível a especialização como profissional do ensino de Física e não somente como pesquisador de ensino ou de alguma área da Física.

Desta forma, produtos pedagógicos como o apresentado nesta dissertação podem ser úteis para professores que não possuem formação, mas deseja levar algo a mais para suas aulas e enriquecer o conhecimento dos alunos de uma maneira mais efetiva. Mas, essa não é nem de longe uma solução, o ideal seria possuir 100% dos professores capacitados para todas as disciplinas.

E são diversos os fatores causadores desta carência. Um deles, de grande influência, é a desvalorização da profissão de professor. Considerando que a valorização da profissão, não só atrairia mais pessoas a estudar e se capacitar a lecionar, como incentivaria o professor que já é capacitado a permanecer no ensino básico e não buscar alternativas de renda.

É importante ter cuidado ao realizar comparações entre o Brasil e outros países, porque projetos de ensino de outras nações possuem fatores diferentes que contribuem para o sucesso, como foi levantado anteriormente a questão da valorização da profissão do professor. Observa-se o exemplo da Finlândia, que conquistou ótimas colocações nas provas de ciências, leitura e matemática do PISA (do inglês - Programa Internacional de Avaliação de Alunos) realizada em 2015 pela

Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico(OECD). Comparando com os resultados no Brasil, que em 2015 ficou na 63ª posição de 70 países pesquisados.

Bastos (2017) empreendeu uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico acerca do sistema educacional finlandês e afirmou que, apesar de muitos fatores contribuírem para o seu sucesso, aquele que supera a todos é a excelência dos professores.

Como corolário de uma sólida preparação profissional [...] e das bases sócio éticas que fundamentam o exercício de sua profissão, em consonância [...] com os valores predominantes naquela sociedade, a docência desfruta imenso prestígio e confiança naquele país, tanto quanto a medicina, a advocacia e outras do mesmo quilate em termos de valor social. [...] A carreira é exercida por toda a vida e é uma das mais disputadas. Anualmente, mais de 20 mil candidatos concorrem para o cargo de professor de escola primária, e apenas um décimo destes conseguem ser selecionados. (BASTOS, 2017, p. 808)

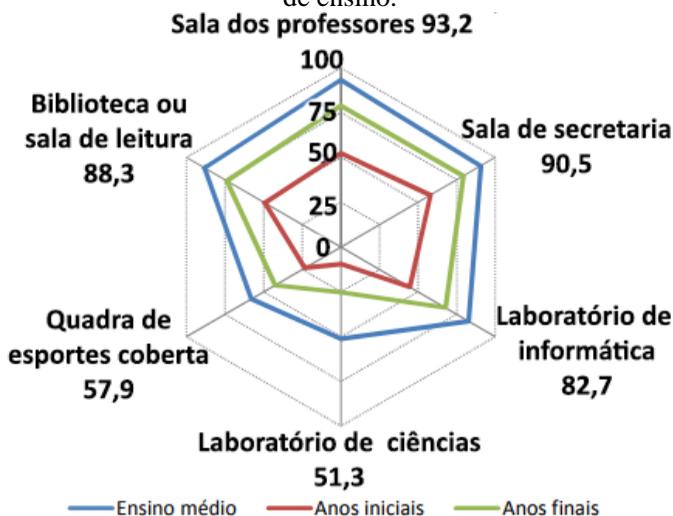
Ainda segundo Bastos (2017), ocorre a participação intensa dos docentes no planejamento curricular, feito em escala municipal, que apesar de seguir algumas diretrizes gerais, pode assim se adaptar a cada região. A autonomia profissional por lá é algo extremamente valorizado e importante. Sahlberg (2011) cita que, em suma os professores na Finlândia esperam desfrutar de autonomia profissional, prestígio, respeito e confiança em seu trabalho.

É importante ressaltar que não basta fazer uma simples cópia de um modelo que deu certo em outro país e trazer para o Brasil esperando que todos os problemas da educação sejam resolvidos. Para que haja uma real mudança será necessário um estudo de caso detalhado da atual situação educacional brasileira e com base em outros modelos que já deram certo, criando um modelo educacional brasileiro que leve em conta a pluralidade cultural do país, sua extensão territorial, diferenças sociais e todos os diversos outros fatores que fazem do Brasil um país único.

Quanto a infraestrutura, é possível fazer ligação com o que foi dito anteriormente sobre o contato tardio dos estudantes com as ciências, pois, segundo dados do Censo Escolar de 2016 pouco mais da metade

das escolas de Ensino Médio (51,3%), possuem laboratório de ciências. Esse percentual cai para 25,2% em escolas dos anos finais do Ensino Fundamental e como é possível ver na próxima imagem, retirada das Notas Estatísticas do Censo Escolar 2016, em torno de apenas 10% das escolas dos anos iniciais do Ensino Fundamental possuem laboratório de ciências (Figura 7). Estes números evidenciam como o contato com ciências é tardio para as crianças no Brasil, gerando problemas para o seu ensino.

Figura 7: Percentual de escolas por recurso disponível, segundo a etapa de ensino.



Fonte: Censo Escolar da Educação Básica 2016 Notas Estatísticas (2017).

Esta imagem (Figura 7) demonstra que o laboratório de ciências, dentre todos os recursos representados em geral, é aquele que menos está presente nas escolas. Se considerarmos que os laboratórios são utilizados pelas turmas nas escolas que o possuem, quase metade dos alunos que saem do ensino médio sai sem contato com experimentos e aplicações daquilo que passam três anos estudando e tentando entender a utilidade em suas vidas, ou por pura diversão e prazer de aprender.

Entretanto aponta também para o fato de que 82,7%, das escolas possuem laboratório de informática, viabilizando a utilização dos mesmos para a realização de simulação virtual como o PhET<sup>2</sup> da Universidade do Colorado que serão citados no desenvolvimento dos experimentos desta dissertação. É importante também o seu uso para que haja uma combinação entre o experimento virtual e o prático. Outra opção que poderá ser utilizada pelo professor é o Laboratório de Experimentação Remota – RExLab (UFSC). De acesso livre, é possível iniciar experimentação remota, via internet, aproximando os estudantes do conhecimento técnico-científico e sem custo.

As considerações feitas até aqui, reforçam que o produto didático exposto nesta dissertação, torna-se uma alternativa para o professor que deseja dar significado ao conteúdo trabalhado e objetiva uma maior participação do aluno pelo processo, desde a procura de materiais, confecção do experimento, até o questionário final.

## 2.2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na aplicação dos três experimentos em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio composta por 12 alunos na faixa etária de 17 anos, durante 4 aulas regulares, no laboratório de ciências em uma escola na cidade de Ascurra/SC.

A seguir apresenta-se cada um dos experimentos, seus objetivos, análise física, materiais e manuais de montagem, procedimentos de aplicação e questões sobre a atividade. O produto didático para a utilização do professor está contido em um documento publicado junto com esta dissertação e pode ser consultado e utilizado para aplicar com os alunos.

Recomenda-se que quando possível, a parte teórica seja trabalhada inicialmente fazendo uso também dos simuladores constantes na análise física dos experimentos antes dos procedimentos integrantes de cada experimento.

Esta foi a primeira etapa dos trabalhos, conforme será descrito nos resultados.

---

<sup>2</sup> Sigla para “Physics Educational Technology (do inglês Tecnologia educacional em física). Endereço eletrônico: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)>

## 2.2.1 Experimento de Susceptibilidade Magnética – “Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica”

### 2.2.1.1 Objetivos

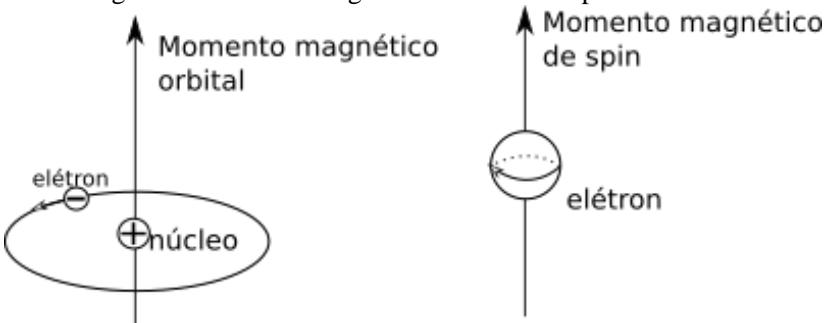
Verificar os diferentes comportamentos magnéticos da matéria.

Verificar e entender o princípio de Pascal e as prensas hidráulicas.

### 2.2.1.2 Análise física

O magnetismo é uma propriedade dos átomos, é descrito como o resultado da combinação do momento angular orbital (momento do elétron girando ao redor do núcleo) e do spin do elétron (momento do elétron girando em torno de si mesmo) representados na Figura 8. A forma como os materiais comportam-se na presença de um campo magnético é ditada pela combinação entre esses momentos, esse comportamento é o que classifica os materiais de acordo com as suas propriedades magnéticas, sendo os principais comportamentos magnéticos o ferromagnetismo, paramagnetismo e o diamagnetismo.

Figura 8: Momento magnético orbital e de spin do elétron



Fonte: O Autor.

Para mensurar a capacidade de um material se magnetizar quando estimulado, existe um coeficiente de proporcionalidade chamado

susceptibilidade magnética ( $\chi_m$ ). Ela relaciona uma excitação magnética ( $\vec{H}$ ) à uma magnetização ( $\vec{M}$ ) através da equação

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad (14)$$

Com isso, diferentes comportamentos são observados nos materiais. Um destes é o ferromagnetismo, o comportamento que permite que certos materiais se tornem ímãs permanentes.

De todas as propriedades, o ferromagnetismo é amais evidente e responsável pelos fenômenos mais comuns do dia a dia, exemplo comum são os ímãs de geladeira. Materiais ferromagnéticos têm momento magnético espontâneo, assim sustentando a magnetização mesmo após a estimulação magnética ser removida. Esse momento indica que seus spins são arranjados de maneira regular conforme a figura 8.

Ferromagnetismo é normalmente encontrada em ligas de ferro, níquel e cobalto com outros elementos. Existem também alguns minerais que possuem essa ocorrência naturalmente, como a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Figura 9: Momento magnético desalinhado (acima) e alinhado (abaixo)

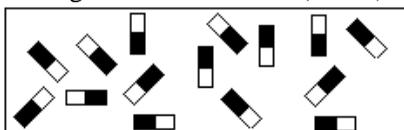


Figura A

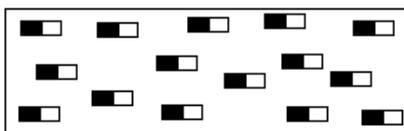


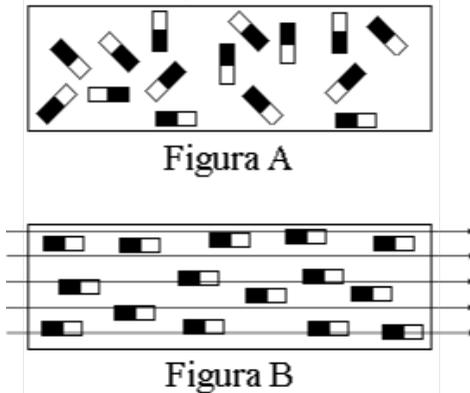
Figura B

Fonte: Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele11.htm>> Acesso em 23 jan. 2018

O paramagnetismo é a tendência de certos materiais que possuem dipolos magnéticos permanentes, porém desalinhados, se alinham na presença de campo magnético. Pelo fato de não estarem alinhados espontaneamente, esses materiais não apresentam campo magnético

resultante, mas ao serem estimulados, ocorre o alinhamento ao campo externo.

Figura 10: Dipolos desalinhados e alinhados com o campo, respectivamente



Fonte: (Adaptada pelo autor) Disponível em:

<<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele11.htm>> Acesso em 23 jan. 2017.

Na presença do campo magnético, os materiais paramagnéticos sofrem o mesmo tipo de atração e repulsão de ímãs permanentes, mas ao serem removidos do campo, seus dipolos retornam à suas posições originais e desalinhadas, assim retornando ao estado magnético inicialmente desorganizado. Normalmente os efeitos paramagnéticos são pequenos, o que pode ser visto pela susceptibilidade dos materiais serem da ordem de  $10^{-5}$ .

Por fim, mas não menos importante, o diamagnetismo é o nome dado ao comportamento dos materiais que tendem a ser repelidos na presença de campos magnéticos. É a propriedade magnética mais fraca e mais difícil de se observar, o valor da susceptibilidade magnética dos materiais diamagnéticos encontra-se na ordem de  $-10^{-6}$ .

Nos materiais diamagnéticos, os dipolos não são permanentes e normalmente desalinhados, ao serem submetidos a um campo magnético externo possuem um momento de dipolo alinhado no sentido oposto ao do campo, assim sofrendo uma repulsão. Segue abaixo na Tabela 2 uma

lista da susceptibilidade magnética de materiais paramagnéticos e diamagnéticos.

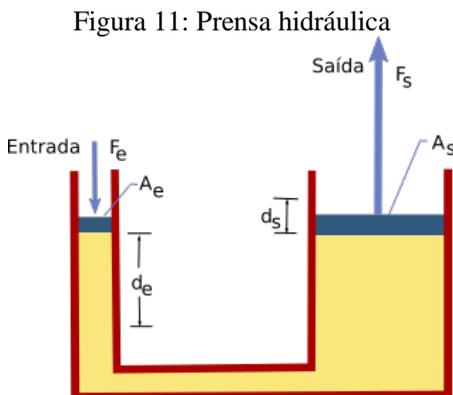
Tabela 2: Susceptibilidade magnética dos materiais

<b>Substância paramagnética</b>	<b>Susceptibilidade magnética</b>	<b>Substância diamagnética</b>	<b>Susceptibilidade magnética</b>
Alumínio	$2,3 \cdot 10^{-5}$	Bismuto	$-1,7 \cdot 10^{-5}$
Cálcio	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Cobre	$-9,8 \cdot 10^{-6}$
Cromo	$2,7 \cdot 10^{-4}$	Diamante	$-2,2 \cdot 10^{-5}$
Lítio	$2,1 \cdot 10^{-5}$	Ouro	$-3,6 \cdot 10^{-5}$
Magnésio	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Prata	$-2,6 \cdot 10^{-5}$
Tungstênio	$6,8 \cdot 10^{-5}$	Nitrogênio	$-5,0 \cdot 10^{-9}$
Oxigênio	$2,1 \cdot 10^{-6}$	Silício	$-4,2 \cdot 10^{-6}$

Fonte: Griffiths, David J. Introduction to Electrodynamics, 1999.

Seguindo a proposta para o desenvolvimento, faz-se necessário abordar o princípio de Pascal, que estabelece que a pressão aplicada em um fluido em equilíbrio transmite-se igualmente a todos os pontos do fluido e as paredes do recipiente que o contém, ou seja, ao pressionar uma seringa, a pressão aplicada é distribuída igualmente nas suas paredes e na extremidade oposta, tendo valor igual ao aplicado.

Esse princípio é muito utilizado e uma forma comum de aplicação é a prensa hidráulica, como por exemplo, a utilização no sistema de freio em veículos. A prensa funciona com dois êmbolos de áreas diferentes conforme a Figura 11 e logo com uma pressão igual nas duas áreas, podemos gerar forças diferentes.



Fonte: HALLIDAY, Fundamentos de Física – 8ª ed. v. 2. 2009. p. 65

Ao pensarmos que a pressão exercida no ponto de entrada (e) é igual a pressão resultante no ponto de saída (s) e sabendo que pressão é igual à razão entre a força aplicada sobre uma área. Assim:

$$\frac{F_e}{A_e} = \frac{F_s}{A_s} \quad (15)$$

Portanto de acordo com a equação 15, temos que as forças aplicadas pelos êmbolos são diretamente proporcionais às áreas da superfície de contato dos mesmos, proporcionando uma multiplicação da força.

Além, disso por se tratar de líquidos incompressíveis, o volume deslocado é o mesmo, ou seja,  $v_e = v_s$ , podemos considerar o volume de líquido deslocado como um produto da área pelo deslocamento, assim sendo  $A_e \cdot d_e = A_s \cdot d_s$ , o que nos mostra que quanto maior a área de saída ( $A_s$ ), maior deverá ser o deslocamento na entrada, a fim de deslocar a saída.

Em síntese a prensa hidráulica multiplica a força na razão inversa do deslocamento do êmbolo.

## 2.2.1.3 Materiais

Tabela 3: Materiais para o experimento Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica

3 seringas de 10mL	
Presilha	
Estrutura experimental	
Borracha de soro	
Um disco de metal de cada um dos seguintes materiais: alumínio, cobre e ferro.	
Coluna de ímãs de neodímio (Nd <sub>2</sub> -Fe <sub>14</sub> -B)	

Fonte: O Autor.

### 2.2.1.4 Procedimentos de Aplicação

Descreve-se a seguir os procedimentos utilizados na aplicação dos experimentos, e que foram realizados pelos alunos.

Procedimento 1 – Forma-se grupos de no máximo 5 alunos;

Procedimento 2 - Os integrantes da equipe devem posicionar o kit experimental em uma superfície alta de modo que os êmbolos das seringas estejam direcionados a eles (Figura 12);

Figura 12: Posição do experimento



Fonte: O Autor.

Procedimento 3 – Um integrante da equipe deve aproximar a ponta da coluna de ímãs de neodímio a cada seringa, de modo que o ímã interaja com o disco metálico na ponta da seringa.

Na sequência foi registrado em uma tabela (segue modelo) o que acontece em cada caso.

Tabela 4: Tabela de anotação dos primeiros resultados do experimento

Ferro	Alumínio	Cobre

Fonte: O Autor.

Procedimento 4 - Um segundo integrante deve segurar a seringa com a ponta de cobre de modo que ela não consiga se mover. O bastão deverá novamente ser aproximado da seringa de ferro (Figura 13).

Figura 13: Quarto procedimento do experimento de susceptibilidade magnética



Fonte: O Autor.

Os alunos devem anotar em uma tabela (segue modelo) o que aconteceu em cada caso.

Tabela 5: Tabela de anotação da segunda parte do experimento

Seringa de cobre solta	Seringa de cobre presa

Fonte: O Autor.

#### 2.2.1.5 Questionário sobre o experimento

Seguem as questões acerca do experimento, que foram respondidas pelos alunos após a realização do mesmo:

Questão 1: Com base no que foi aprendido, classifique os metais utilizados em Paramagnético, Diamagnético e Ferromagnético. Explique sua resposta.

Questão 2: O que aconteceria caso houvesse um disco de Cromo na seringa e fosse aproximado o ímã? E com Ouro? E Silício?

Questão 3: Com base no que foi observado no experimento, qual dos metais foi mais fácil observar a ação do ímã? Através da teoria, explique o motivo.

Questão 4: Crie uma hipótese do que aconteceria caso aproximássemos um ímã, ao mesmo tempo, em todas as seringas. Explique sua ideia.

Questão 5: No procedimento 4, houve uma diferença na distância em que o embolo com alumínio se moveu. Explique essa diferença utilizando o princípio de Pascal.

Questão 6: Sabendo que a pressão foi a mesma, quando ocorre uma força resultante maior, com o embolo de cobre: solto ou preso?

### **2.2.2 Experimento de Freio Magnético – “Indução eletromagnética: duas metades de uma ciência”**

#### 2.2.2.1 Objetivos

Verificar e entender as relações entre eletricidade e magnetismo.

Dar a base teórica para entender o funcionamento da indução eletromagnética.

Entender a relação entre as propriedades magnéticas e a temperatura.

Verificar e provar a conservação de energia.

Entender o funcionamento do freio magnético.

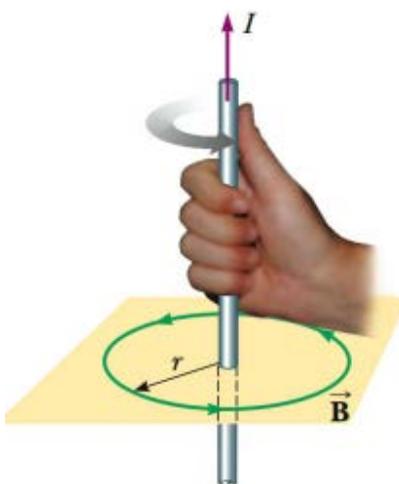
#### 2.2.2.2 Análise Física

Até início do século XIX, a eletricidade e o magnetismo eram vistos como duas áreas separadas. Hans Christian Ørsted, físico e químico dinamarquês, enquanto preparava materiais para uma palestra reparou que ao ligar uma bateria, a corrente fornecida fazia uma bússola ser defletida. Isso o convenceu que correntes elétricas geravam campos magnéticos ao seu redor, criando uma relação direta entre a eletricidade e o magnetismo.

Motivados pelas descobertas de Ørsted, Jean-Baptiste Biot e Félix Savart, físicos franceses, publicaram a primeira análise precisa do

fenômeno e conseguiram formular uma lei que descrevia matematicamente a relação entre a corrente elétrica e o campo magnético gerado. Essa lei ficou conhecida como a Lei de Biot-Savart, a partir dela podemos observar também que uma corrente em um fio condutor longo, gera um campo magnético circular que obedece a regra da mão direita, onde o polegar aponta para o sentido da corrente e os dedos apontam para a direção do campo magnético (como mostra a Figura 14).

Figura 14: Campo magnético gerado por uma corrente em um fio



Fonte: SERWAY, Raymond A. Princípios de Física, vol. III. Eletromagnetismo. 2006.

A intensidade do campo magnético pode ser calculada pela equação

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}, \quad (16)$$

Onde  $B$  representando o campo magnético;  $\mu_0$  a constante de permeabilidade magnética do meio,  $i$  a corrente elétrica e  $R$  a distância até o fio, mostrando que a intensidade do campo magnético é diretamente proporcional a corrente e inversamente a distância.

Utilizando esse fenômeno, é possível fabricar eletroímãs caseiros utilizando materiais acessíveis e de baixo custo, como pilhas, fios de cobre e pregos. Ao enrolar um fio de cobre ao redor de um prego e

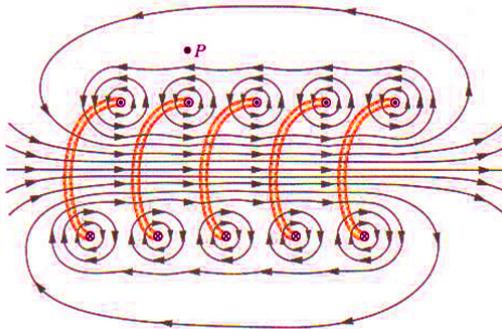
conectar suas pontas à uma pilha (Figura 15) a corrente que passa pelo fio de cobre gera um campo magnético (Figura 16), que é amplificada pelo núcleo de ferro do prego, assim magnetizando o próprio prego e criando um eletroímã.

Figura 15: Eletroímã caseiro feito com prego, fio de cobre e bateria



Fonte: O Autor.

Figura16: Campo magnético gerado por um solenóide



Fonte: HALLIDAY, Fundamentos de Física – 8ª ed. v. 3. 2009. p. 246

Para uma melhor visualização do campo magnético gerado pelo solenóide formado com o fio de cobre, é possível acessar o simulador

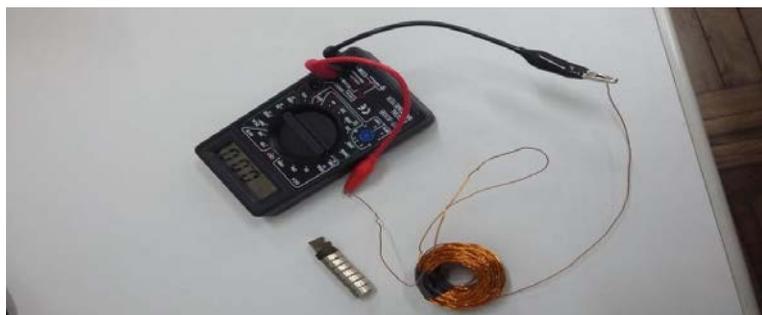
“*Faraday's Electromagnetic Lab*”, da PhET disponível no site: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/faraday>, que disponibiliza inclusive, dicas para o professor trabalhar o experimento virtual, na seção “*Teachertips*” (do inglês: dicas para professor).

Michael Faraday físico e químico inglês, em 1831 realizou um experimento onde desejava passar um ímã por um anel de ferro, com dois fios amarrados em lados opostos, esperando que algum tipo de onda elétrica fosse gerada. Ao realizar o experimento, realmente foi observada uma indução elétrica nos fios, que ocorreu devido a mudança do fluxo magnético no anel de ferro.

Apesar de ser atribuída à Faraday, a descoberta da indução eletromagnética em 1833 Heinrich Friedrich Emil Lenz, físico estoniano, desenvolveu a Lei de Lenz que dita que o sentido da corrente elétrica é o oposto da variação do fluxo do campo magnético que a criou, assim gerando um campo magnético que se opõe a variação do campo original.

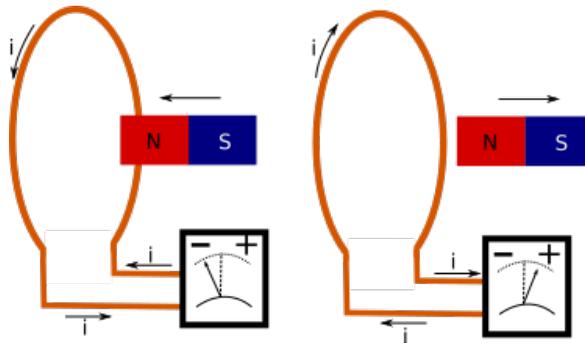
Essa variação do fluxo pode se acontecer das seguintes formas: mudando o ângulo da espira condutora, variando a área da espira, e movendo a fonte magnética, sendo aproximando ou afastando da espira. Um dos jeitos mais fáceis de provar esse fenômeno é utilizando um fio de cobre, um multímetro e um ímã. Ao fazer uma espira circular de várias voltas com o fio de cobre, e prendendo suas pontas à um multímetro (Figura 17), podemos ver uma diferença de potencial, através de uma tensão, sendo gerada ao aproximar e afastar o ímã da espira.

Figura 17: Espira feita com fio de cobre conectada a um multímetro



Fonte: O Autor.

Figura 18: Lei de Lenz atuando em um ímã e uma espira



Fonte: O Autor

Ao fazer o movimento de passar o ímã pela bobina e voltar, é possível ver que é gerado duas tensões de sinais opostos (Figura 18). Quando o processo se repete, o que acontece é a criação de uma nova corrente que varia seu valor de um estado positivo para um negativo, gerando assim o que é conhecido como corrente alternada. A corrente alternada (CA) se difere da corrente contínua (CC), pois ela varia tanto sua intensidade quanto seu sentido, com o passar do tempo. A CA é utilizada em grande escala e é ela que está presente nas residências.

Em decorrência da variação do fluxo magnético que gera um campo magnético que se opõe a essa variação, ao passar um ímã por uma espira, ocorre uma força contrária ao movimento causada pelo campo magnético gerado que afeta o ímã. Essa força causa uma variação na energia cinética do ímã. Conforme o princípio da conservação de energia, a quantidade total de energia em um sistema é constante e assim esta energia cinética perdida se transforma em outras formas de energia. Junto com esse campo magnético, também é gerada uma corrente elétrica que se dissipa com o tempo e o fenômeno que descreve essa dissipação é chamado de efeito Joule.

Essa força contrária que impede o movimento é utilizada atualmente na construção de diversos tipos de sistemas de desaceleração de corpos ou freios magnéticos. Usados em trens, guindastes e outros tipos de frenagem, o freio magnético funciona utilizando os princípios

da lei de Lenz, através de uma placa metálica que ao passar pelos polos de um eletroímã gera uma variação no fluxo magnético, assim gerando uma força contrária ao movimento, fazendo a frenagem.

Fenômeno este estudado e descrito por James Prescott Joule, físico inglês, que em 1841 publicou um estudo que relacionava o calor gerado com a corrente elétrica que percorre um fio. Como todo condutor possui uma resistência a passagem de corrente elétrica, que é dita por  $R$ , o calor  $Q$  gerado por um fio é medido por  $Q = i^2 R t$ ,  $t$  sendo o tempo.

Desta forma indica que todo condutor que possui uma corrente passando, dissipa parte dela em calor, obedecendo a conservação de energia.

Ainda no século XIX, Pierre Curie, físico francês, estudava os efeitos de altas temperaturas em ímãs permanentes. Seus estudos lhe renderam uma tese de doutorado, que atualmente é conhecida por lei de Curie. Essa lei dita que materiais ferromagnéticos, ao serem aquecidos acima de uma temperatura (específica para cada material), se comportam como materiais paramagnéticos, assim tendo seus spins magnéticos desalinados. Essa temperatura é conhecida como temperatura de Curie, ou ponto de Curie.

A Tabela 6 traz a lista de pontos de Curie e de fusão de alguns materiais. Esse efeito é utilizado na desmagnetização de ímãs permanentes, que se elevados ao ponto de Curie, modificam seu comportamento magnético e após resfriados, não voltam ao que era, mantendo esse novo comportamento.

Tabela 6: Lista de materiais e seus pontos de Curie e de fusão

Material	Ponto de Curie (°C)	Ponto de Fusão (°C)
Cobalto (Co)	1127	1495
Ferro (Fe)	770	1538
Ferrite	450	1539
Ímã de neodímio	310-400	1021
Disprósio (Dy)	-185	1412

Fonte: O Autor.

## 2.2.2.3 Materiais

Tabela 7: Materiais para o experimento Indução eletromagnética: duas metades de uma ciência

Suporte para o Experimento	
Imãs de Neodímio	
Pilha	
Prego	
Fio de cobre	
Multímetro	
Bússola	

Fonte: O Autor.

#### 2.2.2.4 Procedimentos de Aplicação

Descrição dos procedimentos realizados pelos alunos na aplicação dos experimentos.

Procedimento 1 - Formaram-se grupos de no máximo 5 alunos.

Procedimento 2 - Os integrantes da equipe devem posicionar o suporte do experimento no chão, de modo que os tubos fiquem de frente para eles (Figura 19).

Figura 19: Posição do tubo



Fonte: O Autor.

Procedimento 3 - Utilizando um prego, um fio de cobre e uma pilha, os integrantes devem montar um eletroímã caseiro, como mostra a foto a seguir. Utilizando os conhecimentos, devem explicar como funciona a magnetização do prego.

Figura 20: Eletroímã caseiro

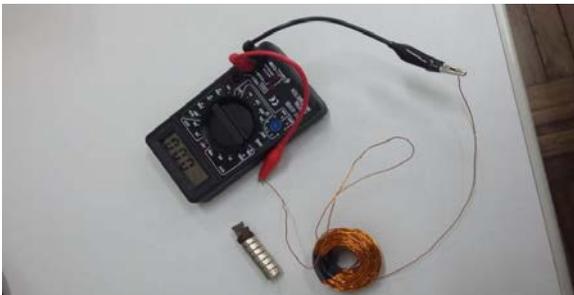


Fonte: O Autor.

Procedimento 4 - Com o auxílio da bússola devem observar como ao conectar o fio de cobre na pilha: o ponteiro da bússola se desvia. Posteriormente anotar o motivo de que ao inverter os polos da pilha: o ponteiro da bússola também se inverte.

Procedimento 5 - Utilizando um ímã permanente, uma bobina de fio de cobre e um multímetro, os membros devem tentar demonstrar a indução eletromagnética, como mostra a Figura 21. O procedimento e os resultados devem ser anotados (o multímetro deve ser posicionado na função para ler tensão CA).

Figura 21: Procedimento 5



Fonte: O Autor.

Procedimento 6 – Os integrantes devem dissertar sobre o que acontecerá ao aproximar um ímã na parte externa dos tubos de cobre e acrílico, fixos no suporte. Posteriormente testar o que foi descrito e verificar se estava certo. Ao aproximar o ímã dos tubos, anotar o que acontece.

Procedimento 7 – Na sequência a equipe deve simultaneamente soltar um ímã no tubo de cobre, um ímã no tubo de acrílico e um metal não magnetizado no outro tubo de cobre. Antes devem anotar o que se espera visualizar. Após soltar o ímã e verificar se o resultado foi o mesmo que o esperado. Caso contrário, devem escrever o ocorrido e qual a explicação física para o resultado da experiência.

Procedimento 8 – No próximo passo a equipe deve soltar ao mesmo tempo um ímã em um dos tubos de cobre, e dois ímãs no outro tubo, antes disso devem escrever o que se espera do experimento. Após soltar, verificar se o resultado foi o mesmo que o esperado. Caso contrário, devem escrever o que ocorreu e qual a explicação física para o ocorrido.

Procedimento 9 - Os membros da equipe devem utilizar os dois ímãs de aparência igual (um deles foi desmagnetizado), e utilizando apenas os canos e os dois ímãs, devem tentar descobrir qual deles foi desmagnetizado. As ideias e resultados foram anotados.

#### 2.2.2.5 Questões sobre o Experimento

Seguem as questões que devem ser respondidas pelos alunos, após a realização do experimento do freio magnético:

Questão 1. Com base no que você aprendeu, por que ocorre um aumento no tempo de queda do ímã ao ser solto pelo cano de cobre?

Questão 2. Por que o fenômeno acima não ocorreu com o tubo de acrílico?

Questão 3. Sabendo que, para ocorrer a indução é necessária uma espira de um material condutor, é correto afirmar que o tubo de cobre se comporta como uma grande espira, com voltas muito próximas umas das outras?

Questão 4. O princípio da conservação de energia, diz que a energia em um sistema deve se manter constante. Normalmente a energia potencial gravitacional ao se deixar algo cair se transforma em energia cinética. É o que acontece ao soltar o ímã no tubo de cobre? Se não, descreva o que acontece com a energia e se esse sistema segue o princípio da conservação.

Questão 5. No item 7 do experimento, a equipe teve de trabalhar com um ímã desmagnetizado. Como ocorre o processo de desmagnetização de um ímã?

### 2.2.3 Experimento de Levitação Magnética – “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico”

#### 2.2.3.1 Objetivos

Verificar e entender a funcionalidade da levitação magnética.  
Apresentar os diamagnéticos e seus usos em tecnologias de transporte.

#### 2.2.3.2 Análise Física

No experimento de susceptibilidade magnética foram apresentados os três principais comportamentos magnéticos dos materiais: diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos. A equação 14 descreve um coeficiente de proporcionalidade chamado susceptibilidade magnética ( $\chi_m$ ) e relaciona uma excitação magnética ( $\vec{H}$ ) à uma magnetização ( $\vec{M}$ ).

Diamagnetismo é chamado o comportamento dos materiais que tendem a ser repelidos na presença de campos magnéticos. É a propriedade magnética mais fraca e mais difícil de observar. Normalmente a susceptibilidade magnética dos materiais diamagnéticos é da ordem de  $-10^{-6}$ . Nos materiais diamagnéticos, os dipolos não são permanentes e normalmente desalinhados.

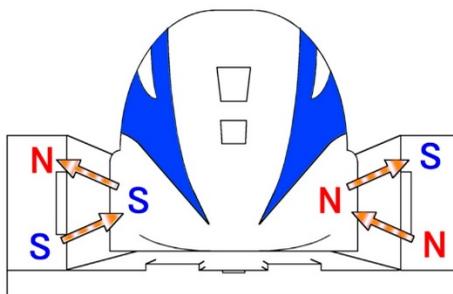
Ao serem submetidos à um campo magnético externo possuem um momento de dipolo alinhado no sentido oposto ao do campo, assim sofrendo uma repulsão.

Levitação magnética, também conhecida como suspensão magnética, é chamado o método onde um objeto é suspenso utilizando campos magnéticos. Esse método consiste em usar força magnética para neutralizar a força gravitacional e outras forças externas. Para conseguir fazer uma levitação magnética existem duas preocupações, ter uma força magnética suficiente para manter o objeto suspenso e conseguir uma

estabilidade evitando que o objeto deslize ou se mova de modo que a elevação seja eliminada.

Uma das aplicações da levitação magnética ocorre nos trens Maglev, trens que são suspensos dos trilhos usando ímãs potentes, podendo ser eles: eletroímãs, ímãs permanentes ou até uma combinação dos dois, como mostra a figura 22.

Figura 22: Trem Maglev



Fonte: Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Maglev#/media>>  
Acesso em 17 set. 2017.

A utilização de eletroímãs permite não apenas que os trens flutuem acima dos trilhos, removendo o atrito, mas também são usados para impulsionar os trens, permitindo-os a alcançar altas velocidades. Os trens chegam a alcançar 600 km/h. Pode ser visualizado um trem Maglev chegando a 603 km/h através do link: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=HpRqlehZ0X8>> Acesso em 17 set. 2017.

Apesar do modelo mais simples da levitação ser dois ímãs sobrepostos e com polos invertidos, gerando uma repulsão entre eles, o mesmo efeito é possível se alcançar utilizando materiais diamagnéticos, que quando submetidos à fortes campos magnéticos são repelidos.

Além disso, os materiais diamagnéticos oferecem uma maior estabilidade na levitação, pois os ímãs tendem a querer alinhar seus polos, muitas vezes causando problemas na levitação, algo que não acontece com materiais diamagnéticos. Na utilização há um problema, a necessidade de fortes ímãs para conseguir esse efeito.

Já no caso dos supercondutores, não temos alinhamento de seus momentos magnéticos, o campo magnético em seu interior é zero, o que causa a repulsão é o chamado Efeito Meissner, onde a aproximação de um ímã causa o surgimento de uma supercorrente elétrica induzida na

superfície do mesmo, gerando um campo magnético que se opõe à variação de campo magnético que a gerou, que nada mais é do que a Lei de Lenz.

A levitação nesse caso acontece pelo fato do supercondutor ficar “preso” no espaço sob a ação de um campo magnético externo, diferente do diamagnetismo, onde a levitação ocorre pelo alinhamento dos momentos magnéticos havendo uma disputa entre ação gravitacional para baixo e repulsão magnética para cima, proporcionando uma força resultante igual a zero.

Com a facilidade e disponibilidade de se obter ímãs permanentes nos últimos anos, a utilização de diamagnéticos para criar um efeito leve de levitação magnética se torna algo viável, principalmente se os combinarem com fortes diamagnéticos, como o grafite pirolítico. A Figura 23 é um exemplo da levitação magnética com o grafite pirolítico.

Figura 23: Levitação magnética com grafite pirolítico



Fonte: Disponível em: <[http://scitoys.com/scitoys/scitoys/magnets/pyrolytic\\_graphite\\_2](http://scitoys.com/scitoys/scitoys/magnets/pyrolytic_graphite_2)> Acesso em 15 set. 2017.

O grafite pirolítico é muito similar a um grafite comum. Possui ligações covalentes entre suas folhas de grafeno, material que até agora não foi achado na natureza, ou seja, é produzido em laboratórios.

Esse material é normalmente aplicado em motores de foguetes, fornos de laboratórios, cones de míssil e em vários outros processos que envolvem altas temperaturas, além de também ser usado em próteses medicinais.

As diferenças para um grafite comum é ser condutor térmico mais potente, considerado um dos melhores condutores térmicos disponíveis

e com o diamagnetismo mais forte (por peso) de qualquer diamagnético em temperatura ambiente. Sua susceptibilidade magnética é de  $\chi_m = -4 \cdot 10^{-4}$ .

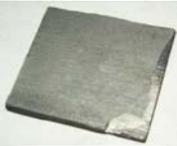
O grafite para o experimento pode ter as seguintes dimensões: 10mm x 10mm x 1mm. O mesmo pode ser encontrado por um valor de aproximadamente R\$ 40,00 (data atual), adquirido através da internet, apesar de muitas vezes precisar ser importado e por esta razão é necessária uma programação do professor para comprá-lo com antecedência.

Ressalta-se que uma vez comprado, o professor pode reutilizar em outras aplicações futuras.

Recomenda-se que o professor seja responsável por adquirir este material, uma vez que se torna oneroso para custeamento por parte dos alunos.

### 2.2.3.3 Materiais

Tabela 8: Materiais do experimento Levitação magnética e o grafite pirolítico

Grafite Pirolítico	
Ímãs de Neodímio	
Suporte de Madeira	
2 ímãs de Ferrite	

Fonte: O Autor

#### 2.2.3.4 Procedimentos de Aplicação

Seguem os procedimentos da aplicação que foram realizados pelos alunos durante este experimento:

Procedimento 1: Formam-se grupos de no máximo 5 alunos.

Procedimento 2: Os membros da equipe devem, conforme mostra a figura seguinte, montar o primeiro modelo de levitação magnética, usando os dois ímãs e o suporte de madeira (Figura 24).

Figura 24: Ímãs no suporte de madeira



Fonte: O Autor.

Procedimento 3: O segundo modelo devem ser montado, com os ímãs de neodímio. Os integrantes deviam montar uma cama, como na Figura 25.

Figura 25: Exemplo de cama com ímãs de neodímio



Fonte: O Autor.

Procedimento 4: Cuidadosamente os integrantes deviam posicionar o grafite pirolítico no centro da cama, de modo que flutue. (Figura 26)

Figura 26: Grafite pirolítico levitando sobre a cama de ímãs



Fonte: Disponível em: <[http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/magnets/pyrolytic\\_graphite\\_2](http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/magnets/pyrolytic_graphite_2)> Acesso em 15 set. 2017.

Procedimento 5: Para testar as propriedades magnéticas, a equipe deve fazer uma série de interações com os modelos, a fim de testar quais são seguras de se fazer nos modelos testados.

Pedi-se então para que os alunos fizessem um X na tabela abaixo caso tenha sido possível realizar a ação sem acabar com a levitação, caso contrário, a lacuna deveria ser deixada em branco

Tabela 9: Anotações acerca do experimento de levitação magnética

Ação	Dois Ímãs	Ímãs e Grafite
Girar o elemento que está flutuando		
Deslocá-lo para baixo		
Deslocá-lo para o lado		
Colocar o elemento de cabeça para baixo.		
Levantar e soltar o elemento		

Fonte: O Autor.

### 2.2.3.5 Questões sobre o Experimento

Abaixo seguem as questões os alunos devem responder sobre o experimento de levitação magnética:

Questão 1: Cite as principais diferenças entre os dois modelos de levitação magnética. Posteriormente responda qual é mais estável?

Questão 2: Seria possível realizar a levitação dos dois ímãs sem o suporte de madeira? Se não, explique o motivo.

Questão 3: Explique por que o efeito de levitação diamagnética não é algo tão comum de ser observado no dia a dia.

Questão 4: Sabendo que a susceptibilidade magnética do ouro é de  $-3 \cdot 10^{-5}$ , seria viável realizar esse experimento com um pedaço de ouro? Explique.

Questão 5: Sabendo como funciona a levitação magnética dos trens, em que outros lugares você acha viável a implantação desta tecnologia? Explique.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados esperados para os três experimentos da presente dissertação eram: a compreensão da relação de simultaneidade existente entre eletricidade e magnetismo, culminando na ideia do eletromagnetismo; a demonstração, que nem todos os materiais são atraídos por ímãs como acredita o senso comum e a demonstração do fenômeno da levitação magnética e suas aplicações tão presentes no mundo atual e no futuro, visto que fenômenos de supercondutividade possuem aplicação na levitação, e tem laureado muitos cientistas ao Prêmio Nobel nos últimos anos.

### 2.3.1 Realização dos experimentos

A aplicação dos experimentos ocorreu com 12 alunos de uma turma do terceiro ano do Ensino Médio do Colégio São Paulo de Ascurra/SC. Escola tradicional da região do médio Vale do Itajaí, durante o mês de outubro, referindo-se ao terceiro trimestre do ano de 2017.

Durante a aplicação dos experimentos descritos nesta dissertação não foi possível fazer com que os alunos construíssem os experimentos,

uma vez que por ser a primeira aplicação, os protótipos não poderiam ser feitos pelos alunos, mas sim por quem pretendia aplicar, no caso o autor da presente dissertação. Apesar da montagem em si não ter sido feita com o auxílio dos alunos, os mesmos estavam inteirados sobre o projeto e até contribuíram com alguns materiais necessários para a montagem dos experimentos. Os mesmos foram orientados sobre a aquisição dos materiais, como em equipamentos eletrônicos velhos ou fora do uso, contribuindo assim para desonerar o experimento e com a pesquisa de aquisição dos materiais auxiliando o professor.

Inicialmente foram trabalhados os temas relacionados às noções básicas de magnetismo. Já haviam sido trabalhados os temas de eletricidade pela ordem definida na maioria livros didáticos de Física do ensino médio, sejam em escolas públicas ou privadas. Foram dedicadas em torno de quatro aulas de 40 minutos para a exposição teórica do magnetismo.

Então no dia da aplicação do experimento foi apresentado aos alunos o orientador deste trabalho que participou supervisionando a realização dos três experimentos em um mesmo dia, utilizando 4 aulas regulares com duração de 50 minutos cada.

Uma cópia dos manuais de cada experimento, disponível no produto didático deste trabalho, foi entregue para cada um dos alunos.

Em um segundo momento, foram realizados os experimentos virtuais em sala de aula utilizando os simuladores que são citados na análise física dos experimentos sugeridos e que estão no material de apoio ao professor. Esta é uma forma de demonstrar os fenômenos físicos que serão trabalhados na prática, posteriormente, utilizando os experimentos construídos.

Tal demonstração pode ser feita em sala de aula através de um projetor de multimídia e acesso à internet, o que é viável uma vez que atualmente a maioria das escolas conta com estes recursos, conforme demonstrado anteriormente pela figura 6.

Na sequência, os alunos seguiram para o laboratório onde os equipamentos estavam dispostos sobre mesas. Formaram-se três equipes de trabalho e as mesmas começaram a seguir o manual de aplicação que haviam recebido.

Após realizar os experimentos, foram recolhidos os manuais preenchidos, para posterior análise dos resultados e concepções dos alunos.

Para que todas as equipes realizassem os três experimentos de forma detalhada conforme os manuais, o tempo aproximado foi de quatro aulas de 50 minutos, totalizando oito aulas entre teóricas e a

prática, englobando a parte mais significativa de eletromagnetismo no ensino médio, em cerca de um mês do ano letivo.

Também foi produzido por parte de alguns alunos da turma de aplicação desse produto didático, um vídeo que foi publicado no YouTube, explicando conceitos de magnetismo como a inseparabilidade de polos (Lei de Gauss para o magnetismo), demonstração das linhas de campo magnético e o fato delas serem fechadas (possuem um sentido e que o campo magnético é mais intenso nos polos) e também a explicação do ponto de Curie.

A diferença entre materiais magnéticos, comparando neodímio com ferrite também é demonstrada no vídeo. Tudo isso com os mesmos materiais utilizados nos experimentos e ferrofluido confeccionado pelos próprios alunos. O vídeo pode ser encontrado através do link: < <https://www.youtube.com/watch?v=3tgc8XG0l-g>>.

### **2.3.2 Resultados obtidos**

Feita a análise dos manuais dos experimentos preenchidos e entregues pelos alunos, descreve-se os resultados obtidos em cada um dos três experimentos.

#### **2.3.2.1 Resultados do experimento: “Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica”**

Quanto ao primeiro objetivo deste experimento, é a observação dos diferentes comportamentos magnéticos da matéria. Na realização do experimento com os alunos, foi constatado que grande parte não tinha conhecimento de que alguns metais pudessem ser repelidos por um ímã, apresentando concepções errôneas quanto a propriedade magnética, mesmo após a realização do experimento.

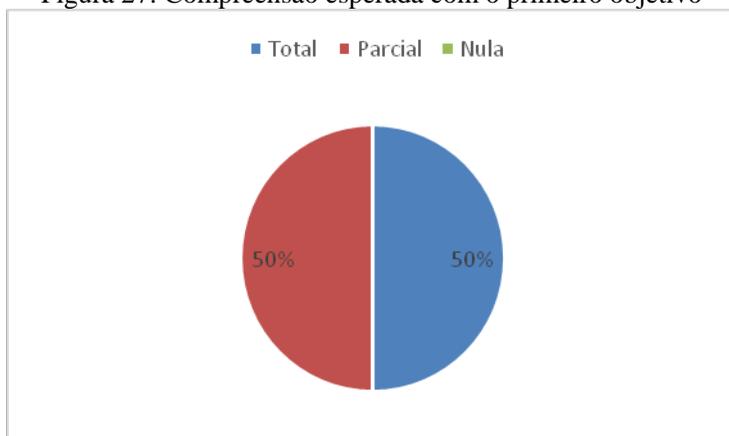
Na questão 3 do experimento “Com base no que foi observado no experimento, qual dos metais foi mais fácil de observar a ação do ímã? Através da teoria, explique o motivo.” O Aluno 1 respondeu da seguinte maneira: “Ferro, pois ele tem propriedades magnéticas”. Revela concepção errônea de propriedade magnética pois, segundo o mesmo, a propriedade magnética é relacionada apenas à atração, contrariando a teoria.

Entretanto, alguns alunos conseguiram reverter a concepção prévia de que ímãs apenas atraem os metais.

Na Questão 2 “O que aconteceria caso houvesse um disco de Cromo na seringa e fosse aproximado o ímã? E com Ouro? E Silício?” O Aluno 2 respondeu da seguinte forma: “Atrairia pouco e não atrairia” referindo-se a atrair pouco o cromo e não atrair o ouro e o silício, fazendo uma análise correta do sinal da susceptibilidade magnética dos materiais expressos na tabela do material que recebeu.

O gráfico da Figura 27 relaciona o percentual de alunos que atingiram o primeiro objetivo deste experimento.

Figura 27: Compreensão esperada com o primeiro objetivo



Fonte: O Autor.

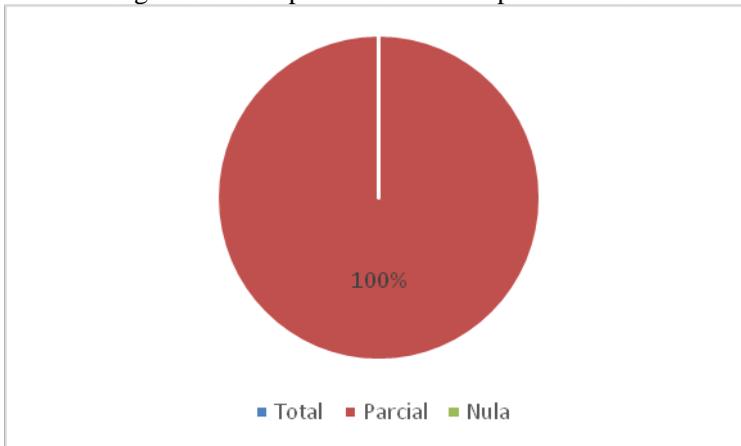
Quanto ao segundo objetivo, onde se verifica o entendimento sobre o princípio de Pascal e as prensas hidráulicas. O Aluno 3, referindo Questão 6: “Sabendo que a pressão foi a mesma, quando houve uma força resultante maior, com o êmbolo de cobre: solto ou preso?” respondeu da seguinte forma: “Com ele preso a pressão é maior” revelando uma concepção confusa de pressão e força.

Na segunda parte da questão 5: “No procedimento 4, houve diferença na distância em que o êmbolo com alumínio se moveu. Explique essa diferença utilizando o princípio de Pascal.” o Aluno 4 respondeu: “Ela muda por causa do princípio de Pascal (um líquido não pode ser comprimido)” evidenciando uma pequena confusão conceitual, mas um entendimento do que aconteceu no fenômeno, pois o volume do

líquido precisa permanecer constante e para isso, a distância do êmbolo precisa mudar.

O gráfico da Figura 28 relaciona o percentual de alunos que atingiram o segundo objetivo deste experimento.

Figura 28: Compreensão do Princípio de Pascal



Fonte: O Autor.

O princípio de Pascal foi compreendido apenas do ponto de que um fluido não pode ser comprimido, entretanto quanto a distribuição da pressão aplicada em um ponto por todo o fluido não foi bem compreendida. Os alunos perceberam que o deslocamento de uma prensa hidráulica é inversamente proporcional à área, mas confundiram conceitos de força e pressão. Isso ocorreu, mesmo com a explicação relatada no manual.

### 2.3.2.2 Resultados do experimento: “Indução Eletromagnética: Duas Metades de uma Ciência”

Quanto ao primeiro e ao segundo objetivos: verificar e entender as relações entre eletricidade e magnetismo e dar a base teórica para entender o funcionamento da indução eletromagnética. Os objetivos foram alcançados porque houve o entendimento por parte de alguns alunos, que compreenderam a relação entre variação de fluxo magnético

e corrente elétrica, evidenciando o entendimento da relação entre eletricidade e magnetismo e a indução eletromagnética, entretanto outra parte não compreendeu, conforme as respostas das questões.

Na Questão 1: “Com base no que você aprendeu, por que ocorre um aumento no tempo de queda do ímã ao ser solto pelo cano de cobre?” o Aluno 4 respondeu: “Por causa da força de repulsão, ele está caindo e ao mesmo tempo há uma força contrária”. Esta resposta revela um entendimento da razão para que o tempo de queda seja maior, que é uma força contrária, mas não o entendimento da causa desta força, que seria o enunciado da Lei de Lenz.

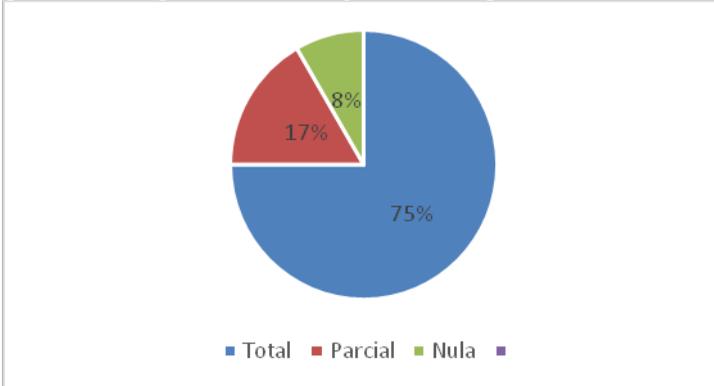
Ainda na mesma questão o Aluno 5 respondeu: “Pois ele irá formar uma corrente elétrica” apresentando um entendimento da relação entre magnetismo e eletricidade, evidenciada na Lei de Faraday, apesar de não citar a Lei de Lenz.

Na Questão 2: “Por que o fenômeno acima não ocorreu com o tubo de acrílico” o Aluno 6 respondeu “Pois não tem corrente elétrica no acrílico”. É possível aceitar que o Aluno pode ter entendido o processo, mas não soube se expressar em sua resposta de maneira clara. O Aluno refere-se apenas ao acrílico possuir ou não corrente e não como se esperava, referindo-se ao acrílico: ser condutor ou não, e por isso gerar ou não corrente elétrica.

Na Questão 3 “Sabendo que para ocorrer a indução é necessária uma espira de um material condutor, é correto afirmar que o tubo de cobre se comporta como uma grande espira, com voltas muito próximas umas das outras?”. O Aluno 1 compreendeu, conforme análise de sua resposta: “Sim, pois é como se fosse uma espira com várias voltas e compactas”. Evidenciando o entendimento da relação entre materiais condutores e a indução eletromagnética de Faraday.

O gráfico da Figura 29 relaciona o percentual de alunos que atingiram o primeiro objetivo deste experimento.

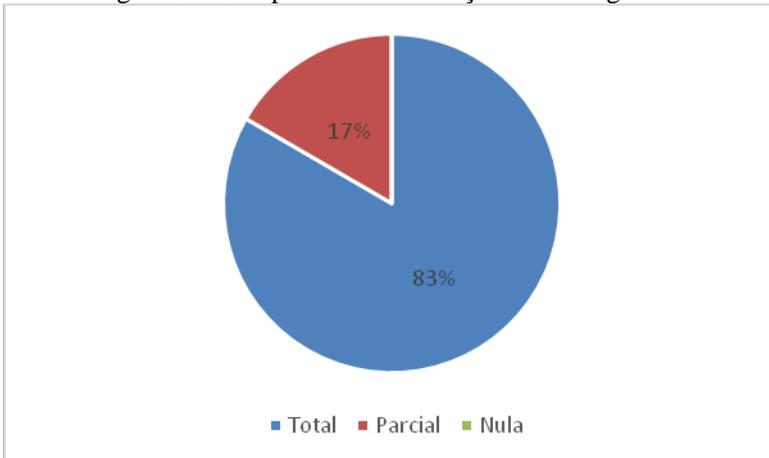
Figura 29: Compreensão da relação entre magnetismo e eletricidade



Fonte: O Autor.

O próximo gráfico relaciona o percentual de alunos que atingiram o segundo objetivo deste experimento.

Figura 30: Compreensão da Indução eletromagnética



Fonte: O Autor.

Uma importante ferramenta para a compreensão da indução e da Lei de Lenz foi a utilização de um instrumento de medida da corrente

elétrica, que evidenciou na prática a teoria e a simulação virtual. Os alunos compreenderam a ferramenta, conforme demonstrado nas respostas dos alunos.

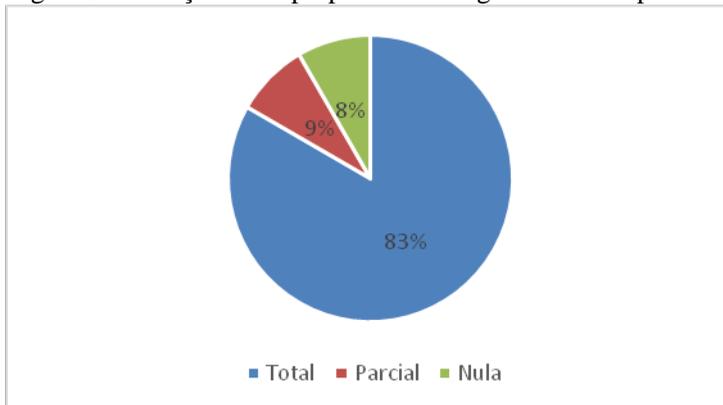
Quanto ao terceiro objetivo proposto: “Entender a relação entre as propriedades magnéticas e a temperatura”, é possível inferir que houve o entendimento correto da relação temperatura e propriedade magnética, através do ponto de Curie.

Na Questão 5: “No item 7 do experimento, a equipe teve de trabalhar com um ímã desmagnetizado. Como ocorre o processo de desmagnetização de um ímã?” o Aluno 7 respondeu apenas: “Ocorre por conta do ponto de Curie”, não aprofundando a sua explicação. O Aluno 2 respondeu da seguinte forma: “Ocorre por conta do ponto de Curie onde o material é aquecido até certa temperatura, e perde suas propriedades magnéticas”.

Percebe-se a compreensão de forma correta, entre a relação de temperatura e magnetismo, compreendendo o que foi descrito na análise física do experimento. Porém não aprofundando os diferentes comportamentos magnéticos, uma vez que o material não perde sua propriedade magnética, mas sofre uma alteração.

O gráfico da Figura 31 relaciona o percentual de alunos que atingiram o terceiro objetivo deste experimento.

Figura 31: Relação entre propriedades magnéticas e temperatura



Fonte: O Autor.

Os alunos compreenderam a relação entre temperatura e magnetização, que a temperatura está ligada ao nível de agitação dos

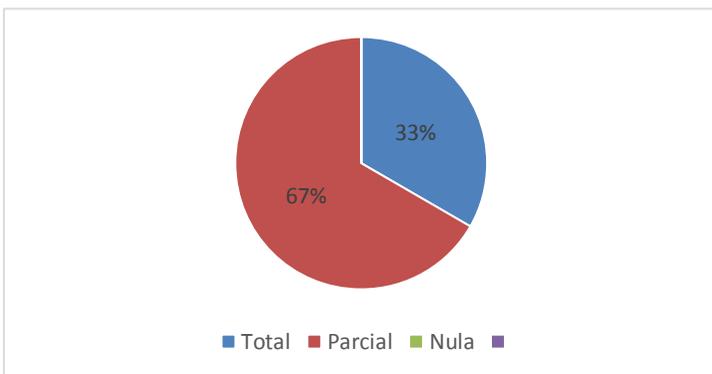
átomos e essa agitação interfere na ordenação nos momentos magnéticos dos elétrons.

Quanto ao quarto objetivo: “Verificar e provar a conservação de energia”. É possível inferir que os alunos obtiveram compreensões parciais, mas que se complementam.

Segundo o Aluno 9, na questão 4: “Sabendo que pelo princípio da conservação de energia, a energia em um sistema deve se manter constante, normalmente a energia potencial ao se deixar algo cair se torna energia cinética, ao soltar o ímã no tubo de cobre isso acontece? Se não, descreva o que acontece com a energia e se esse sistema segue o princípio da conservação”. Segundo a resposta do aluno, “Apenas uma parte da energia se transforma em energia cinética” o que está parcialmente correto uma vez que há o entendimento de que nem toda a energia se transforma em cinética, porém não explicita em qual forma ela se transforma. Segundo o Aluno 5 “Sim, por causa da corrente elétrica” aqui é possível observar que o Aluno entendeu que a energia potencial gravitacional não se converteu totalmente em energia cinética, visto que, induziu uma corrente elétrica no cano e essa corrente elétrica dissiparia a energia na forma de calor. O efeito Joule, conforme descrito na análise física do experimento, apesar de não estar explícito na resposta do Aluno.

Os resultados do quarto objetivo estão representados no gráfico abaixo.

Figura 32: Compreensão acerca da conservação da energia



Fonte: O Autor.

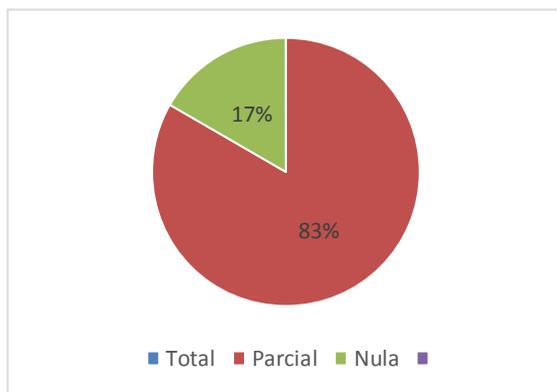
As compreensões parciais do grupo de alunos que apenas verificou que nem toda a energia potencial se transforma em cinética, não citando a transformação em energia elétrica, o que ocorreu para os alunos que obtiveram uma compreensão total. Estes resultados se mostram um pouco confuso por conta da falta de capacidade de clareza dos alunos nas respostas, mas verifica-se que de certa forma, quanto a este objetivo as respostas se completam.

Quanto ao quinto objetivo: “Entender o funcionamento do freio magnético”

Na Questão 1: “Com base no que você aprendeu, por que ocorre um aumento no tempo de queda do ímã ao ser solto pelo cano de cobre”, o Aluno 8 respondeu: “Por causa da força de repulsão, está caindo e ao mesmo tempo há uma força contrária” o que mostra, da mesma forma que a resposta do Aluno 4, já citado anteriormente respondeu, há a compreensão da existência de uma força, porém não a causa desta força, que é a Lei de Lenz.

O gráfico da Figura 33 relaciona o percentual de alunos que atingiram o quinto objetivo deste experimento.:

Figura 33: Compreensão do freio magnético e da Lei de Lenz



Fonte: O Autor.

A compreensão total da Lei de Lenz para explicar o freio magnético foi um problema na aplicação deste experimento, desta forma, na seção 2.2.3 apresenta-se uma sugestão para reforçar este conceito com os alunos esperando maximizar a compreensão deste objetivo.

### 2.3.2.3 Resultados do experimento: “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico”

Quanto ao primeiro objetivo: “verificar e entender a funcionalidade da levitação magnética”, a ideia de polos iguais foi compreendida pelos alunos, uma vez que perceberam através do procedimento 2 anterior a este experimento, que polos magnéticos de sinais iguais se repelem e polos de sinais contrários se atraem. Essa forma de repulsão pode ser aplicada já que é uma característica natural à levitação magnética aproveitando um fenômeno natural para o benefício da humanidade.

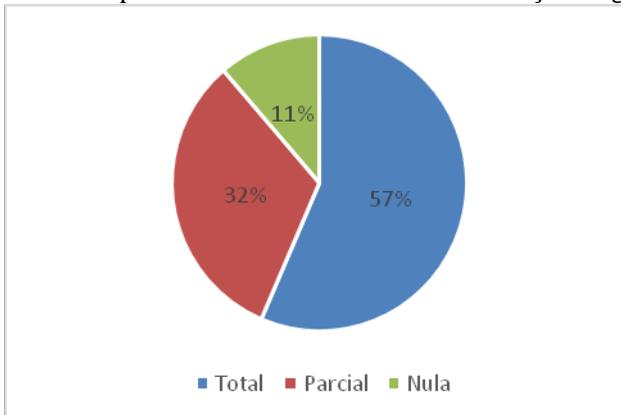
O Aluno 6 interpretou que existe uma força repulsiva entre a placa de grafite pirolítico e a cama de ímãs de neodímio, pois soube precisar a força de repulsão, porém, não informou a causa correta da existência dessa força. Este Aluno, também percebeu maior força de levitação magnética, no caso da cama de ímãs de neodímio.

O Aluno 1 identificou a existência de uma força repulsiva bem como uma situação semelhante ao efeito Meissner, já que segundo ele, o material, não era permeável às linhas de campo magnético, resultando numa força magnética repulsiva que mantinha a placa de grafite pirolítico levitando. Quanto a levitação magnética o mesmo afirmou que o modelo no qual são formadas as camas de ímãs de neodímio é mais estável do que onde as camas são formadas por ímãs circulares de ferrite, uma vez que o campo magnético é mais próximo de um valor uniforme na primeira situação, resultando uma maior independência nessa área.

Já o Aluno 8, percebeu a existência de uma força magnética repulsiva, porém não soube precisar porque ocorre a ação dessa força sobre a placa de grafite pirolítico. Quanto à questão 2, o mesmo inferiu de forma correta que o experimento não poderia ser reproduzido sem utilizar o suporte de madeira.

O gráfico representado na Figura 34 relaciona o percentual de alunos que atingiram o primeiro objetivo deste experimento.

Figura 34: Compreensão do funcionamento da levitação magnética



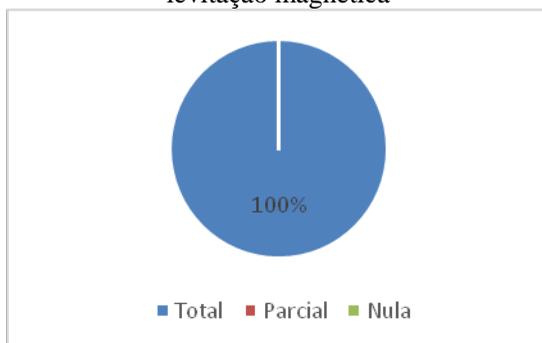
Fonte: O Autor.

Quanto ao segundo objetivo “Apresentar os diamagnéticos e seus usos em tecnologias de transporte.” Verificou-se a partir das respostas da questão 5 “Sabendo como funciona a levitação magnética dos trens, em que outros lugares você acha viável a implantação desta tecnologia? Explique.

Os alunos compreendem as aplicações tecnológicas desta propriedade física, mesmo sendo algo relativamente novo. Nas áreas como a medicina, informática ou a geração de energia nas usinas foi compreendida que esta aplicação estará presente no desenvolvimento da sociedade.

Na sequência o gráfico da Figura 35 relaciona o percentual de alunos que atingiram o segundo objetivo deste experimento.

Figura 35: Compreensões acerca das aplicações tecnológicas da levitação magnética



Fonte: O Autor

### 2.3.3 Discussão

Como relatado anteriormente, os alunos não foram responsáveis pela construção dos experimentos por se tratar de um projeto de aplicação, não sendo possível encarregá-los da função de fazer a primeira montagem, entretanto, é importante enfatizar a grande importância de envolver os alunos nesta construção, como fundamentado teoricamente nesta dissertação. O professor pode entregar os manuais para construção dos experimentos e solicitar que os alunos construam, como uma atividade para ser feita em casa. Os manuais de montagem e construção se encontram prontos para impressão no Apêndice A para o experimento “Comportamento Magnético da Matéria e a Prensa Hidráulica”, Apêndice B para o experimento “Indução eletromagnética: duas metades de uma ciência” e no Apêndice C para o experimento “Levitação magnética e o grafite pirolítico”.

Caso haja disponibilidade de tempo, a montagem pode ser feita em sala de aula, com a orientação do professor. É importante ressaltar que são compreensíveis as dificuldades quanto à de fato envolver os alunos na montagem, pela falta de tempo ou de interesse dos mesmos, assim é necessária uma análise de cada turma, identificando onde pode ser aplicado este projeto.

A respeito da realização dos experimentos neste produto pedagógico, bem como a realização dos projetos relativos ao mesmo, entende-se que para o projeto apresentar resultado significativo, é

necessário que o professor realize a análise dos dados providos pelos alunos através dos seus manuais, e após, discuta possíveis problemas de aprendizado em sala de aula.

Outro obstáculo à aplicação deste trabalho foi a falta de laboratório de ciências para a realização de medições.

Inicialmente predominou na aplicação do experimento a falta de entendimento suficiente por parte dos alunos, uma vez que vários deles, de idade próxima aos 18 anos, mostraram não estar previamente inteirados com o conteúdo, já que não sabiam até então, quais materiais podiam ser repelidos por um campo magnético, bem como a intensidade dessa força de interação.

O experimento que apresentou resultado mais significativo dentre os três aplicados neste projeto pedagógico, foi o experimento “Indução Eletromagnética: Duas Metades de uma Ciência” já que os alunos participantes da realização do mesmo perceberam anteriormente através da análise física e simulação virtual das leis de Faraday e Lenz a relação entre eletricidade e magnetismo resultando no conhecido eletromagnetismo, ou seja, um fator se relaciona ao outro e vice-versa.

O objetivo principal do produto pedagógico foi atingido de forma parcial uma vez que os alunos perceberam a interação entre corpos magnetizados e elétricos. Quanto às Leis de Faraday e de Lenz, verificou-se que a Lei de Faraday foi perfeitamente compreendida uma vez que através do experimento com a bobina e o multímetro, a corrente elétrica gerada pela variação de um fluxo magnético pôde ser medida e então compreendido o significado de corrente elétrica alternada, já que os alunos perceberam que ao aproximar e afastar o ímã, a marcação do multímetro indicava ora uma corrente elétrica positiva, ora negativa, relacionando de forma correta o sentido da movimentação dos elétrons na espira. É importante ressaltar que os alunos realmente entenderam que é necessário variar o campo magnético para gerar a corrente e não que apenas a presença de um campo vai gerar a mesma.

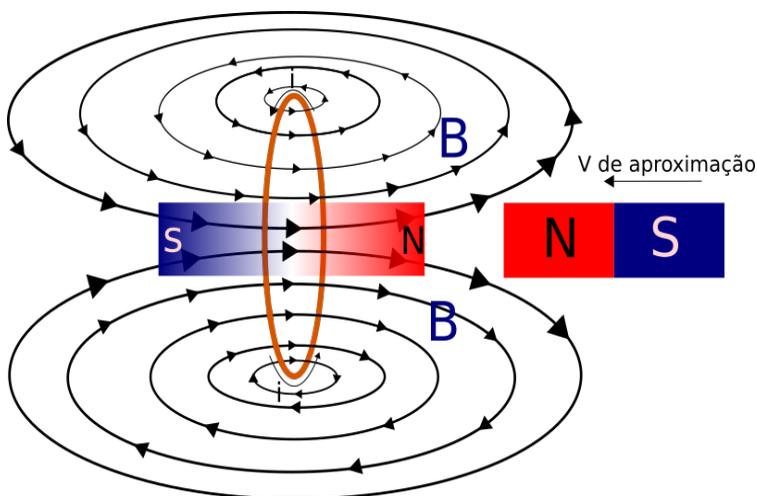
Entretanto, não foi alcançada em sua totalidade, a compreensão da Lei de Lenz. Isso porque os alunos entenderam a geração de corrente e de uma força contrária, mas não completamente a ideia de um campo magnético contrário, o que originou essa força contrária.

Para atingir maior compreensão dos alunos, sugere-se que o professor realize a simulação virtual, e que durante a simulação construa uma explicação própria para reforçar o conceito da Lei de Lenz. Os passos a seguir são uma sugestão não testada neste trabalho, mas que engloba os conceitos e podem trazer uma melhor aprendizagem por parte dos alunos.

O professor pode basear-se no fato de que alunos compreendem mais facilmente a geração de corrente elétrica na espira condutora por conta da variação de campo magnético do ímã e então indagá-los quanto ao sentido desta corrente, se os elétrons se movimentam em sentido horário ou anti-horário.

A simulação demonstrará que ao aproximar o polo norte de um ímã, os elétrons se movem no sentido anti-horário (o contrário acontece caso aproximar o polo sul do ímã). Então, é possível trazer a ideia da Lei de Biot-Savart que diz que uma corrente elétrica em um fio condutor produzirá um campo magnético ao redor do fio, aproximando a espira como um fio, e usar a regra da mão direita para verificar para onde apontam as linhas de campo magnético. A Figura 36 pode ser utilizada como exemplo para os alunos caso não fique claro através do experimento virtual.

Figura 36: Imagem de auxílio para explicar a Lei de Lenz



Fonte: O Autor.

Com a utilização dessa imagem, será possível demonstrar aos alunos que ao aproximar o polo norte de um ímã da espira, as linhas de campo induzidas na espira estarão saindo da mesma na ponta onde o ímã se aproxima e entrando na outra ponta, indicando que na ponta

próxima ao ímã existe um polo norte. E assim com um conceito mais simples sobre os estudos acerca do magnetismo, entender que polos iguais se repelem, relacionando a força contrária ao campo magnético induzido.

### 3 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos nos experimentos é notável e perceptível que muitos alunos na faixa etária não possuem o conhecimento do diamagnetismo, uma vez que não apresentaram respostas pertinentes à repulsão de materiais quando submetidos a um campo magnético. Outro fato que o professor deve estar atento é quanto ao experimento sobre a indução eletromagnética, no qual o mesmo deve trabalhar juntamente o princípio da conservação da energia mecânica, tema geralmente trabalhado na primeira série do ensino médio, portanto é possível que o aluno não tenha aprendido ou já esquecido o conteúdo. Isto é importante para relacionar a existência de outra forma de energia que não seja nem potencial gravitacional, nem cinética.

Quanto à levitação magnética dos materiais, foi importante que os alunos perceberem a relação entre temperatura e levitação ou que alguns materiais produzidos em laboratório, tais como o grafite pirolítico, apresentam a propriedade de levitar em temperatura ambiente.

Interessante também a percepção dos alunos sobre o campo magnético, com aplicações consideráveis e importantes em exames clínicos detalhados, bem como ao fazer a análise física dos experimentos que a levitação magnética e a supercondutividade farão parte de um futuro não muito distante, trazendo benefícios de ordem de consumo energético e de ordem ambiental.

O presente projeto torna-se viável com as adequações citadas acima, pelo fato de melhor aproveitamento do tempo de aula que é escasso, bem como pelo ponto de vista experimental que é muito mais atrativo aos alunos do que aulas teóricas. Mas o principal é a constatação da relação existente entre eletricidade e magnetismo, tema este que poderá ser visto em cursos de graduação, como os cursos de engenharia.

O professor deve estar atento quanto à percepção dos conteúdos anteriormente ensinados, importantes como base para o entendimento dos experimentos. Concepções essas trabalhadas na análise física dos mesmos, é que devem ser aplicados de forma coerente e pontual, seguindo os passos do manual e conforme descritos nos experimentos deste produto pedagógico, evidenciando o uso dos simuladores citados.

É necessário que o educador tenha atenção para as respostas obtidas nos experimentos, se não estejam coerentes, mas sejam

significativas, caso contrário, após análise e constatação de insucesso do experimento o professor deve trabalhar tais conteúdos, caso possível de uma maneira mais formal se houver tempo para isso.

Porém o presente projeto, se construído como apresentado nesta dissertação, busca a compreensão dos conteúdos físicos trabalhados por parte dos alunos, buscando a maximização dos resultados na aprendizagem e otimização do tempo para tal.

Conclui-se que a aplicação é importante já que poucas vezes durante as aulas de ensino da física, se faz a demonstração das propriedades magnéticas, e mais raro ainda a demonstração da lei da indução de Faraday e a Lei de Lenz. Busca-se proporcionar aos egressos do ensino médio uma compreensão sobre a forma de geração de energia elétrica em usinas e base para explicar o fenômeno, e para isso, se faz necessária a compreensão da relação entre variação de campo magnético e corrente elétrica. Busca-se ao final dos três experimentos o entendimento da existência e distinção entre as três propriedades magnéticas: diamagnetismo, ferromagnetismo e paramagnetismo, a influência da temperatura na magnetização dos corpos e principalmente a relação existente entre eletricidade e magnetismo e vice-versa.

Este projeto leva ao aluno (que futuramente pode cursar uma graduação na área de ciências naturais e exatas), uma base de conhecimento prévio, para que possa a partir dela, construir um conhecimento mais avançado nesta área.

Este conhecimento também o fará compreender o cotidiano, o comportamento magnético da matéria e fenômeno eletromagnético, baseando-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, citada por Moreira (1982) que diz:

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. [...] A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. (MOREIRA, 1982, p. 7)

Nesse sentido, conclui-se que apesar de não haver comprovação empírica na presente dissertação, acerca dos benefícios futuros para os alunos, a teoria da aprendizagem significativa, citada acima, pode servir como base teórica para sustentar que, tanto os alunos que seguirem um

curso na área de ciências exatas e naturais quanto os que seguirem áreas distintas, serão beneficiados. O fato de beneficiar outras áreas que não a de ciências naturais e exatas, se deve ao fato de que este é um tema com muitas aplicações no mundo atual, como citado ao longo deste trabalho, e conhecimento é sempre importante para qualquer cidadão. É importante um entendimento não apenas conceitual, mas também das implicações sociais das tecnologias decorrentes deste conteúdo, como por exemplo, na geração de energia elétrica em usinas e formas de aperfeiçoá-la, nas aplicações medicinais, no transporte público e também outras aplicações que futuramente possam surgir.

## REFERÊNCIAS

ARISTÓTELES, De Anima. Apresentação, tradução e notas de Maria Cecília Gomes Reis. São Paulo. Ed. 34, 2006.

BASTOS, REMO MOREIRA BRITO. O surpreendente êxito do sistema educacional finlandês em um cenário global de educação mercantilizada. Rev. Bras. Educ., Rio de Janeiro, v. 22, n. 70, p. 802-825, jul. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-24782017227040>>. Acesso em 29 dez.2017.

Brasil cai em ranking mundial de educação em ciências, leitura e matemática. 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/educacao/noticia/brasil-cai-em-ranking-mundial-de-educacao-em-ciencias-eitura-e-matematica.ghtml>>. Acesso em 10 jan. 2018.

BRASIL, Censo Escolar da Educação Básica 2016 – Notas Estatísticas. Brasília, DF, fev. 2017. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/censo\\_escolar/notas\\_estatisticas/2017/notas\\_estatisticas\\_censo\\_escolar\\_da\\_educacao\\_basica\\_2016.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/notas_estatisticas/2017/notas_estatisticas_censo_escolar_da_educacao_basica_2016.pdf)>. Acesso em: 29 dez. 2017.

BRASIL, Lei Nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. Conversão da Medida Provisória nº 746, de 2016., Brasília, DF, fev. 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113415.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113415.htm)>. Acesso em: 29 dez. 2017.

Como O Maglev Cobra Funciona? Disponível em: <<http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/veiculo.html> >. Acesso em: 15 set. 2017.

COSTA, Luciano G.; BARROS, Marcelo A.; O Ensino Da Física No Brasil: Problemas e Desafios. EDUCERE: XII Congresso Nacional de Educação – PUCPR, 2015.

COSTA, Marconi B.S.; PAVAO, Antonio C.; Supercondutividade: um século de desafios e superação. Rev. Bras. Ensino Fís. São Paulo, v. 34, n. 2, p. 2602-2615, jun. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172012000200017>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

DA COSTA, Josemberto Rosendo. Uma proposta para o ensino do eletromagnetismo sob uma perspectiva histórico experimental. Universidade Estadual da Paraíba. In: 15º Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia, Florianópolis, Nov. 2016.

DAMASCENO, Elexhane Guimarães. Metodologias e Ensino de Física. Universidade Federal de Rondônia – Departamento de Física. JI PARANA (RO): 2011.

DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livreria à descoberta da indução eletromagnética. Ciênc. educ. (Bauru), Bauru, v. 10, n. 3, p. 517-530, Dez.2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132004000300014>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

DIOGO, R.C.; GOBARA, S.T. Sociedade, educação e ensino de física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 17., 2007, São Luis. Anais. São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

DROZDEK, Adam. Greek Philosophers as Theologians: The Divine Arche. Ashgate Publishing Limited, Hampshire, England. 2007.

FARIA, R. N.; LIMA, L. F. C. P. Introdução ao Magnetismo dos Materiais: 1. ed. São Paulo: Editora Livreria da Física, 2005.

FREITAS, Edson da Costa. Práticas de Laboratório sobre Eletromagnetismo para o Ensino Médio. Universidade Estadual de Londrina, 2014.

GALVÃO, Rafael Henrique Lemes; Levitron / Levitação Magnética. 2011. 11f. Relatório Final – Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2011.

GEOMANCIA. Dicionário online Michaelis, 2018. Disponível em: < <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/geom%C3%A2ncia/>> Acesso em 09 jan. 2018.

GILBERT, W. On the loadstone and magnetic bodies. New York: Dover, 1958 [1600].

GRIFFITHS, David J. Introduction to Electrodynamics: 3 ed. Upper Saddle River: Editora: Prentice Hall, 1999.

GUARNIERI, M. (2014). "Once Upon a Time, the Compass". IEEE Industrial Electronics Magazine. 8 (2): pp. 60–63. doi:10.1109/MIE.2014.2316044.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. Vol. 3. 8.ed. Editora LTC, 2009, p.350.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física - Vol. 3. 9. ed. Editora LTC, 2012.

HONG, Sungook. Wireless: from Marconi's black-box to the audion. MIT Press, 2001.

KAPTISA, Pieter Leonidovich. Experimento, Teoria e Prática: artigos e conferências. Moscou Mir: 1985. p.501.

KRAMER, John B. (1933) The Early History of Magnetism, Transactions of the Newcomen Society, 14:1, 183-200, DOI: <10.1179/tns.1933.013>

KITTEL, Charles. Introduction To Solid State Physics: 7. ed. Editora WileyIndia, 2007.

LABURU, Carlos E., SILVA, Osmar H. M. da, BARROS, Marcelo A. Laboratório caseiro – para-raios: Um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 25, n. 1: p. 168-182, abril de 2008. Acesso em 19 dez. 2017.

LACHEISSERIE, Étienne Du Trémolet De; GIGNOUX, Damien; SCHLENKER, Michel;. Magnetism: Fundamentals. Nova York: Springer. 2003. p. 3.

LOOS, M. R.; Meneguzzi, A. P.; Schatzmann, S.; Ilustração: Sakai, K. A. "Capitão Renew e as incríveis energias renováveis".

UDESC-Joinville, 2014. Disponível em: <[http://loos.prof.ufsc.br/files/2014/12/Cartilha\\_renew-pronta.pdf](http://loos.prof.ufsc.br/files/2014/12/Cartilha_renew-pronta.pdf)> Acesso em 12 jan. 2018.

MARTIN, T. Faraday's diary: being the various philosophical notes of experimental investigation made by Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., 1820-1862. London: G. Bell and Sons, 1932-1936. 7 v.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. Revista Brasileira de Física Médica. 2009;3(1). Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/51/v3n1p117>> Acesso em: 06 jan. 2018.

MEDEIROS, Alexandre. As Origens Históricas do Eletroscópio. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v. 24, n. 3, p. 353-361, setembro de 2002. Acesso em: 06 de dezembro de 2017. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-47442002000300013>>.

MOREIRA, Marco Antônio. Grandes desafios para o ensino de física na educação contemporânea. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): 2013. In: XI Conferência Interamericana sobre Enseñanza de la Física, Guayaquil, Equador e Ciclo de Palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

MOREIRA, Marco Antônio. MASINI, Elcie F. S.. Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel. 1ª ed.. São Paulo. Editora Moraes. 1982.

NECKAM, A. De naturisrerum: libri duo, Ed. Her Majesty's Stationery Office, 1863.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de Física Básica 3: Eletromagnetismo, Editora Edgard Blücher, 1997.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO EDESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). "Pisa 2015: results in focus". Paris: OECD, 2015.

PEDUZZI, Luiz O. Q. "Evolução dos Conceitos da Física. Força e Movimento. De Thales a Galileu". Publicação interna do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.p. 156.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. *Scientle Studia*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 196, 2010.

PEDRISA, C.M. Características históricas do ensino de ciências. *Ciência & Ensino*, Campinas, 2001, p. 9 - 12.

RICARDO, Elio C., FREIRE, Janaína C.A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v.29, n.2. 2007. p. 251-266.

ROCHA, José Fernando Moura. O conceito de "campo" em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1604.1-1604.17, abr. 2009. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172009000100013>>.Acesso em:03 jan. 2018.

SAHLBERG, P. Finnish lessons: what can the world learn from educational change in Finland? Nova York: Teachers College, p.101, 2011.

SALDAÑA, Paulo. Quase 50% dos professores não têm formação na matéria que ensinam. *Folha de São Paulo*. São Paulo, 23 jan.2017. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/educacao/2017/01/1852259-quase-50-dos-professores-nao-tem-formacao-na-materia-que-ensinam.shtml>>Acesso em: 29 dez. 2017.

SANTOS, Emerson Izidoro dos, PIASSI, Luís Paulo de Carvalho, FERREIRA, Norberto Cardoso. Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física: uma experiência em formação continuada.Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP): 2004. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, Jaboticatubas (MG).

SERWAY, Raymond A. Princípios de Física, vol. III. Eletromagnetismo. 2006.

SCHMIDL, P. G. Two early Arabic sources on the magnetic compass. *J. Arabic Islam. Stud.* 1996–1997, pp. 81–132.

SCHROEDER, Carlos. A importância da física nas quatro primeiras séries do ensino fundamental. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 89-94, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172007000100015>. Acesso em 11 jan. 2018.

"The Nobel Prize in Physics 1909". [Nobelprize.org](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1909/index.html). Disponível em: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1909/index.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1909/index.html)> Acesso em: 5 jan 2018.

"The Nobel Prize in Physics 1913", [Nobelprize.org](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1913/). Disponível em: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1913/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1913/)> Acesso em: 06 jan. 2018.

The Pascal's Principle and Hydraulics. 1996. Disponível em: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/WindTunnel/Activities/Pascals\\_principle.html](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/WindTunnel/Activities/Pascals_principle.html)>. Acesso em: 17 set. 2017.

TYNDALL, J. Faraday as a discoverer. New York: Thomas Y. Crowell, 1961.

WILLIAMS, L. P. Michael Faraday: a biography. New York: Simon and Schuster, 1971.

WISLAND, Bel; FREITAS, Maria do C. D.; ISHIDA, Celso Y.; Desempenho acadêmico dos alunos em curso de engenharia e licenciatura na disciplina de Cálculo I. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Florianópolis, SC, Brasil, v. 6, n. 11, p. 94-112, 2014. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/3314>> Acesso em 12 jan. 2018.

## APÊNDICE A – Manual de montagem do experimento “Indução Eletromagnética, Duas Metades de uma Ciência”

### Materiais Necessários

- 2 Tubos de cobre de 1 m
- 1 Tubo de acrílico de 1 m
- Abraçadeiras de plástico
- Tábuas para suporte
- Furadeira
- Parafusos

### Passo a Passo

- 1- Utilizando a furadeira, na tábua, fazer 3 furos na parte superior e inferior de onde será colocado cada tubo.



- 2- Através do furo do meio, passar uma abraçadeira para cada furo lateral, repetir isso para todos os grupos de furos.



3- Passar uma abraçadeira entre as duas já presas, fazer isso em todos os grupos



4- Utilizar a abraçadeira para prender o tubo, após isso podem ser cortados os excessos de plástico. Repetir isso para todos os tubos.



5- Utilizando parafusos prender uma tabua menor de suporte na parte de baixo, caso achar necessário também pode ser colocada uma tabua extra para aumentar a estabilidade.



6- O resultado final deve ficar parecido com isso:



## APÊNDICE B – Manual de montagem do experimento “Comportamento magnético da matéria e a prensa hidráulica”

### Materiais Necessários

- Tábuas para suporte
- 3 Seringas de 10 ml
- Borracha de soro
- Discos metálicos (alumínio, cobre e ferro)
- Furadeira
- Parafusos
- Cola para metal e plástico

### Passo a Passo

- 1- Utilizando a furadeira, na tábua, fazer 3 furos onde serão posicionadas as seringas.



- 2- Adicionar uma base utilizando uma tabua menor, para aumentar o suporte e estabilidade.



3- Utilizando a cola, prenda cada disco metálico em uma das seringas.



4- Faça um furo em uma parte da borracha de soro, e cole a ponta de outra borracha para formar uma ligação em T.



5- Cole a ponta de uma seringa na ponta do tubo.



6- Posicione a seringa no suporte e prenda usando a cola, antes de posicionar a última seringa, lembre-se de encher a borracha e a seringa com água.



7- O projeto final deve ficar assim.



## APÊNDICE C – Manual de construção para o experimento “Levitação Magnética e o Grafite Pirolítico”

Materiais necessários:

- Cabo de vassoura velho cilíndrico;
- Pedaco de madeira triangular 10cm x 10cm x 10cm;
- Pregos;
- 2 ímãs de ferrite;
- Fita adesiva colorida ou *post-it*;
- Ímãs de neodímio;
- Grafite pirolítico (fornecido pelo professor).

Passo a passo:

1-Corte 15 cm da ponta do cabo de vassoura.



2-Recorte um pedaco de madeira para ser usado como base do suporte, conforme foto. Na aplicação foi utilizado uma base triangular e recomenda-se que seja um triângulo equilátero com 10 cm de lado. A base pode ser retangular, quadrada, desde que sirva de apoio para o cabo, de livre escolha.



3-Pregue o cabo na base de madeira. Certifique-se de que o cabo esteja perpendicular à base. O resultado deve ser o seguinte:



4-Encontre 2 ímãs de ferrite em forma de coroa circular com o diâmetro ligeiramente maior do que o diâmetro do cabo. Ímãs de ferrite podem ser encontrados em alto-falantes velhos,

comum em lojas de conserto de eletrônicos, de materiais reciclados ou ferros-velhos.



5- Após, identifique os polos norte e sul dos ímãs e com a fita colorida ou com os *post-it* sinalize os polos iguais colando os mesmos no ímã. Como mostra a imagem abaixo:



6- Coloque um ímã no suporte e aproxime o outro com o polo igual ao que está voltado para cima. O resultado esperado deve ser esse:



7-Os ímãs de neodímio devem ter uma forma preferencialmente cúbica para evitar espaço entre as partes na cama. No caso deste trabalho utilizou ímãs circulares. A cama montada com eles ficou desta forma:



8-O grafite pirolítico (fornecido pelo professor) será colocado em cima da cama de ímãs de neodímio. Segue uma foto do grafite pirolítico:

