



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**VITOR JÚLIO ZACARIAS DE SOUSA LIMA**

**PROPOSTAS DE ENSINO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DAS EQUAÇÕES DE  
MAXWELL NO ENSINO MÉDIO**

**FORTALEZA – CEARÁ**  
**2019**

VITOR JÚLIO ZACARIAS DE SOUSA LIMA

PROPOSTAS DE ENSINO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DAS EQUAÇÕES DE  
MAXWELL NO ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva

FORTALEZA – CEARÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L711p Lima, Vitor Júlio Zacarias de Sousa.  
PROPOSTAS DE ENSINO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DAS EQUAÇÕES DE  
MAXWELL NO ENSINO MÉDIO / Vitor Júlio Zacarias de Sousa Lima. – 2019.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva.

1. Ensino de Física. 2. Equações de Maxwell no Ensino Médio. 3. Experimentos de Baixo  
Custo. I. Título.

CDD 530

---

VITOR JÚLIO ZACARIAS DE SOUSA LIMA

PROPOSTAS DE ENSINO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DAS EQUAÇÕES DE  
MAXWELL NO ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 01/04/2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Wellington de Queiroz Neves  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela dádiva da vida.

A minha família por toda a dedicação, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter chegado até aqui.

Aos meus amigos pelos anos de companheirismo, apoio e torcida.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar para um melhor aprendizado, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva.

Aos funcionários que contribuíram para que eu alcançasse meus objetivos.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) por ter me concedido a oportunidade e todas as ferramentas que permitiram que eu chegasse hoje ao final deste ciclo de maneira satisfatória.

## RESUMO

O eletromagnetismo é uma das teorias mais bem-sucedidas da Física. Ela é fundamental para o avanço tecnológico e para a transformação da sociedade como é conhecida na atualidade. Devido aos estudos do eletromagnetismo, foi possível criar equipamentos essenciais para a vida contemporânea, como os motores elétricos, transformadores de tensão, forno micro-ondas, antenas de transmissão de dados e, cartões magnéticos. Por esse motivo, a presente monografia tem como objetivo trazer propostas para o ensino das equações de Maxwell no ensino médio, visto que elas constituem a base teórica do eletromagnetismo e possuem diversas aplicações no cotidiano dos alunos. A proposta teórica é feita através do fornecimento de um material para auxiliar os professores no ensino dessas equações. Além disso, este trabalho apresenta uma proposta experimental com experimentos simples e de baixo custo para a verificação das principais aplicações das equações de Maxwell como forma de estimular e incentivar os estudantes através da ligação da teoria estudada com a prática vivenciada por eles. Todos os experimentos propostos foram testados e comprovados o seu funcionamento, mostrando a eficácia do trabalho.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Equações de Maxwell no Ensino Médio. Experimentos de Baixo Custo.

## ABSTRACT

Electromagnetism is one of the most successful theories of physics. It is fundamental to technological advancement and to the transformation of society as it is known today. Due to the studies of electromagnetism, it was possible to create essential equipment for contemporary life, such as electric motors, voltage transformers, microwave ovens, data transmission antennas and magnetic cards. For this reason, the present monograph aims to bring proposals for the teaching of Maxwell's equations in high school, since they constitute the theoretical basis of electromagnetism and have several applications in students' daily lives. The theoretical proposal is made by providing a material to assist teachers in teaching these equations. In addition, the paper will present an experimental proposal with simple and low cost experiments to verify the main applications of the Maxwell equations as a way to stimulate and encourage students through the connection of the theory studied with the practice experienced by them. All the experiments proposed were tested and proved their functioning, showing the effectiveness of the work.

**Keywords:** Teaching Physics. Maxwell Equations in High School. Low Cost Experiments.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
2.1	A aprendizagem significativa de Ausubel.....	12
2.2	Mapas conceituais .....	13
2.3	A experimentação no ensino de Física .....	15
2.4	Os experimentos de baixo custo .....	17
2.5	Uma breve história do eletromagnetismo .....	18
2.6	As equações de Maxwell na forma integral e a Força de Lorentz.....	19
<b>3</b>	<b>AS EQUAÇÕES DE MAXWELL NO ENSINO MÉDIO .....</b>	<b>22</b>
3.1	Lei de Gauss .....	23
3.2	Lei de Gauss para o magnetismo .....	26
3.3	Lei de Ampère .....	29
3.4	Lei de Faraday .....	31
3.5	Aplicação em ondas eletromagnéticas .....	34
<b>4</b>	<b>PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS PARA APLICAÇÕES DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL.....</b>	<b>37</b>
4.1	Experimento 1 – A gaiola de Faraday .....	37
4.1.1	Materiais para realizar o experimento 1 .....	38
4.1.2	Procedimento do experimento 1 .....	38
4.1.3	Análise do experimento 1 .....	39
4.2	Experimento 2 – Ausência de cargas magnéticas .....	41
4.2.1	Materiais para realizar o experimento 2 .....	42
4.2.2	Procedimento do experimento 2.....	43
4.2.3	Análise do experimento 2.....	43
4.3	Experimento 3 – Experiência de Hans Oersted .....	46
4.3.1	Materiais para realizar o experimento 3 .....	46
4.3.2	Procedimento do experimento 3.....	47
4.3.3	Análise do experimento 3.....	48



<b>4.4</b>	<b>Experimento 4 – Geradores elétricos .....</b>	<b>50</b>
4.4.1	<b>Materiais para realizar o experimento 4 .....</b>	<b>50</b>
4.4.2	<b>Procedimento do experimento 4.....</b>	<b>51</b>
4.4.3	<b>Análise do experimento 4.....</b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b>Experimento 5 – A blindagem eletromagnética.....</b>	<b>53</b>
4.5.1	<b>Materiais para realizar o experimento 5 .....</b>	<b>54</b>
4.5.2	<b>Procedimento do experimento 5.....</b>	<b>54</b>
4.5.3	<b>Análise do experimento 5.....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na sociedade atual, os conhecimentos relacionados à área de ciências da natureza se tornam a cada dia mais importantes, tanto para uma maior compreensão sobre os equipamentos tecnológicos utilizados no cotidiano, quanto para uma melhor qualidade de vida, para uma participação social ativa e, até mesmo, para uma inserção mais bem qualificada do cidadão no mercado de trabalho, garantindo um melhor exercício de sua plena cidadania.

Entretanto, a educação, que é vista como principal ferramenta de mudança social, vem passando por muitas dificuldades, principalmente em relação a problemas financeiros. Em se tratando do ensino de Física, esse ainda é muito caracterizado pelo excesso de atenção dada às aulas expositivas, compostas por exercícios repetitivos, cuja abordagem privilegia o uso de fórmulas matemáticas, em detrimento da compreensão de aspectos relacionados as situações práticas dos fenômenos envolvidos. Configurando-se assim, um claro distanciamento entre os conteúdos ministrados e a realidade do dia a dia das pessoas. De acordo com a LDB de 1996, a educação básica e o ensino médio possuem as seguintes finalidades:

“Art. 22. A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores...”

Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I – A consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II – A preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III – O aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV – A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.” (LDB, 1996, p. 11 e 15).

É muito comum, principalmente no setor público de ensino, a predominância de alguns conteúdos de Física, enquanto outros são praticamente ignorados, sendo tal fato, justificado normalmente pela falta de tempo, de recursos ou de conhecimento por parte do aluno, de temas cujo estudo já aconteceu ou deveria ter acontecido. Além disso, os professores de Física normalmente partilham a ideia de

que a maioria dos seus alunos não têm um interesse natural alicerçado por esta disciplina, o que geralmente está associado a dificuldades no campo da Matemática ou a um simples descarte desta ciência em virtude da escolha de um segmento profissional, situação esta, onde os estudantes constroem ingenuamente a ideia de que, para tanto, tal saber é desnecessário para sua realidade.

Nesse contexto, o ensino de eletricidade e magnetismo, por exemplo, é trabalhado de forma desvinculada da realidade e muitas vezes há um exagero de aulas destinadas somente à eletrostática, sem avançar muito sobre informações a respeito das suas aplicações. Outro fator importante, é a barreira da abstração do conteúdo, pois, por exemplo, a corrente elétrica não pode ser observada, mas apenas seus efeitos. Então é de extrema importância encontrar maneiras de estimular o aprendizado e de mudar a visão dos nossos alunos sobre este assunto tão rico e presente no nosso cotidiano. Além disso, pouco se fala de magnetismo e muito menos de eletromagnetismo propriamente dito, esses que estão altamente relacionados com todas as aplicações tecnológicas do mundo moderno.

Diante dessa realidade, o presente trabalho tem por objetivo trazer propostas de ensino para as equações de Maxwell, visto que elas constituem a base teórica de todo o conteúdo de eletromagnetismo. Elas são essenciais para o entendimento do assunto, pois servem para originar diversas expressões muito utilizadas em cursos básicos de eletrostática e de magnetismo lecionadas no ensino médio e que, muitas vezes, são expostas sem nenhum tipo de demonstração. Dessa forma, esta pesquisa também irá tentar diminuir a problemática relacionada ao ensino de eletromagnetismo através de métodos que aproximem os conteúdos a realidade dos estudantes. Grande parte dos professores de Física acredita que um destes métodos é a experimentação. Ela é considerada um instrumento de ensino que faz a ligação entre teoria e prática, e além disso, estimula, e motiva o aluno. Os estudantes também apontam a experimentação como uma atividade prazerosa, atrativa e lúdica.

Essa monografia é dividida em três capítulos principais. No capítulo dois será apresentada a fundamentação teórica para o trabalho. Mostrando a importância, principalmente, da aprendizagem significativa na prática pedagógica e da experimentação no ensino de Física. Em seguida, no capítulo três, é fornecido para o professor um material para auxiliar no ensino das equações de Maxwell e suas aplicações. Pois por conta da complexidade do assunto, é necessária a simplificação das fórmulas para casos especiais, para que os professores consigam lecionar o

conteúdo no ensino médio. Ainda neste capítulo, ao final da explanação de cada uma das quatro equações de Maxwell, será mostrado um mapa conceitual de síntese para contribuir no aprendizado do conteúdo. Por fim, devido à ausência de laboratórios e de recursos materiais em muitas escolas, no quarto capítulo serão propostos experimentos simples e de baixo custo com todas as análises de cada um, para que os docentes possam utilizá-los em sala de aula para um processo de ensino-aprendizagem mais eficiente através da visualização de fenômenos práticos decorrentes das leis fundamentais do eletromagnetismo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A aprendizagem significativa de Ausubel

O conceito central da teoria de David Ausubel é o de aprendizagem significativa. Ela é definida como um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo de maneira não arbitrária e não literal, ou seja, a nova informação é assimilada através da interação com os conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aluno, a qual Ausubel define como conceitos subsunçores (AUSUBEL *et al.*, 1980).

Os subsunçores são de extrema importância para que ocorra a aprendizagem significativa, pois servem de ponte a novas ideias e conceitos. Quando o indivíduo se depara com um conteúdo novo, em uma área de conhecimento desconhecida para ele, inicialmente ocorrerá um processo de aprendizagem mecânica, no qual as novas informações pouco se associam com os conceitos existentes na estrutura cognitiva do indivíduo até a hora em que alguns elementos do conhecimento possam servir de subsunçores. A partir disso, inicia-se aí a aprendizagem significativa (MOREIRA; MASINI, 2011). À medida que a aprendizagem começa a ser significativa, os subsunçores vão tornando-se cada vez mais elaborados e o indivíduo consegue assimilar novas informações.

“Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma espécie de hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados por) a conceitos, ideias, proposições mais gerais e inclusivos. Esta organização decorre, em parte, da interação que caracteriza a aprendizagem significativa.” (MOREIRA, 2009, p. 9).

Durante o processo de aprendizagem significativa, os conceitos são elaborados e diferenciados em decorrência de sucessivas interações, desta forma o conteúdo elaborado pelo professor deve proporcionar a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (MOREIRA; MASINI, 2011). A diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes, e progressivamente diferenciadas. Simultâneo a ela, tem-se a reconciliação integrativa, procedimento adotado pelo modelo mental do indivíduo em ordenar, relacionar, perceber diferenças

e similaridades do novo conhecimento aprendido com o anteriormente adquirido. Os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa constituem a essência da aprendizagem significativa, pois transformam a estrutura cognitiva do aprendiz, aprimorando os conceitos mais gerais e mais inclusivos, facilitando a aprendizagem a retenção de novos conhecimentos.

“Um evento educativo é uma ação para trocar significados. Mas ele se refere, também, a uma troca de sentimentos, ou seja, um evento educativo é também acompanhado de uma experiência afetiva. Aliás, uma das condições para aprendizagem significativa segundo Ausubel e Novak, é que o aprendiz apresente uma predisposição para aprender (a outra é que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo). Essa predisposição está intimamente relacionada com a experiência afetiva que o aprendiz tem no evento educativo... Predisposição para aprender e aprendizagem significativa guardam entre si uma relação praticamente circular: a aprendizagem significativa requer predisposição para aprender e ao mesmo tempo gera esse tipo de experiência afetiva.” (MOREIRA, 1999, p.170,171).

David Ausubel considera três tipos principais de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e proposicional. A aprendizagem representacional atribui significados a símbolos arbitrários, geralmente palavras, que são reconhecidos com os seus concernentes (equações, conceitos) e refletem para os aprendizes o que seus concernentes significam. A aprendizagem representacional engloba as outras duas, pois a aprendizagem de conceitos também atribui significado a símbolos arbitrários, porém universais, criteriosais e regulares. Contrapondo-se à aprendizagem representacional, a aprendizagem proposicional extrapola o significado de símbolos ou conceitos isolados e confere significado a uma proposição como um todo.

“Um dos meios mais eficazes de promover a aprendizagem consiste em colocar o aluno em confronto experimental direto com problemas práticos de natureza social, ética e filosófica ou pessoal.” (MOREIRA, 1999, p.143).

## **2.2 Mapas conceituais**

Os mapas conceituais são definidos como ferramentas gráficas para organizar e representar o conhecimento. Englobam conceitos, normalmente fechados em círculos ou caixas, e as relações entre os conceitos indicados por uma linha de conexão entre dois conceitos. Podem haver palavras sobre a linha, denominadas palavras de ligação ou frases de ligação que especifica a relação entre os dois

conceitos. Conceito é definido como uma regularidade percebida em eventos ou objetos, ou registros de acontecimentos ou objetos, designados por um rótulo. A etiqueta para a maioria dos conceitos é uma palavra, entretanto às vezes é utilizado símbolos como + ou %, e às vezes mais de uma palavra é usada. Proposições são declarações sobre algum objeto ou evento no universo, seja natural ou construído. As proposições contêm dois ou mais conceitos ligados através de palavras ou frases que ligam para formar uma declaração significativa (MOREIRA, 2010).

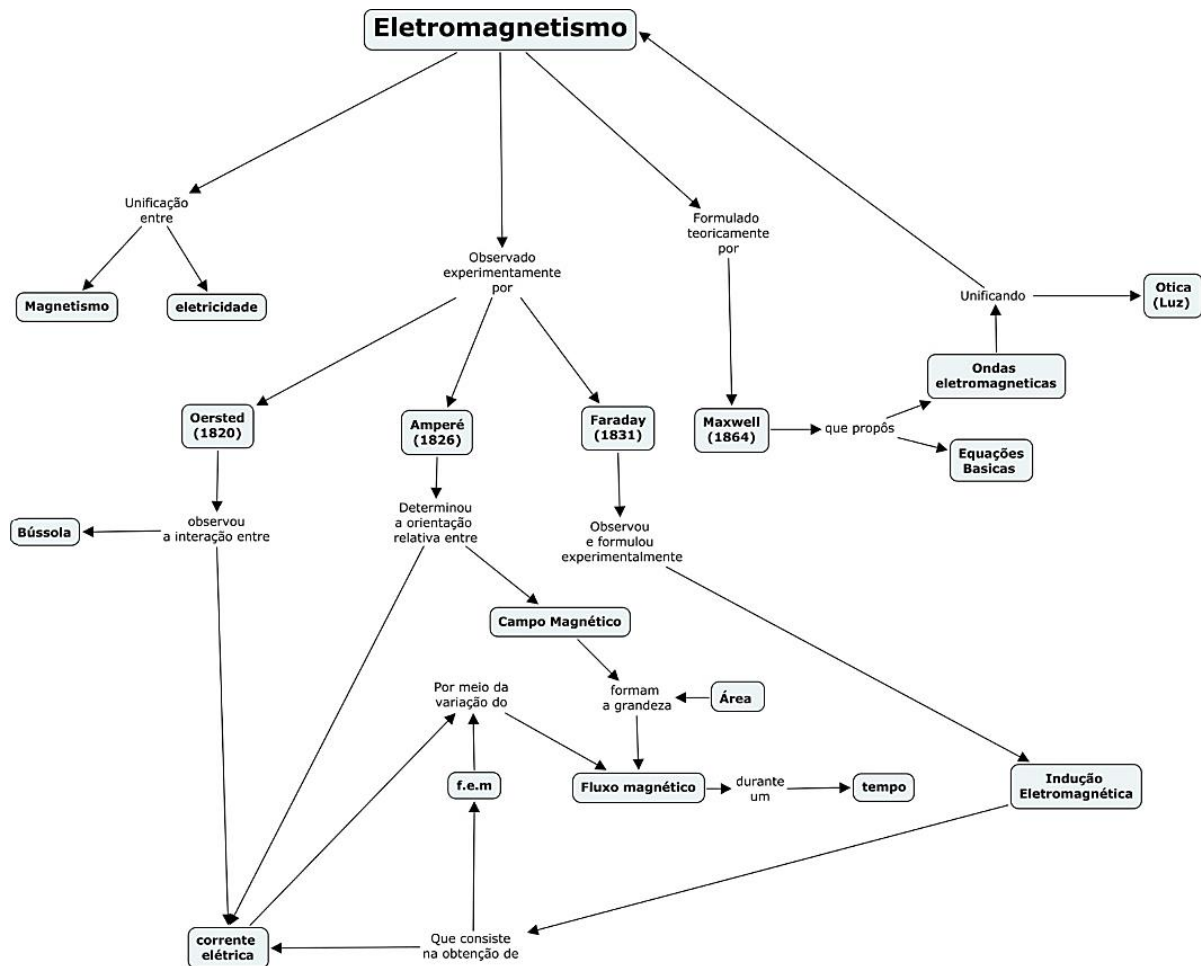
“Assim sendo, doravante deve-se entender por mapas conceituais, diagramas bidimensionais mostrando relações hierárquicas entre conceitos de uma disciplina e que derivam sua existência da própria estrutura da disciplina.” (MOREIRA; MASINI, 2011, p. 51).

Por volta de 1972, os mapas conceituais foram desenvolvidos no contexto do programa de Novak envolvendo uma pesquisa da Universidade de Cornell, onde ele buscou acompanhar e entender as mudanças no conhecimento das crianças sobre ciência. Este programa foi baseado na psicologia de aprendizagem de David Ausubel (NOVAK; GOWIN, 1984). A teoria dos mapas conceituais possui diversas aplicações para a educação, tais como: apresentar um conteúdo; estudar um conteúdo; fazer síntese de texto; organizar o conteúdo programático de uma disciplina; avaliar a aprendizagem.

Outra característica dos mapas conceituais é de que os conceitos são representados de forma hierárquica, com os conceitos mais gerais e abrangentes na parte superior do mapa e os conceitos menos gerais e mais específicos organizados na parte inferior do mapa. Mas este é apenas um modelo, mapas conceituais não precisam necessariamente ter este tipo de hierarquia. Por outro lado, sempre deve ficar claro no mapa quais os conceitos contextualmente mais importantes e quais os secundários ou específicos. Setas podem ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações conceituais, mas não obrigatoriamente. O mapa conceitual pode pertencer a alguma situação ou evento que estamos a tentar compreender, através da organização do conhecimento na forma de um mapa, proporcionando assim o contexto para o referido mapa conceitual (PEÑA *et al.*, 2005). Há duas características de mapas conceituais que são importantes na facilitação do pensamento criativo: a estrutura hierárquica que é

representada em um mapa bom e a capacidade para pesquisar e caracterizar novas ligações cruzadas. A Figura 01 fornece um exemplo de mapa conceitual.

Figura 01: Mapa conceitual sobre o eletromagnetismo.



Fonte: ARAÚJO, 2010.

### 2.3 A experimentação no ensino de Física

O ensino de Física tem sido realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e "fórmulas", de forma desarticulada, localizando-se à parte do mundo real que é vivenciado pelos estudantes e professores. Ao longo do tempo, privilegiou-se muito a teoria e a abstração, desde o início dos estudos, ao invés de proporcionar um desenvolvimento gradual da abstração utilizando-se de práticas e exemplos concretos.

Nesse contexto, a experimentação adquire um papel fundamental no processo do ensino de Física, pois ela permite o estabelecimento de uma ponte entre a teoria e



a prática, uma vez que determinados conceitos sobre certos fenômenos não são tão intuitivos no dia a dia dos estudantes, como, por exemplo, os fenômenos de indução eletromagnética. A utilização da experimentação é imprescindível no processo de ensino e aprendizagem de Física e tem sido apontada como estratégia eficiente para amenizar as dificuldades dos alunos (ARAÚJO; ABIB, 2003). Segundo as orientações educacionais propostas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+) para o ensino de Física:

“É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável.” (PCN+, 2001, p. 84).

A prática pedagógica por meio de atividades experimentais é uma forma de conceber educação que envolve o aluno, o professor, o ambiente de aprendizagem e os recursos disponíveis, inclusive o uso de tecnologias como mediação dos processos de ensino e aprendizagem, e todas as interações que se estabelecem no ambiente. Este ambiente é criado para promover a interação entre todos os seus elementos, proporcionar o desenvolvimento da autonomia do aluno e a construção de conhecimentos de distintas áreas do saber, por meio da busca de informações significativas para a compreensão, representação e resolução de uma situação-problema (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A interação que passa a existir entre professor e aluno, bem como a aquisição e troca de informações são capazes de estabelecer a eficaz concepção dos fenômenos naturais existentes no mundo, bem como os processos tecnológicos cada dia mais presentes em meio a sociedade em geral. Dessa forma, o papel do professor, como profissional habilitado, é de passar o maior número de conhecimentos possíveis de forma mais lúdica e interativa para conseguir fazer esse aluno se interessar por esse novo saber. Assim, é necessário utilizar meios que façam isso possível, como ocorre com a aplicação do método da experimentação. Por fim, é fundamental que o professor, enquanto transmissor desses conhecimentos e dessas práticas, tenha absoluto domínio acerca da matéria passando maior segurança aos alunos e de igual forma incentivá-los a buscar mais saberes por meio da experimentação.

## 2.4 Os experimentos de baixo custo

Os materiais alternativos e de baixo custo são aqueles que constituem um tipo de recurso que apresentam as seguintes características: são simples, baratos e de fácil aquisição, o que facilita o processo de ensino-aprendizagem, porque são utilizados, para a realização dos trabalhos experimentais, que são indispensáveis no ensino de Física. O interesse por experimentos de baixo custo no ensino de Física é beneficiar os objetivos didáticos, no que diz respeito à forma de como o aluno irá interagir com a teoria aprendida em sala de aula ao se deparar com a prática vivenciada no seu cotidiano (LABURÚ; SILVA; BARROS, 2008).

Diante da realidade das escolas, os experimentos de baixo custo apresentam muitas vantagens, por exemplo, podem dispensar o uso de laboratório em diversas propostas, além disso, as atividades podem ser realizadas em outros ambientes que não sejam o laboratório, tais como a sala de aula ou o pátio da escola. Tendo em conta que os materiais são de fácil aquisição, os equipamentos podem ser construídos em casa pelos próprios alunos, não havendo a necessidade de manutenção e de assistentes de laboratório para que os experimentos se realizem. Essa praticidade de manuseio é uma possível solução para à questão do tempo de preparação das atividades experimentais reclamada pelos professores, que são capazes de orientar seus alunos através de uma explicação básica para o que desejam. Muitos educadores que utilizam experimentos de baixo custo destacam a importância da construção dos materiais pelos alunos, para aprimorar habilidades manuais e ter zelo pelo material construído. Os experimentos de baixo custo são planejados para estar ao alcance de professores e alunos, pois praticamente não há dificuldade de se trabalhar com eles (LABURÚ; SILVA; BARROS, 2008).

A proposta de se lidar com materiais simples, portanto, não advém apenas do fator custo, mas da necessidade de que o aluno possa dominar todo o processo de conhecimento, através da construção, por seus próprios meios, dos aparatos que servirão de objeto de estudo. A familiaridade com os materiais utilizados aproxima o aluno do conhecimento científico, porque mostra que a ciência Física se aplica ao mundo real, que está a sua volta. Mais do que isso, permite a ele testar hipóteses de forma criativa, a partir das propriedades conhecidas ou supostas dos materiais e dos testes realizados com eles.

## 2.5 Uma breve história do eletromagnetismo

A eletricidade e o magnetismo são conhecidos desde a antiguidade como fenômenos distintos. As primeiras investigações sobre o assunto são atribuídas Tales de Mileto. Como descobriu Tales, o âmbar (elektron em grego), resina fossilizada de árvores coníferas, ao ser friccionado adquire a propriedade de atrair objetos muito leves como, por exemplo, penas e plumas. Seus relatos incluem também descrição de propriedades notáveis de magnetita, um óxido de ferro que ocorria como minério na província vizinha de Magnésia. Pedços de magnetita se atraem ou se repelem, dependendo de como se orientam, e têm também a propriedades de sempre atrair o ferro. Os termos eletricidade e magnetismo derivam de elektron e magnetita respectivamente. O magnetismo era também conhecido por chineses e a bússola foi por eles inventada, aproximadamente no século 3 a.C., também baseada na magnetita (ARAGÃO, 2006).

Séculos depois, foi com Benjamim Franklin (1706 – 1790) a introdução da noção de eletricidade positiva e negativa. Ele descobriu o “poder das pontas” de atrair e de deixar escoar a eletricidade e inventou o para-raios. Logo após, com a invenção da pilha voltaica em 1800 por Alessandro Volta (1745 – 1827), atingiu-se o controle mínimo da eletricidade e de suas correntes para que importantes experiências fossem realizadas. Uma das experiências historicamente mais importantes ocorreu por acaso em uma aula de demonstrações de Hans Christian Oersted (1777 – 1851), em 1819. Ao passar corrente elétrica em um fio metálico, percebeu que a agulha de uma bússola próxima se orientava perpendicularmente ao fio (PIRES, 2008). Essa experiência estabeleceu um elo de ligação entre a eletricidade e o magnetismo.

No ano de 1820, André-Marie Ampère (1775 – 1836) demonstrou que dois fios paralelos conduzindo corrente se atraem ou se repelem, dependendo, respectivamente, de se as correntes têm o mesmo sentido ou sentidos opostos. Dessa forma, diversas experiências de Ampère sugeriram que os fenômenos magnéticos são em geral resultantes de correntes elétricas e que os ímãs, tais como a magnetita apresentam correntes circulantes em seu interior (PIRES, 2008).

Em meados do século XIX já se havia conseguido uma sistematização dos fenômenos elétricos e magnéticos em uma ciência unificada, o eletromagnetismo. Nesta ciência, todos os fenômenos são decorrentes de uma única entidade, a carga elétrica. Cargas em repouso interagem por meio da força elétrica. Quando elas se

movem umas em relação às outras, aparece outra forma de interação, a força magnética. Tal resenha se concretizou graças ao trabalho experimental e as inovações conceituais de Michael Faraday (1791 – 1867) e à percepção da simetria global dos fenômenos por James Clerk Maxwell (1831 – 1879). Em torno de 1865, Maxwell sintetizou todas as leis do eletromagnetismo em quatro equações fundamentais, as chamadas equações de Maxwell (ARAGÃO, 2006). Em seu trabalho síntese, previu também que a luz é um fenômeno eletromagnético, o que acabou sendo comprovado experimentalmente em 1888 por Heinrich Hertz (1857-1894).

O eletromagnetismo é fundamental para o avanço tecnológico e a transformação da sociedade como é conhecida nos dias atuais. Devidos aos estudos do eletromagnetismo, foi possível criar equipamentos essenciais para a vida contemporânea, como os motores elétricos, transformadores de tensão, forno micro-ondas, antenas de transmissão de dados e os cartões magnéticos. Os telefones móveis funcionam através das ondas eletromagnéticas, eles são necessários para as comunicações sem fio. A importância desta teoria da Física pode ser vista todos os dias, nos mais variados equipamentos elétricos e eletrônicos, que não existiriam sem estes conhecimentos.

## **2.6 As equações de Maxwell na forma integral e a Força de Lorentz**

A base teórica do eletromagnetismo é o conjunto das quatro equações de Maxwell que, complementadas pelas leis constitutivas, descrevem como os campos elétrico e magnético se relacionam e como variam em função do tempo e da posição no espaço. Essas relações juntamente com a equação da Força de Lorentz, descrevem todos os fenômenos eletromagnéticos conhecidos [GRIFFITHS, 2011].

As equações de Maxwell, quando são apresentadas na forma integral, dão uma visão macroscópica dos fenômenos eletromagnéticos e servem para originar diversas expressões comumente utilizadas em cursos básicos de eletrostática e de magnetismo difundidas no ensino médio e que, muitas vezes, são citadas sem nenhum tipo de demonstração ou referência teórica, principalmente as que permitem calcular campos magnéticos. As quatro equações de Maxwell são as seguintes:

$$\Phi_E^S \equiv \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_s}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

$$\Phi_B^S \equiv \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2.2)$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_c + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E^C}{dt} \quad (2.3)$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B^C}{dt} \quad (2.4)$$

Onde:

$\vec{E}$  é o campo elétrico;

$\vec{B}$  é o campo magnético;

S é uma superfície fechada;

$d\vec{s}$  é um vetor perpendicular a S (vetor normal);

C é uma curva fechada;

$d\vec{l}$  é um vetor paralelo (tangencial) a C;

$\Phi_E^S$  é o fluxo elétrico que atravessa S;

$\Phi_B^S$  é o fluxo magnético que atravessa S;

$Q_s$  é a carga elétrica dentro de S;

$I_c$  é a corrente elétrica que atravessa C;

$\Phi_E^C$  é o fluxo elétrico na superfície aberta apoiada em C;

$\Phi_B^C$  é o fluxo magnético na superfície aberta apoiada em C;

$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2$  é a permissividade elétrica no vácuo;

$\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ T.m} / \text{A}$  é a permeabilidade magnética no vácuo.

Estas quatro equações expressam como cargas elétricas produzem campos elétricos (2.1 - Lei de Gauss); a ausência experimental de monopolos magnéticos (2.2 - Lei de Gauss para o magnetismo); como correntes elétricas e variações no campo elétrico produzem campos magnéticos (2.3 - Lei de Ampère-Maxwell) e como variações de campo magnético produzem campos elétricos (2.4 - Lei de Faraday). E por fim, a única lei que deve ser adicionada a essas é a expressão da Força de Lorentz, que define o significado dos campos elétricos e magnéticos através da força sobre uma carga puntiforme ( $q$ ) que se move no espaço com velocidade vetorial  $\vec{v}$ . Essa força é definida por:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.5)$$

### 3 AS EQUAÇÕES DE MAXWELL NO ENSINO MÉDIO

O conteúdo de Física no ensino médio é dividido em várias áreas como a mecânica clássica, a termologia, a ótica e o eletromagnetismo. Esse último é dividido de forma didática em eletricidade e magnetismo. A eletricidade é a área da Física responsável pelo estudo de fenômenos associados às cargas elétricas, enquanto o magnetismo é um ramo que estuda os fenômenos e propriedades relacionadas aos ímãs. Por fim, o eletromagnetismo é a parte que estuda as relações entre a eletricidade e o magnetismo.

As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) definem o tema como: “Equipamentos elétricos e telecomunicações”. E estabelecem que,

“O estudo da eletricidade deverá centrar-se em conceitos e modelos da eletrodinâmica e do eletromagnetismo, possibilitando, por exemplo, compreender por que aparelhos que servem para aquecer consomem mais energia do que aqueles utilizados para comunicação, dimensionar e executar pequenos projetos residenciais, ou, ainda, distinguir um gerador de um motor. Será também indispensável compreender de onde vem a energia elétrica que utilizamos e como ela se propaga no espaço. Nessa perspectiva em que se procura conhecer a fenomenologia da eletricidade em situações reais, o estudo da eletrostática ganhará sentido quando em referência a situações concretas como, por exemplo, para explicar o papel dos condensadores, a função dos para-raios ou os perigos de choques elétricos. Esse estudo deverá propiciar, ainda, a possibilidade de identificar e acompanhar o papel dos motores elétricos e dos desenvolvimentos tecnológicos associados à sua introdução no mundo produtivo, assim como das transformações produzidas pelos modernos meios de telecomunicações”. (PCN+, 2011, p. 76).

As equações de Maxwell são as bases de todo o conteúdo do eletromagnetismo. Porém, devido à complexidade das fórmulas, que necessitam do conhecimento do cálculo diferencial e integral, elas não são apresentadas no ensino médio. Diante disso, esse capítulo vem como uma possível solução para o ensino dessas equações no ensino médio. Baseada em diversas referências, será feita a simplificação das fórmulas para casos especiais que podem ser estudados no ensino médio mesmo sem o conhecimento de derivadas e integrais. É fornecido adiante um material de auxílio para os professores com o intuito de capacitá-los para o ensino dessa disciplina e de suas principais aplicações em sala de aula. Seguindo a teoria de David Ausubel, o conteúdo seguinte deve ser apresentado aos alunos após o

estudo de todos os conceitos básicos de cada parte estudada do eletromagnetismo para que os estudantes tenham os subsunçores necessários para o entendimento dessas novas ideias. Para a síntese de cada lei, foi criado um mapa conceitual como forma de contribuir para o aprendizado.

### 3.1 Lei de Gauss

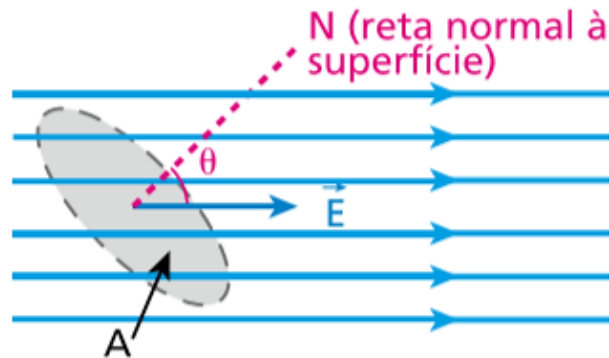
Johann Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855), é considerado um dos maiores matemáticos da história. Sua precocidade é lendária. Aos 3 anos, Gauss apontou um erro em cálculos aritméticos realizados pelo pai. Com 10 anos, seu professor de Matemática mandou que os alunos computassem a soma dos números inteiros de 1 a 100. Gauss instantaneamente reconheceu que esse conjunto de números pode ser agrupado em 50 pares cuja soma é 101 e respondeu que a soma dava 5050. Aos 19 anos, descobriu como construir um polígono regular de 17 lados com régua e compasso, a mais elaborada construção desde os gregos, isso era um desafio para os matemáticos da época. Tempos mais tarde, começou a se interessar pela Matemática Aplicada, pela Astronomia e pela Física (PIRES, 2008). Em 1833, construiu o primeiro telégrafo elétrico, que é um sistema concebido para transmitir mensagens de um ponto para outro em grandes distâncias, utilizando códigos para a rápida e confiável transmissão. As mensagens eram transmitidas através de um sistema composto por fios.

Inicialmente, antes de definir a primeira equação fundamental do eletromagnetismo (Lei de Gauss), é importante estabelecer a definição de fluxo do vetor campo elétrico, ou simplesmente fluxo elétrico, em um caso muito particular. Considerando um campo elétrico uniforme e uma superfície plana e imaginária de área  $A$  (disco), interceptada pelas linhas desse campo (Figura 02). O fluxo do vetor  $\vec{E}$  através da superfície de área  $A$  é a grandeza escalar  $\Phi_E$  definida por:

$$\Phi_E = EA \cos \theta \quad (3.1)$$



Figura 02: Fluxo elétrico uniforme em uma superfície imaginária de área  $A$  (na forma de um disco).

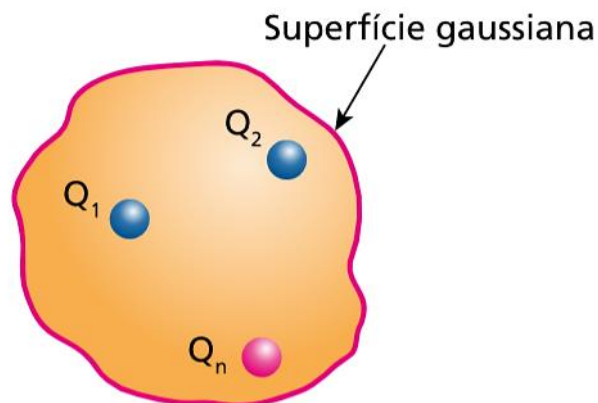


Fonte: HELOU *et al.*, 2007.

O fluxo elétrico descreve a intensidade da atuação do campo elétrico através de uma superfície arbitrária. Ele é definido como positivo caso o vetor  $\vec{E}$  esteja saindo da superfície, e negativo caso o vetor  $\vec{E}$  esteja entrando na superfície. A partir disso, a Lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico com as cargas elétricas. Ela estabelece que em uma superfície imaginária fechada (uma superfície que contém volume – Figura 03) o fluxo total através dela é igual à carga total interna à superfície ( $Q_{\text{interna}} = \sum Q_n$ ) dividida pela permissividade elétrica do meio (por exemplo o vácuo):

$$\Phi_E^G = \frac{Q_{\text{interna}}}{\epsilon_0} \quad (3.2)$$

Figura 03: Representação da superfície gaussiana com as cargas internas. As cargas externas não contribuem para o fluxo total.

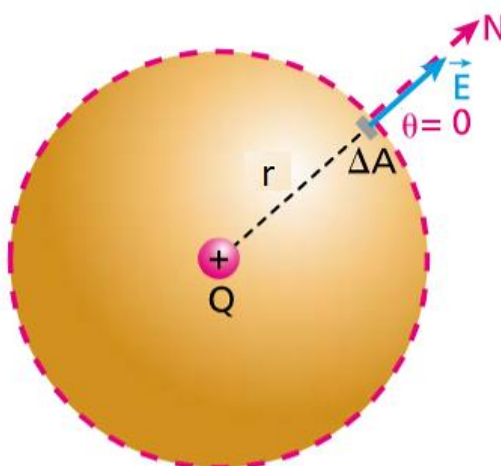


Fonte: HELOU *et al.*, 2007.

A Lei de Gauss permite resolver de forma muito simples o cálculo do campo elétrico de distribuições estáticas de cargas com alta simetria. Um exemplo de aplicação prática da equação é a demonstração do módulo do vetor campo elétrico gerado por uma partícula carregada. Nesse caso, colocando a carga elétrica (por exemplo, positiva) dentro de uma superfície gaussiana esférica (Figura 04) de área  $4\pi r^2$ , onde  $r$  é o raio da esfera e lembrando que  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ . Chega-se a expressão do módulo do campo elétrico para uma partícula carregada positivamente que já deve ser conhecida pelos alunos:

$$E_{partícula(+)} = \frac{KQ}{r^2} \quad (3.3)$$

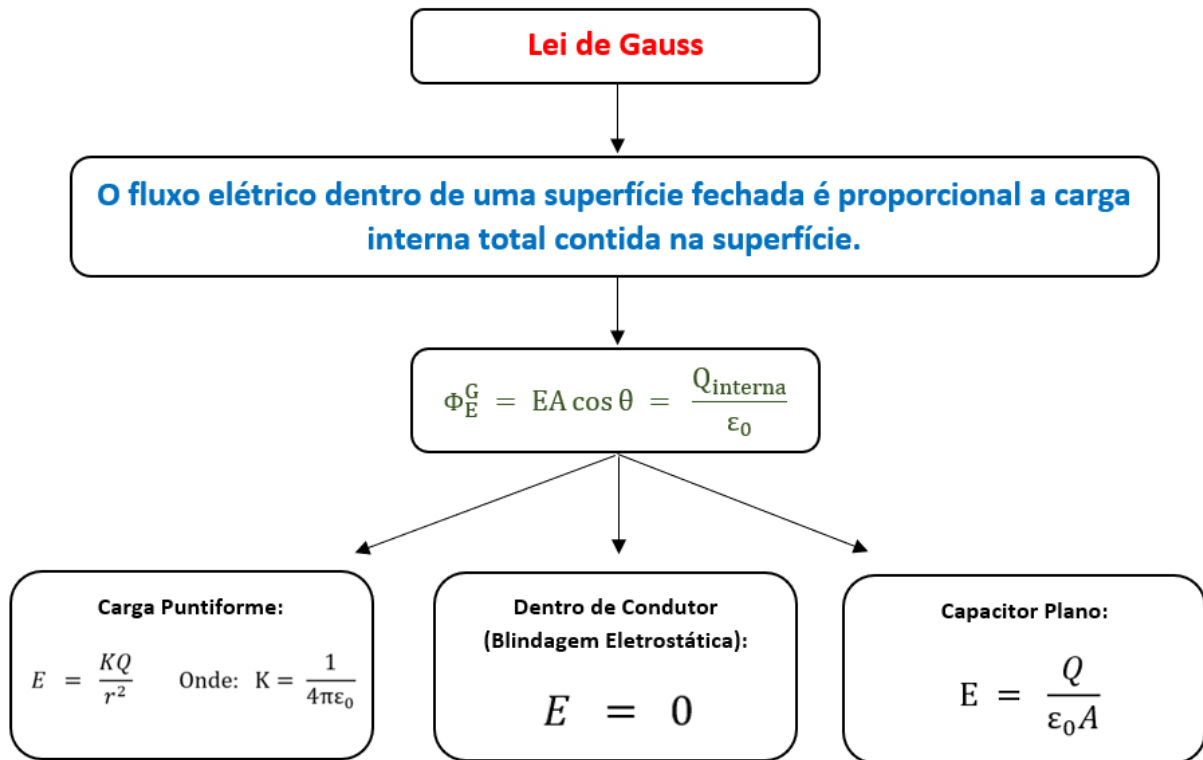
Figura 04: Superfície gaussiana para uma partícula carregada positivamente. O vetor campo elétrico é perpendicular à superfície.



Fonte: Adaptado de HELOU *et al.*, 2007.

Outra aplicação fundamental da Lei de Gauss é a blindagem eletrostática, conhecida como gaiola de Faraday. Em um condutor qualquer em equilíbrio eletrostático, as cargas elétricas estão distribuídas sobre a superfície do condutor. Dessa forma, o fluxo interno total é zero devido à ausência de cargas internas e, conseqüentemente, o campo elétrico interno também será zero. Formando assim, uma blindagem que protege seu interior dos efeitos, por exemplo, de uma corrente elétrica. Esse fenômeno será visualizado no experimento 1 do capítulo 4 utilizando duas bolhas de sabão.

Figura 05: Mapa conceitual sobre a Lei de Gauss.



Fonte: Elaborado pelo autor.

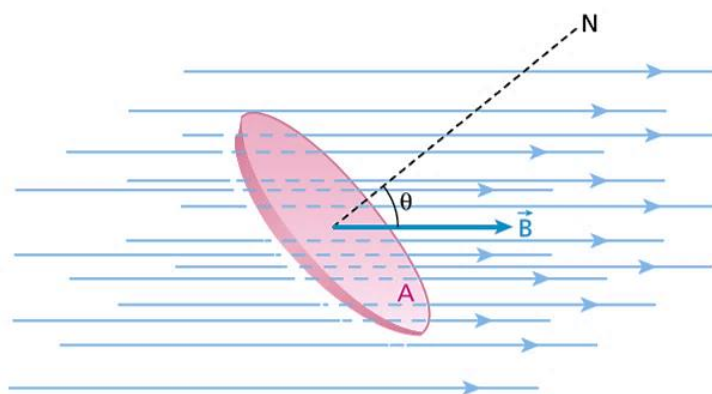
### 3.2 Lei de Gauss para o magnetismo

William Gilbert (1544-1603) foi um físico e médico inglês. Tornou-se importante por seus trabalhos sobre magnetismo e eletricidade. Em 1600, publicou o seu livro “De Magnete”, fruto do resultado de vinte anos de investigações, com as suas conclusões. Ele foi o primeiro a chamar de polos as extremidades de uma agulha que ficam dirigidas para o norte e para o sul da Terra. A sua grande contribuição foi a descoberta de que a própria Terra, era um enorme ímã através de experiências com esferas de magnetita, que constituíam miniaturas do planeta. Definiu como magnéticos os corpos que, como os ímãs, se atraem, e descobriu as afinidades e diferenças entre corpos elétricos e corpos magnéticos. Mostrou que qualquer material pode tornar-se elétrico, ao passo que só os compostos de ferro são capazes de magnetização. Gilbert tem o mérito da distinção entre o magnetismo e a eletricidade (ARAGÃO, 2006).

Inicialmente, antes de definir a segunda equação fundamental do eletromagnetismo (Lei de Gauss para o magnetismo), é importante estabelecer a definição de fluxo do vetor campo magnético ou simplesmente fluxo magnético, em um caso muito particular. De forma análoga ao campo elétrico, considerando um campo magnético uniforme e uma superfície plana e imaginária de área  $A$ , interceptada pelas linhas desse campo (Figura 06). O fluxo do vetor  $\vec{B}$  através da superfície de área  $A$  é a grandeza escalar  $\Phi_B$  definida por:

$$\Phi_B = BA \cos \theta \quad (3.4)$$

Figura 06: Fluxo magnético em uma superfície imaginária de área  $A$ .



Fonte: HELOU *et al.*, 2007

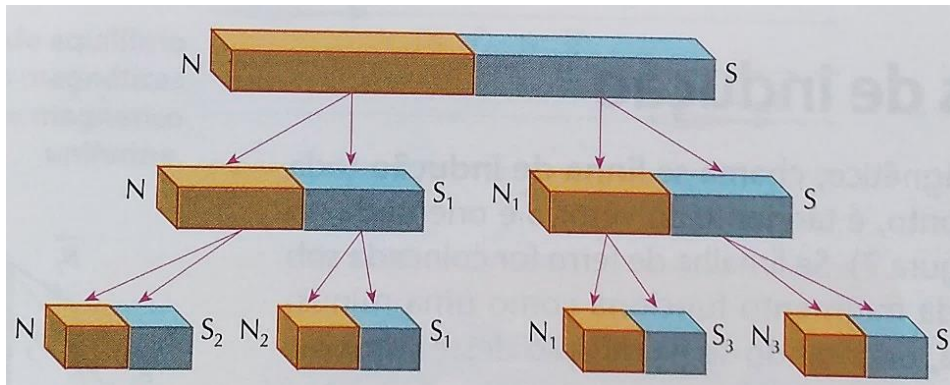
O fluxo magnético descreve a intensidade da atuação do campo magnético através de uma superfície arbitrária. Ele é definido como positivo caso o vetor  $\vec{B}$  esteja saindo da superfície, e negativo caso o vetor  $\vec{B}$  esteja entrando na superfície. A partir disso, a Lei de Gauss para o magnetismo estabelece que em uma superfície imaginária fechada o fluxo total através dela sempre será igual a zero, independente de quantos ímãs tenham fora ou dentro da superfície. A equação fica da seguinte forma:

$$\Phi_B^G = 0 \quad (3.5)$$

A aplicação fundamental dessa lei, muito conhecida pelos alunos, é que através dela é possível afirmar que não existem monopolos magnéticos (cargas magnéticas), ou seja, não há como separar o polo Norte e o polo Sul de um ímã

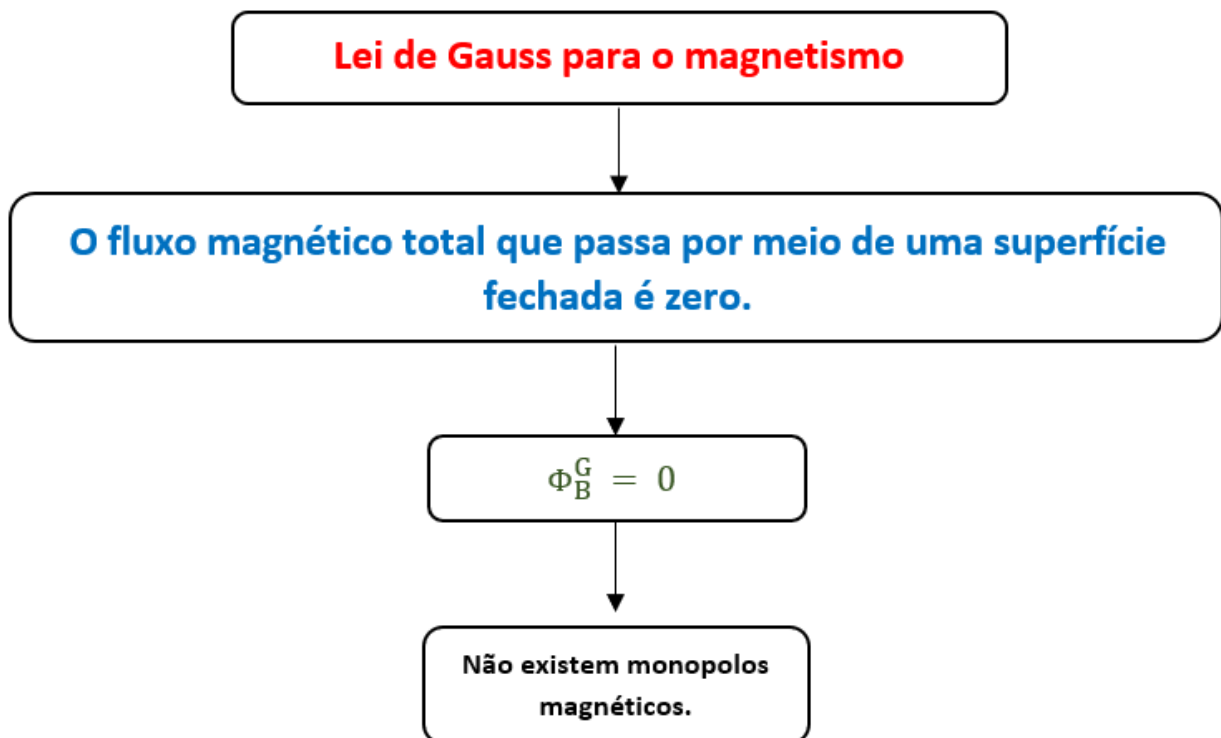
(Figura 07). Isto significa que toda linha de campo é uma linha contínua e fechada: parte sai do polo N e vai ao polo S por fora do ímã e do polo S retorna ao polo N por dentro do ímã. No experimento 2 será mostrado esse fato através da separação de ímã (clip magnetizado) e verificação da existência dos polos com uma bússola.

Figura 07: Inseparabilidade dos polos de um ímã.



Fonte: RAMALHO *et al.*, 2009.

Figura 08: Mapa conceitual sobre a Lei de Gauss do magnetismo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

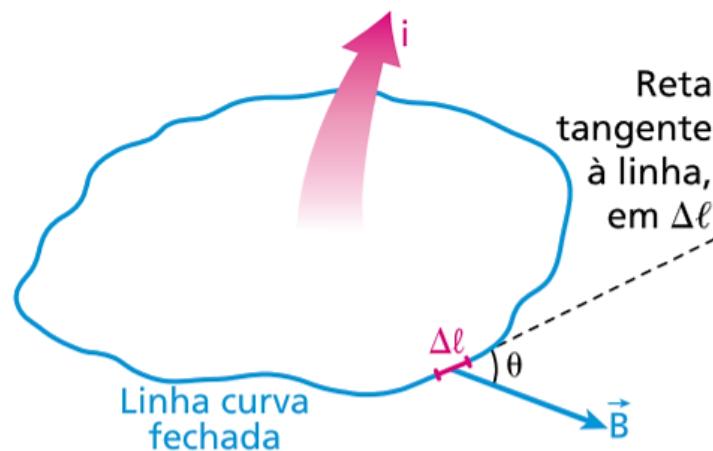
### 3.3 Lei de Ampère

André-Marie Ampère (1775 – 1836), matemático e físico francês, descobriu que na ausência de qualquer ímã, dois fios exercem um sobre o outro, uma ação atrativa ou repulsiva, consoante o sentido das correntes que os percorrem. Sugeriu a existência de correntes moleculares e apresentou uma explicação das propriedades magnéticas em termos da eletricidade. Em 1822, Ampère descobriu os princípios da telegrafia elétrica. (ARAGÃO, 2006). Após o Congresso Internacional de Eletricidade em 1908, em Londres, o seu nome ficou ligado ao da intensidade da corrente elétrica.

É importante lembrar que cargas elétricas em movimento, ou seja, correntes elétricas criam um campo magnético na região do espaço que as circunda, sendo, portanto, fontes de campo magnético. Considerando uma linha curva qualquer, fechada contida em um meio que existe um campo magnético  $\vec{B}$  e representando por  $\Delta l$  o comprimento de um trecho elementar (“pedacinho”) dessa linha e por “i” (soma de todas as correntes) a intensidade constante da corrente elétrica que atravessa a superfície envolvida pela linha (Figura 09). A Lei de Ampère é dada pela seguinte expressão:

$$\sum B \Delta l \cos \theta = \mu_0 i \quad (3.6)$$

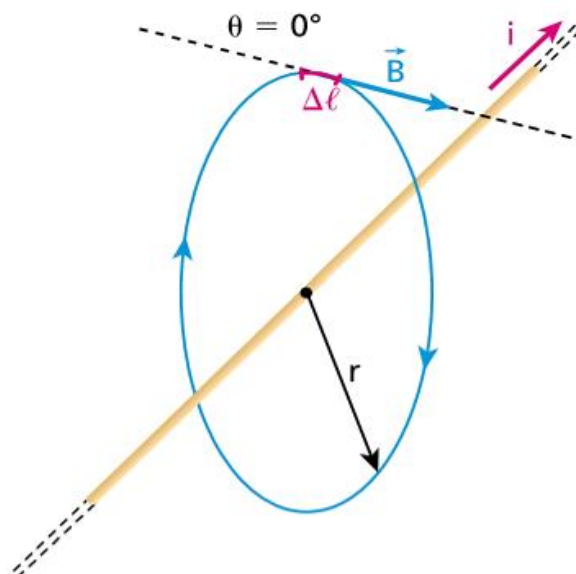
Figura 09: Circulação do vetor  $\vec{B}$  em um percurso fechado percorrido por uma corrente elétrica de intensidade constante.



De maneira idêntica a Lei de Gauss, a terceira equação fundamental do eletromagnetismo (Lei de Ampère) permite calcular o campo magnético produzido por uma distribuição de correntes com elevada simetria. Uma aplicação dessa lei muito conhecida pelos alunos é o cálculo da intensidade do campo magnético gerado por um condutor retilíneo infinito (Figura 10). Essa aplicação será visualizada no experimento 3 com a experiência de Hans Oersted. Nessa situação, pela simetria, é possível ver que a intensidade de  $\vec{B}$  é a mesma em todos os pontos da linha de indução e que o  $\cos \theta = 1$ . Então, para esse caso, a Lei de Ampère se torna:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 i \quad (3.7)$$

Figura 10: Representação da circulação do vetor campo magnético ao redor de um condutor retilíneo infinito percorrido por uma corrente elétrica.

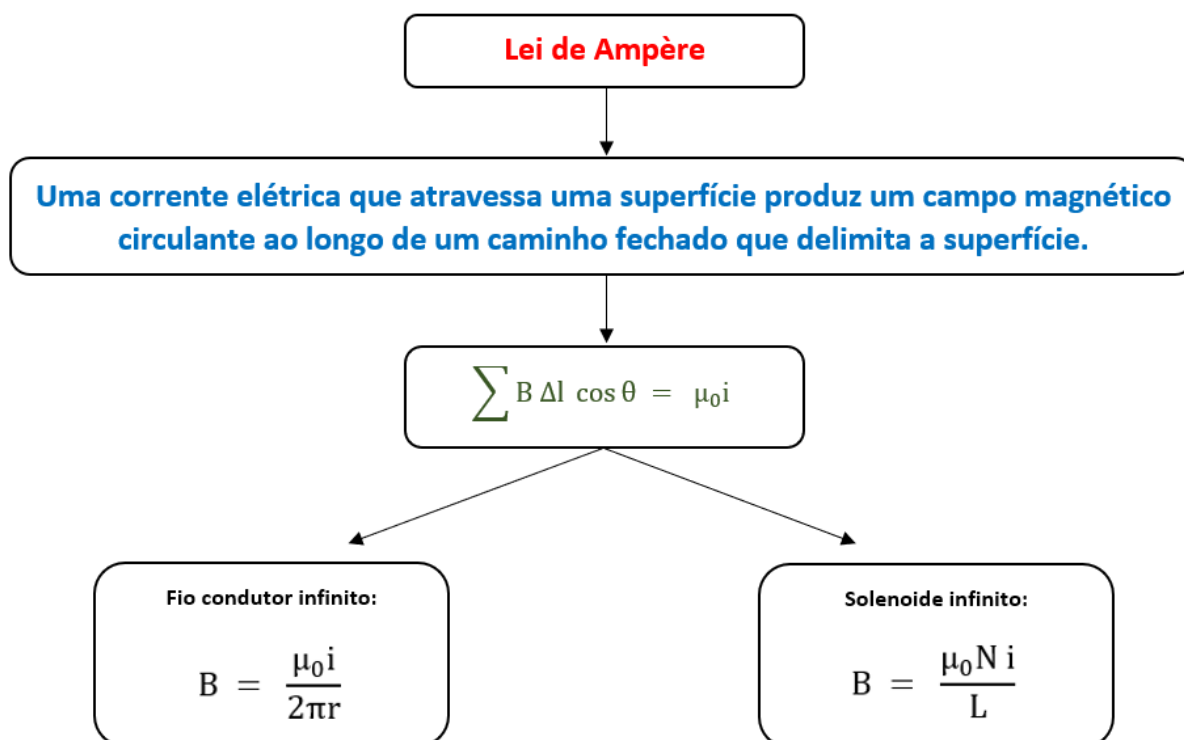


Fonte: HELOU *et al.*, 2007.

Como o percurso é uma circunferência de raio  $r$ , tem-se que a soma  $\sum \Delta \ell$  é igual ao comprimento do círculo ( $2\pi r$ ), logo a intensidade do campo magnético é:

$$B_{Fio} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (3.8)$$

Figura 11: Mapa conceitual sobre a Lei de Ampère.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 Lei de Faraday

Michael Faraday (1791 – 1867), físico e químico britânico, é um dos grandes nomes da ciência mundial. Aos 14 anos tornou-se aprendiz de um encadernador de livros e passou a ler com voracidade todos os livros de ciência que lhe caíam às mãos. Ele descobriu que um ímã exerce força sobre uma corrente elétrica e, através disso, inventou o primeiro motor elétrico da história. Em 1831, Faraday descobriu um dos fenômenos mais fundamentais do eletromagnetismo, a indução eletromagnética e, com base nisso, inventou o primeiro gerador de corrente elétrica de natureza puramente eletromagnética. Ele criou o conceito de campo elétrico e magnético para interpretar seus experimentos. Interessou-se pela investigação no domínio da indução eletrostática, construindo a primeira gaiola de Faraday (ARAGÃO, 2006). Faraday terá sido considerado como o melhor experimentalista na história da ciência, mesmo não conhecendo Matemática avançada, como o cálculo infinitesimal.

A quarta e última equação fundamental do eletromagnetismo (Lei de Faraday) é derivada da teoria da indução eletromagnética. A teoria diz que se houver variação no fluxo magnético (Equação 3.4) através de um circuito, aparecerá nesse circuito



uma força eletromotriz induzida, a qual existirá enquanto o fluxo estiver variando; cessada a variação do fluxo, desaparecerá a força eletromotriz (ou diferença de potencial). O campo elétrico criado pela diferença de potencial é responsável por gerar no circuito uma corrente elétrica, chamada de corrente induzida. Para saber o sentido da corrente induzida, existe a Lei de Lenz. Essa lei estabelece que a corrente induzida surge em um sentido tal que produz um fluxo magnético contrário à variação provocada. Matematicamente, a Lei de Faraday mostra que esta força eletromotriz induzida média ( $\varepsilon_{\text{induzida}}$ ) é proporcional ao negativo da variação média do fluxo magnético durante um intervalo de tempo:

$$\varepsilon_{\text{induzida}} = - \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (3.9)$$

É importante dizer que a Lei de Lenz está implícita na Lei de Faraday por meio do sinal de menos (-). Outra informação relevante é que se a taxa de variação  $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$  for constante com o tempo, a força eletromotriz média induzida  $\varepsilon_{\text{induzida}}$  coincidirá com a força eletromotriz induzida em um instante qualquer (instantânea). O princípio da indução eletromagnética é o responsável pelo funcionamento do gerador elétrico, esse é um dispositivo que converte energia mecânica em energia elétrica. No experimento 4 será visto com mais detalhes essa conversão de energia na tentativa de ligar uma lâmpada LED com um gerador elétrico.

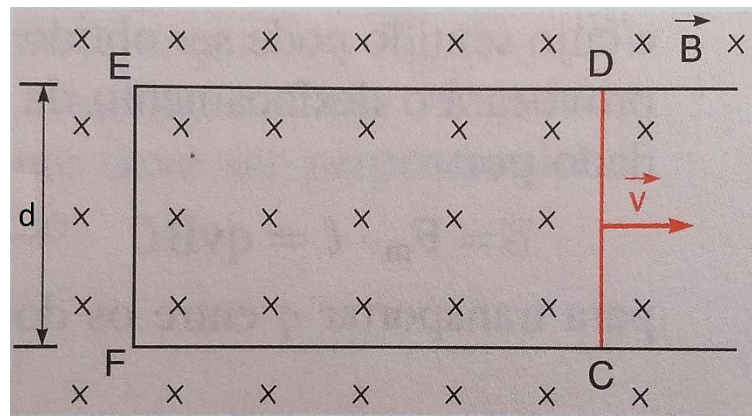
A expressão do fluxo magnético depende de três grandezas: B, A e  $\theta$ . Se pelo menos uma dessas três grandezas variar, conseqüentemente, aparecerá uma variação de fluxo através da superfície considerada. Normalmente, no ensino médio não se considera a variação de B e  $\theta$  devido a complexidades dos cálculos. O caso mais simples é quando varia a área A de forma linear. Tendo dito isso, veremos uma aplicação da Lei de Faraday em um circuito simples.

Considerando um condutor retilíneo CD que se apoia em um fio condutor com forma de U e que o conjunto está imerso em um campo magnético  $\vec{B}$  uniforme, e perpendicular ao plano do circuito (Figura 12). Supondo que um operador puxe o condutor CD com velocidade constante v. Usando a Lei de Faraday, é possível calcular a força eletromotriz induzida nessa situação através do cálculo da variação do fluxo magnético. Como o campo magnético é constante e é paralelo ao vetor

normal à superfície ( $\theta = 0$ ), então a variação do fluxo depende apenas da variação da área do circuito no tempo. Facilmente é visto que a taxa de aumento da área é dada por  $\Delta A = d(v\Delta t)$ . Logo, o módulo da força eletromotriz induzida é:

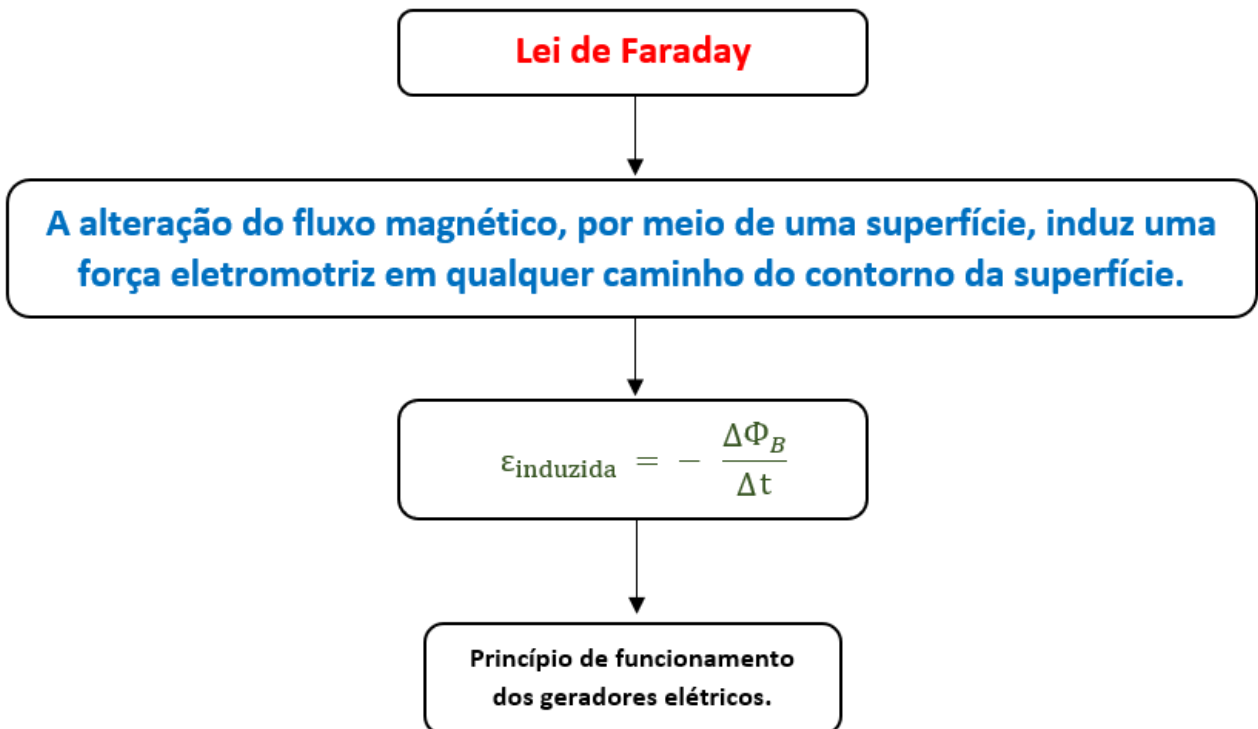
$$\varepsilon_{\text{induzida-circuito}} = Bdv \quad (3.10)$$

Figura 12: Aplicação da Lei de Faraday em um circuito simples.



Fonte: Adaptado de CALÇADA; SAMPAIO, 1998.

Figura 13: Mapa conceitual sobre a Lei de Faraday.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.5 Aplicação em ondas eletromagnéticas

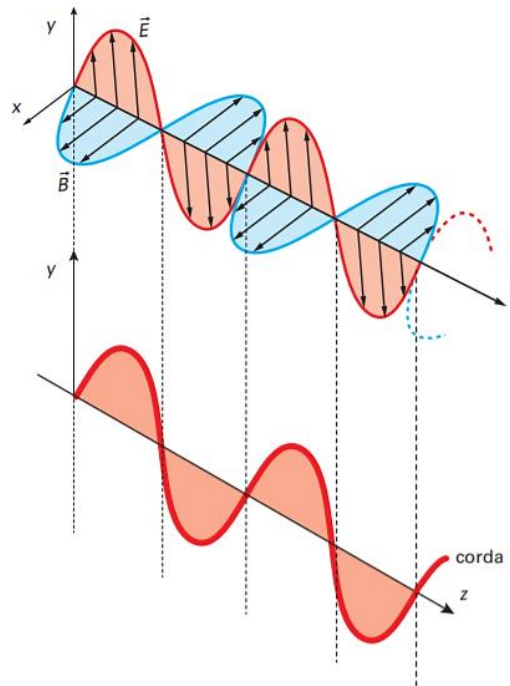
James Clerk Maxwell (1831 – 1879) foi um físico e matemático britânico. Seu talento matemático relevou-se muito cedo. Quando tinha somente quinze anos publicou seu primeiro trabalho científico, cujo tema é "Descrição das Curvas Elípticas". Esse apresentou um método para traçar curvas ovais. Nos anos de 1860, obteve uma formidável síntese de todos os fenômenos eletromagnéticos em quatro equações fundamentais, as hoje chamadas equações de Maxwell. Esse estudo permitiu prever a existência de ondas eletromagnéticas, previsão confirmada nove anos depois da sua morte pelo físico alemão Heinrich Hertz. Ele foi o responsável por elaborar matematicamente as ideias de Faraday. Juntamente com a mecânica de Newton e a teoria da relatividade de Einstein, as equações de Maxwell são as maiores contribuições individuais para a Física. Além disso, ele também desenvolveu um trabalho importante em mecânica estatística, estudou a teoria cinética dos gases e descobriu a distribuição de Maxwell-Boltzmann e demonstrou que os anéis de saturno são compostos por partículas sólidas (PIRES, 2008).

A Lei de Faraday diz que um campo magnético variável produz um campo elétrico (responsável pela corrente induzida). Em 1864, Maxwell propôs o efeito simétrico: um campo elétrico variável produz um campo magnético. Através dessa hipótese Maxwell corrigiu a Lei de Ampère colocando um termo de variação temporal do fluxo elétrico que faltava na equação. Mostrando que não somente a corrente elétrica produz campo magnético, mas campos elétricos também podem gerar campos magnéticos. Dessa maneira, Maxwell generalizou, matematicamente, os princípios do eletromagnetismo em quatro equações fundamentais (equações de Maxwell) e, por meio disso, ele previu a existência de um novo tipo de onda, as ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas correspondem a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos variáveis, gerados por cargas elétricas oscilantes (aceleradas). Elas são ondas transversais e, diferentemente das ondas mecânicas, podem se propagar no vácuo. Maxwell demonstrou que a velocidade de uma onda eletromagnética no vácuo ( $c$ ) é dada por:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (3.11)$$

Figura 14: Propagação de uma onda eletromagnética.



Fonte: GASPAR, 2013.

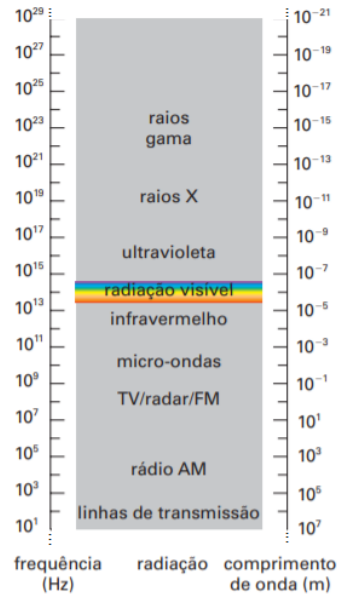
A relação entre a velocidade ( $c$ ) de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) correspondente é dada por:

$$c = \lambda \cdot f \quad (3.12)$$

A importância das ondas eletromagnéticas para o ser humano é indiscutível. Elas estão presentes quando enxergamos objetos a nossa volta, quando ligamos a TV, no sinal do celular e quando estouramos pipocas no forno de micro-ondas e em muitos outros exemplos. Pensando nisso, no experimento 5 é proposto uma blindagem eletromagnética do sinal de celular utilizando papel alumínio (condutor). Na Figura 15, é mostrado um resumo dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas, chamado espectro eletromagnético; as frequências estão em hertz (ciclo/s) e os comprimentos de onda, em metros. A luz é entendida como uma onda eletromagnética visível, e ocupa uma pequenina faixa dentro do amplo espectro de ondas

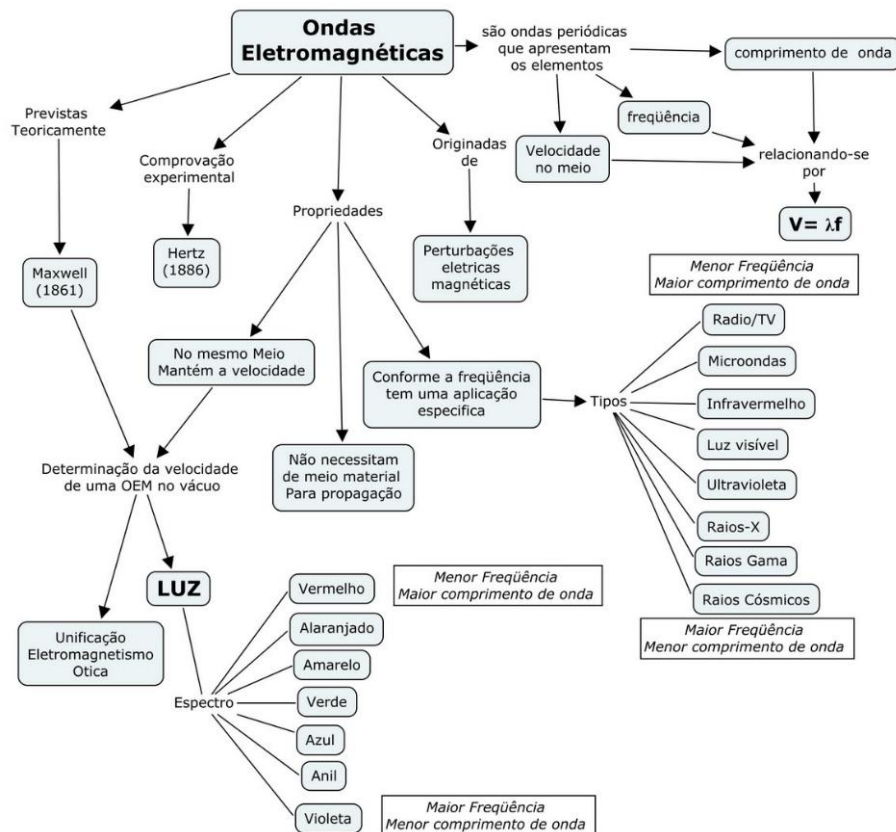
eletromagnéticas conhecidas. Existe uma faixa infinita de espectros tanto para a região superior, quanto para a região inferior mostrada na seguinte figura.

Figura 15: O espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de GASPARG, 2013.

Figura 16: Mapa conceitual sobre as ondas eletromagnéticas.



Fonte: Adaptado de ARAÚJO, 2009.

## **4 PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS PARA APLICAÇÕES DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL**

Para melhorar o entendimento da Física na área de eletromagnetismo, serão propostos, nesse capítulo, experimentos simples e de baixo custo, permitindo que o professor possa levá-los para a sala de aula, não sendo necessário que a escola tenha um laboratório de Física ou Ciências, realidade em muitas escolas da rede pública. Dessa forma, é possível tentar diminuir a problemática que atravessa o ensino de Física, estimulando os alunos através da ligação entre teoria e prática. Outro problema quanto ao tema, é que mesmo nas escolas que possuem laboratórios, é fácil de ser verificado que os materiais quando não estão em falta, são antigos ou estão danificados. Os materiais necessários para os experimentos propostos aqui não possuem valores altos, eles são compostos por produtos que são de fácil acesso e trazem resultados semelhantes, ou aproximados, aos apresentados pelos experimentos de alto custo.

As experiências propostas são: 1) A gaiola de Faraday; 2) Ausência de cargas magnéticas; 3) Experiência de Hans Oersted; 4) Geradores elétricos; 5) A blindagem eletromagnética. Todos os experimentos são formas de aplicações das equações de Maxwell do eletromagnetismo mostradas no capítulo 3 desse trabalho e podem ser apresentados não somente a alunos do ensino médio, mas também aos de ensino superior. Nas cinco seções abaixo, serão apresentados o objetivo, os materiais necessários, o procedimento e a análise completa com resultados e discussões de cada respectivo experimento para que o professor tenha em mãos todas as ferramentas essenciais para a aplicação do projeto proposto nesse capítulo na prática da sala de aula com os estudantes.

### **4.1 Experimento 1 – A gaiola de Faraday**

O objetivo do primeiro experimento é verificar o fenômeno da blindagem eletrostática (a gaiola de Faraday) utilizando simples bolhas de sabão.

#### 4.1.1 Materiais para realizar o experimento 1

Os materiais necessários para a realização do experimento 1 estão listados a seguir e podem ser visualizados na Figura 17.

- Fita adesiva (1);
- Copo (2);
- Água (3);
- Sabão ou sabonete líquido (4);
- Canudo (5);
- Tesoura (6);
- Bexiga (7);
- Saco plástico (8).

Figura 17: Materiais necessários para o experimento 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Procedimento do experimento 1

A seguir está o passo-a-passo para a montagem do experimento 1.

- Passo 1 – Colocar a água e o sabão/sabonete líquido no copo e misturá-los para haver uma homogeneização entre as mesmas com o canudo;
- Passo 2 – Fixar o saco plástico na mesa bem esticado colocando a fita adesiva nas pontas;
- Passo 3 – Espalhar a mistura feita no passo 1 pelo saco plástico;
- Passo 4 – Encher a bexiga com ar e amarrá-la;
- Passo 5 – Fazer uma bolha de sabão grande sobre a superfície plástica usando o canudo e a solução do passo 1;
- Passo 6 – Fazer uma bolha de sabão pequena no interior da bolha grande. De preferência no centro da bolha grande;
- Passo 7 – Atritar a bexiga nos cabelos para eletrizá-la;
- Passo 8 – Aproximar, levemente, a bexiga das bolhas para verificar o efeito da blindagem eletrostática, cuidando para não deixar a bolha grande tocar na pequena.

#### **4.1.3 Análise do experimento 1**

Quando um corpo condutor de eletricidade é eletrizado, as cargas elétricas são distribuídas em sua superfície de maneira que essa superfície seja uma equipotencial. Isso ocorre porque as cargas elétricas de mesmo sinal tendem a se afastar uma das outras, até atingirem uma condição de repouso, o chamado equilíbrio eletrostático. Uma das propriedades de um condutor em equilíbrio eletrostático, consequência da Lei de Gauss, é que o campo elétrico em seu interior é nulo devido à ausência de cargas internas. Esse fenômeno é conhecido como blindagem eletrostática ou gaiola de Faraday. Quando o condutor não está eletrizado acontece a mesma situação. Se ele estiver em uma região que possui um campo elétrico gerado por um agente externo. A parte interna dele fica livre da ação desse campo externo, e pode-se dizer que ele fica blindado.

Graças à blindagem eletrostática, diversos aparelhos eletrônicos, como rádios, televisores, discos rígidos e até mesmo fios de telefonia e internet, são envolvidos em metal (condutor) para evitar interferências de campos elétricos externos. Outra aplicação desse fenômeno é que ele é o responsável por preservar a vida das pessoas que andam de avião. Onde se um raio atinge o lado de fora do avião, as pessoas que estão na parte de dentro ficam seguras, pois a corrente elétrica do raio é dissipada pela parte externa do avião.

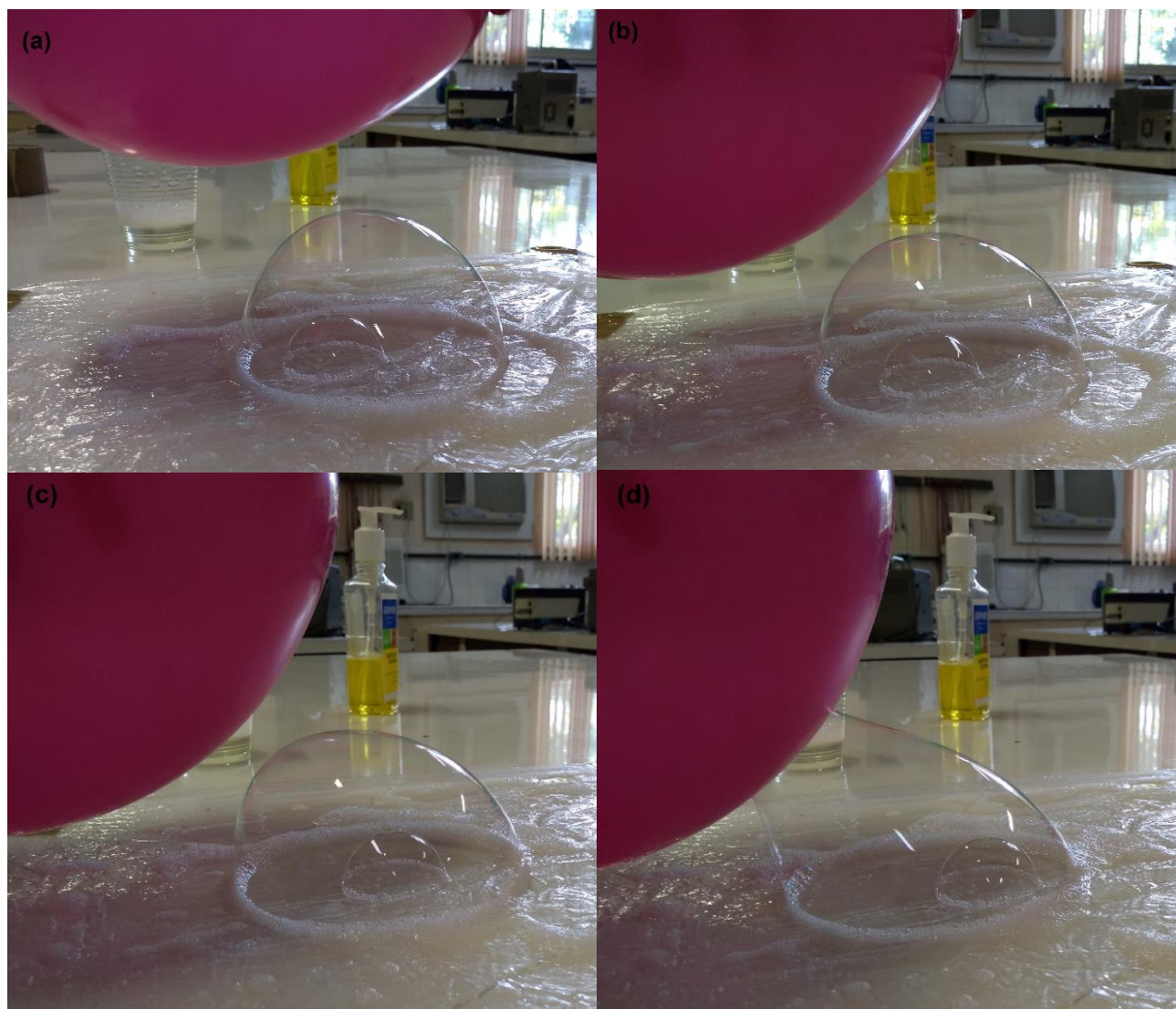


O primeiro experimento proposto nesse capítulo (a gaiola de Faraday) testa esse efeito de blindagem em pequenas bolhas de sabão. Elas são formadas por apenas duas camadas de moléculas de sabão, e entre estas camadas, tem lugar uma fina camada de água e algumas outras moléculas de sabão, essas possuem uma parte polar, e outra apolar, assim, ela se aproxima com uma molécula vizinha na parte polar fechando a película. As camadas se juntam pelas forças de atração molecular existentes. A superfície da bolha de sabão é iridescente, ou seja, é capaz de refletir as cores do arco-íris através de um efeito da interferência entre as ondas de luz. Dessa forma, é possível dizer que a bolha de sabão pode ser considerada um condutor (cargas apenas na superfície e em equilíbrio) e que elas são capazes de blindar seu interior de interferências de campos elétricos externos.

Durante o processo de eletrização por atrito da bexiga no passo 7 do procedimento, cargas negativas ficam acumuladas na bexiga e cargas positivas no cabelo. Ao aproximar a bexiga carregada negativamente das bolhas de sabão, as cargas positivas presentes nas bolhas são atraídas devido ao campo elétrico gerado pelo balão. Por conta disso, as bolhas tendem a se aproximar da bexiga. Seguindo esse raciocínio, as duas bolhas deveriam ir em direção ao balão. Entretanto, somente a bolha grande acaba se deslocando, enquanto a pequena permanece parada em virtude de estar sendo protegida no interior da grande pelo fenômeno da blindagem eletrostática. O resultado do experimento é visto na Figura 18 em quatro fotos com tempos sucessivos.

Quanto ao custo do experimento 1, todos os materiais utilizados são de fácil acesso aos alunos e professores na escola. Apenas a bexiga possa ser que seja necessária a compra de um pacote inteiro com 50 peças, que custa em média R\$ 5,00. Entretanto só é preciso usar uma peça. Portanto, o experimento é bem simples na abordagem de uma aplicação da Lei de Gauss e ainda pode ser considerado de custo zero pela facilidade de conseguir os materiais necessários.

Figura 18: Resultado do experimento 1. Em (a), (b), (c) e (d) mostram a verificação da blindagem eletrostática em quatro momentos sucessivos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 Experimento 2 – Ausência de cargas magnéticas

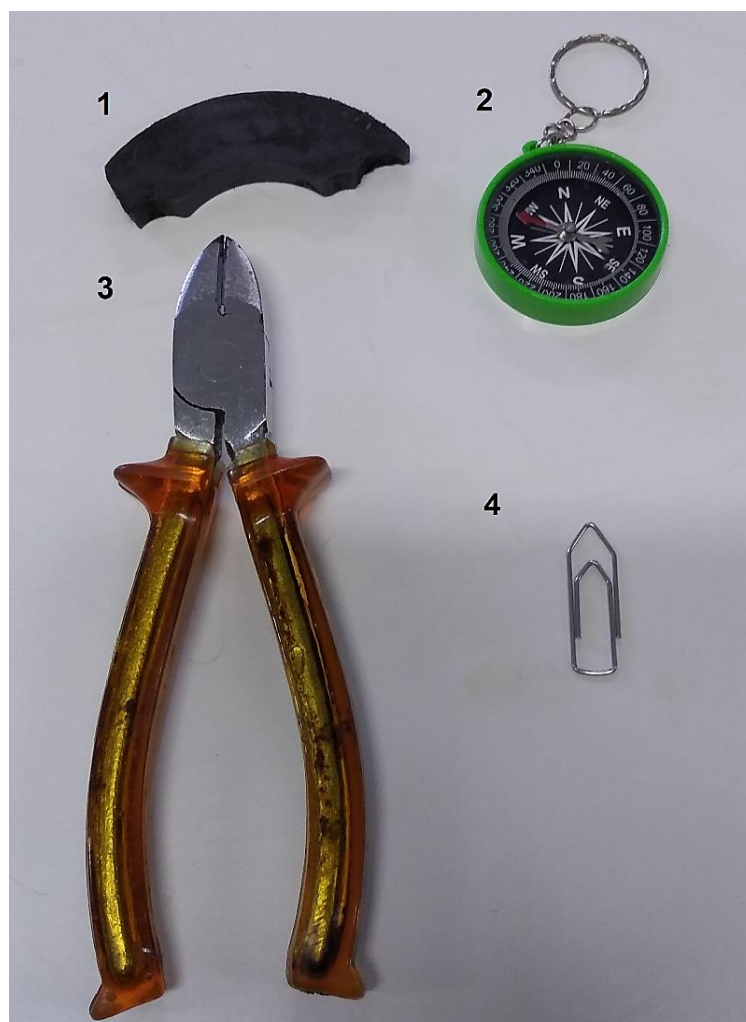
O objetivo do segundo experimento é comprovar a inseparabilidade dos polos (norte e sul) de um ímã. Provando assim a ausência de monopolo magnético ou cargas magnéticas.

### 4.2.1 Materiais para realizar o experimento 2

Os materiais necessários para a realização do experimento 2 estão listados a seguir e podem ser visualizados na Figura 19.

- Ímã (1);
- Bússola (2);
- Alicate de corte (3);
- Clipe de papel (4).

Figura 19: Materiais necessários para o experimento 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2.2 Procedimento do experimento 2

A seguir está o passo-a-passo para a montagem do experimento 2.

Passo 1 – Abrir o clipe de papel, de forma que ele fique esticado;

Passo 2 – Atritar o clipe com o ímã para magnetizá-lo;

Passo 3 – Verificar se o clipe esticado possui os dois polos magnéticos com a bússola. Caso ele ainda não tenha, é preciso repetir o passo 2 até o clipe ter os polos Norte e Sul magnético, ou seja, torna-lo um ímã em forma de barra;

Passo 4 – Cortar o clipe ao meio com o alicate de corte;

Passo 5 – Verificar se há existência de dois polos magnéticos em cada um dos dois pedaços do clipe com a bússola.

## 4.2.3 Análise do experimento 2

Há séculos, os seres humanos observaram que determinadas pedras atraíam o ferro ou outras pedras semelhantes. Essas pedras receberam o nome de ímãs, e as propriedades que manifestam espontaneamente na Natureza foram denominadas fenômenos magnéticos. Todos os ímãs apresentam duas regiões diferentes, em que a atuação magnética aparece com maior força. Essas regiões são chamadas de polos magnéticos. Esses polos possuem comportamentos opostos na presença de outros ímãs, e são denominados Norte (N) e Sul (S). Polos magnéticos de mesmo nome se repelem e polos magnéticos de nomes diferentes se atraem. Nos ímãs em forma de barra, por exemplo, os polos localizam-se em suas extremidades. Na eletrostática, é visto que uma carga elétrica puntiforme fixa origina no espaço um campo elétrico. Analogamente, é dito que um ímã gera no espaço ao seu redor um campo que é chamado de campo magnético. Quando um corpo produz campo magnético, é dito que ele está magnetizado. Existe um processo chamado de imantação ou magnetização que consiste em magnetizar um material (criar um ímã artificial) que naturalmente não tem características de ímã.

A importância do ímã no dia a dia por ser vista em muitos equipamentos eletrônicos, como no uso nas portas de geladeira, nas portas dos armários da cozinha, na máquina de lavar, na porta do micro-ondas. No cotidiano, muitos equipamentos eletrônicos utilizam os ímãs e das propriedades do magnetismo para o seu

funcionamento. Por exemplo, os alto-falantes dos aparelhos de som são compostos por um conjunto formado por um ímã e uma bobina que, ao ser atravessada por uma corrente elétrica, movimenta-se sob a ação do campo magnético do ímã.

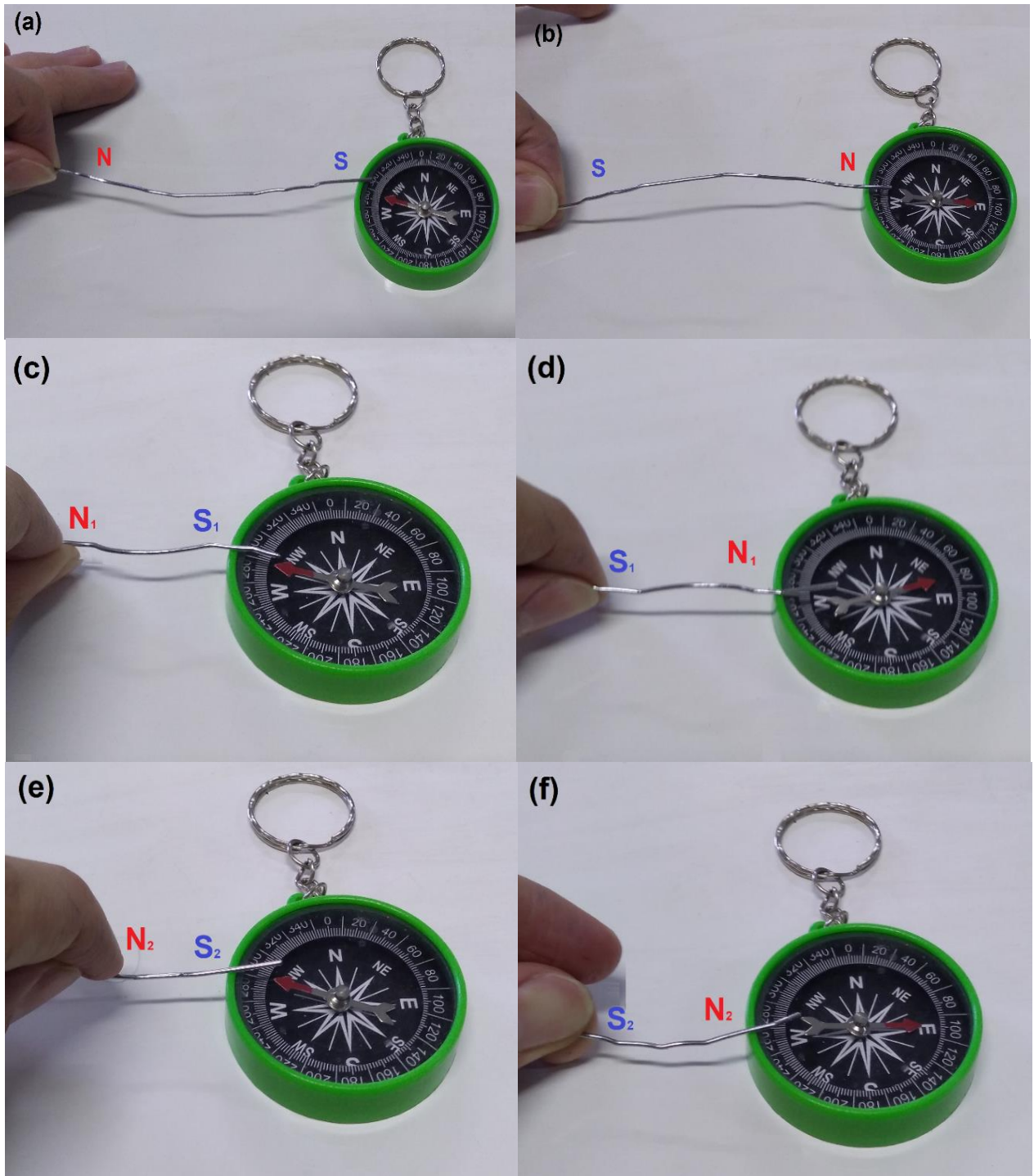
O segundo experimento proposto nesse capítulo (ausência de cargas magnéticas) busca provar uma propriedade bem característica dos ímãs, a inseparabilidade dos polos magnéticos, que é a aplicação fundamental da Lei de Gauss para o magnetismo. Para realizar o experimento, é importante ter uma bússola para verificação da existência dos polos. Ela é constituída por uma agulha magnetizada (imantada) que é equilibrada de forma horizontal sobre um eixo que tem livre movimento. A bússola tende a se alinhar com o campo magnético resultante externo, ou seja, ela sempre aponta para a região de sul magnético.

No decorrer do experimento 2, o clipe de papel é atritado em um ímã natural e, conseqüentemente, o clipe sofre um processo de magnetização por atrito. Esse processo faz com que o clipe se torne um ímã artificial, porém esse tipo de magnetização é bastante fraco e pode ser que seja preciso atritar várias vezes para obter o resultado esperado. Após o passo 2 ser bem-sucedido, isto é, depois de ter verificado com a bússola a existência dos polos Norte e Sul no pedaço grande esticado do clipe (Figura 20 (a) e (b)), o experimento propõe tentar a divisão dos polos ao cortar o ímã no meio. Porém, após o corte, ao analisar os dois pequenos pedaços do clipe com a bússola (Figura 20 (c), (d), (e) e (f)), conclui-se que cada um dos fragmentos permanece com os dois polos magnéticos assim como era no clipe de papel no início. Confirmando a teoria da ausência de cargas magnéticas na natureza.

Em relação aos materiais necessários para o experimento 2, somente o alicate de corte e o clipe são de fácil acesso em uma escola. O ímã utilizado pode ser conseguido em um local que conserta aparelhos de som, pois nesse lugar existem vários ímãs usados em alto falantes que seriam descartados por falta de utilidade. Logo, providenciar um ímã para a experiência é simples e ele acaba se tornando um objeto de custo zero. A bússola custa, em média, R\$ 8,00 e ainda existe a opção de usar uma bússola no celular por meio de aplicativo. Caso precise comprar um alicate de corte, esse custa em torno de R\$ 10,00. Para o experimento foi necessário apenas comprar a bússola. Por fim, o experimento é bem simples para o estudo da aplicação mais importante da Lei de Gauss do magnetismo e o custo é bastante pequeno.



Figura 20: Resultado do experimento 2. (a) e (b) Confirmação da existência de polos magnéticos no clipe de papel magnetizado. (c) e (d) Comprovação da permanência dos polos no pedaço 1 do clipe cortado. (e) e (f) Comprovação da permanência dos polos no pedaço 2 do clipe cortado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Experimento 3 – Experiência de Hans Oersted

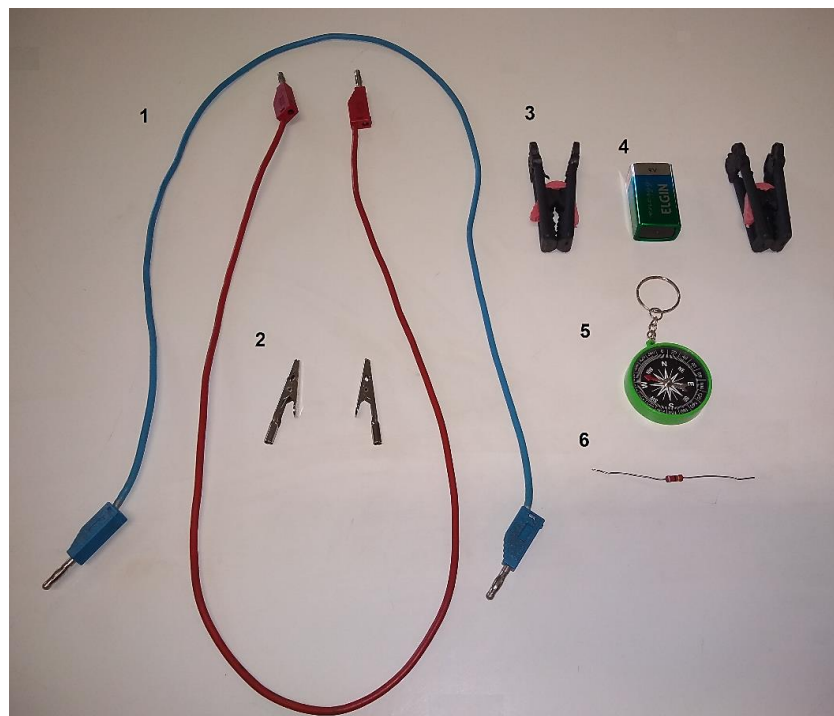
O objetivo do terceiro experimento é constatar a geração de um campo magnético circulante através de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica.

#### 4.3.1 Materiais para realizar o experimento 3

Os materiais necessários para a realização do experimento 3 estão listados a seguir e podem ser visualizados na Figura 21.

- Dois cabos de conexão - tipo pino banana (1);
- Dois terminais metálicos - tipo garra de jacaré (2);
- Dois pregadores de roupa (3);
- Bateria alcalina de 9 volts (4);
- Bússola (5);
- Resistor de 20 ohms (6).

Figura 21: Materiais necessários para o experimento 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3.2 Procedimento do experimento 3

A seguir está o passo-a-passo para a montagem do experimento 3.

Passo 1 – Encaixar uma garra de jacaré em cada um dos cabos elétricos;

Passo 2 – Prender as garras de jacaré nas extremidades do resistor;

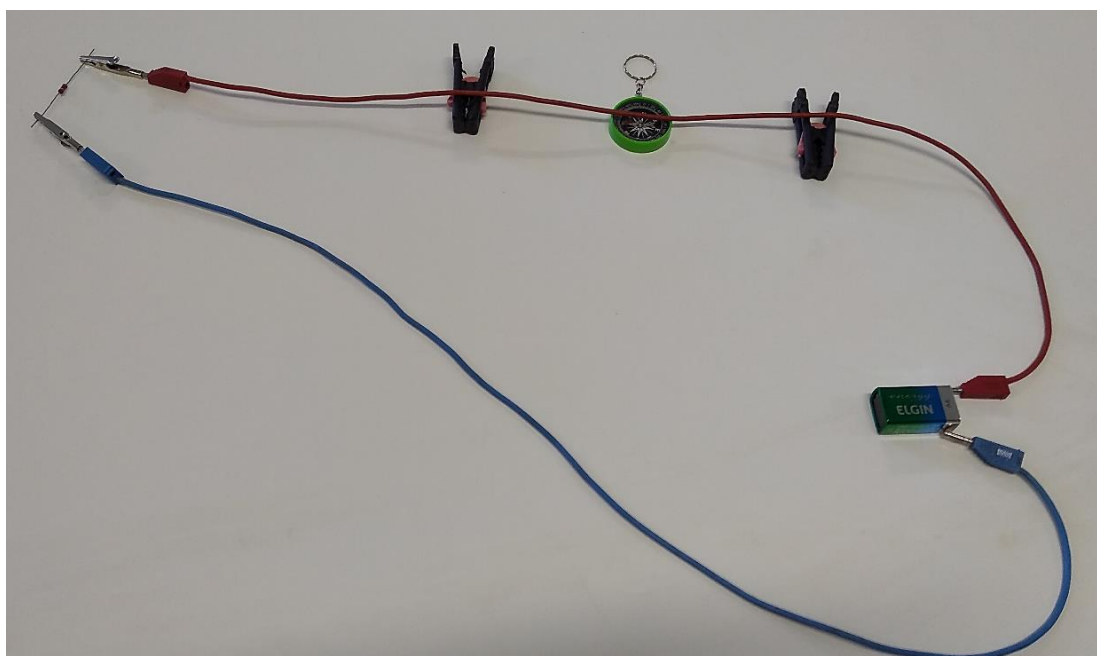
Passo 3 – Colocar os dois pregadores de roupa embaixo de um dos cabos, de forma que a distância entre eles permita pôr a bússola;

Passo 4 – Colocar a bússola entre os pregadores alinhando o campo magnético da terra paralelamente ao cabo. Se precisar, movimentar o mesmo para que a agulha da bússola fique paralela a ele;

Passo 5 – Ligar as outras duas extremidades dos cabos (parte pino banana) nos terminais da bateria para permitir a circulação de corrente elétrica pelos fios;

Passo 6 – Inverter os terminais da bateria e repetir o passo 5 para que haja circulação de corrente elétrica em outro sentido pelos fios.

Figura 22: Experimento 3 totalmente montado. A foto serve para a visualização de como ficará o aparato após o passo 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.



### 4.3.3 Análise do experimento 3

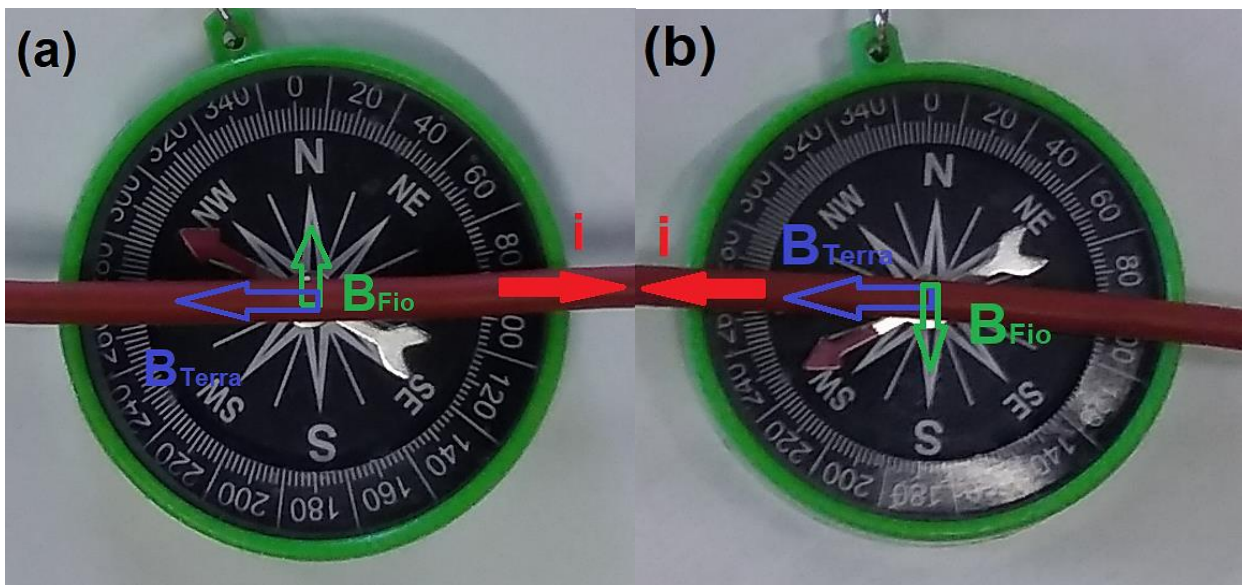
Em 1820, o físico e médico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777 – 1851), professor de Física da Universidade de Copenhague, mostrou experimentalmente que fenômenos elétricos e os magnéticos não eram independentes, como acreditava-se na época. Oersted descobriu que um fio percorrido por corrente elétrica, colocado nas proximidades de uma bússola, era capaz de provocar desvio na agulha magnética. A agulha não era nem atraída e nem repelida, em vez disso, ela tendia a formar ângulos retos com o condutor. Dessa maneira, comprovou-se a ligação existente entre a eletricidade e o magnetismo. A partir desse momento, inaugurou-se a era do eletromagnetismo.

O terceiro experimento proposto nesse capítulo (experiência de Hans Oersted) permite a verificação de que um fio percorrido por corrente elétrica gera ao seu redor um campo magnético circulante, fato esse que é uma aplicação da Lei de Ampère. Para o entendimento do experimento, é importante lembrar que o planeta Terra se comporta como um grande ímã, estabelecendo que o polo norte magnético situa-se próximo ao polo sul geográfico e o polo sul magnético próximo ao seu polo norte geográfico. Além disso, a bússola tende a se alinhar com o campo magnético terrestre, caso não exista nenhum outro campo magnético no local.

O experimento consiste na construção de um pequeno circuito elétrico. Algumas considerações são importantes de serem destacadas, por exemplo, os pregadores de roupa do passo 3 vão servir para manter a estabilidade do fio, de maneira que ele permaneça paralelo a agulha da bússola quando for liga-lo nos terminais da bateria. É recomendando que ao fazer a ligação, a pessoa segure o fio no ponto de apoio do pregador próximo a bateria para mantê-lo estável. É fundamental para a visualização do resultado do experimento que a agulha da bússola esteja alinhada com o fio, pois, somente assim, o campo magnético gerado pela corrente será ortogonal ao da Terra. Ao ligar os cabos nos terminais da bateria (passo 5), é visto que o campo resultante fica na direção diagonal, por que ele é a soma vetorial do campo da Terra com o criado pelo fio atravessado por corrente (Figura 23 (a)). Quando é invertido o sentido da corrente, conclui-se que o campo gerado por ela também muda o sentido de circulação (Figura 23 (b)).

Quanto aos custos dos materiais, esse é o experimento mais caro de todos, pois somente os pregadores de roupa são de fácil acesso para as pessoas. Os cabos de conexão (tipo pino banana) custam cada, em média, R\$ 2,00. Além deles, as garras de jacaré têm um preço de R\$ 1,00 cada. A bateria de 9 volts custa em torno de R\$ 9,00. Como já mencionado no experimento 2, a bússola tem valor de R\$ 8,00. Finalizando, o resistor é o mais barato de todos, custando apenas R\$ 0,50. Recomenda-se que o resistor tenha entre 20 e 70 ohms para melhor eficiência do experimento. Todos os objetos podem ser comprados em lojas de instrumentos musicais ou em lojas de materiais elétricos. Para o experimento foi necessário a compra de todos os materiais, com a exceção dos pregadores de roupa. Portanto, o experimento é bem simples para o ensino de uma aplicação da Lei de Ampère e pode ser de grande contribuição para estimulação dos estudantes para o aprendizado da matéria.

Figura 23: Resultado do experimento 3. (a) Campo magnético produzido por um fio percorrido por uma corrente elétrica para a direita. (b) Campo magnético produzido por um fio percorrido por uma corrente elétrica para a esquerda.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4 Experimento 4 – Geradores elétricos

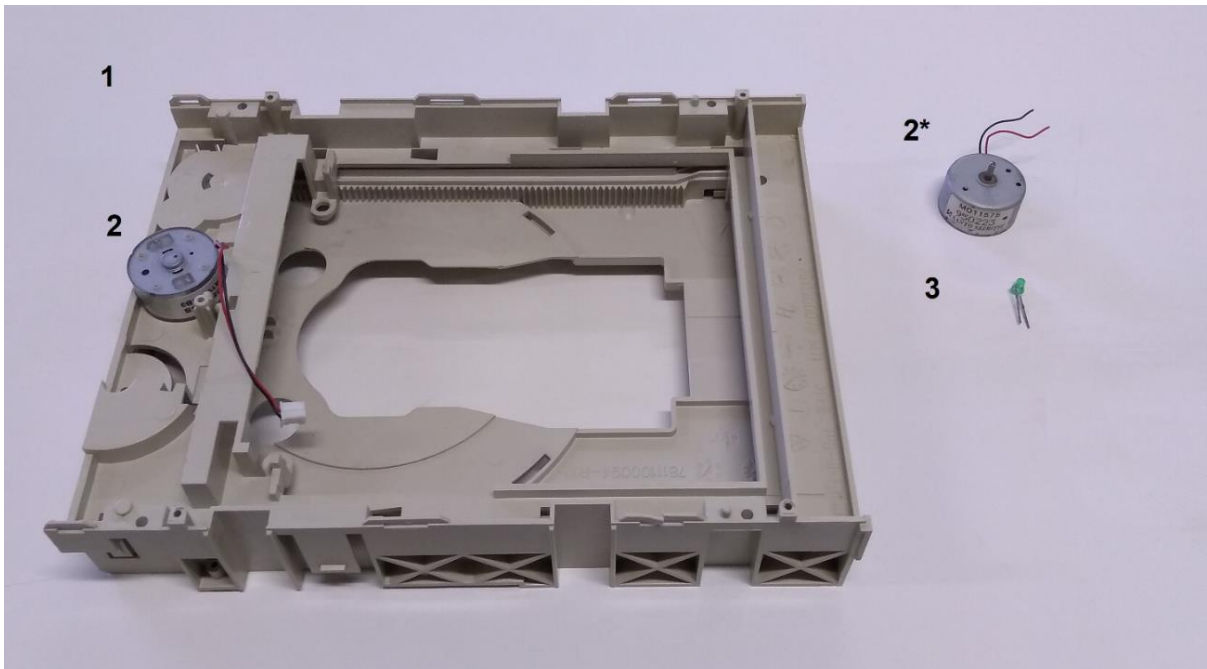
O objetivo do quarto experimento é verificar a conversão de energia mecânica em energia elétrica feita por um gerador elétrico através do princípio da indução eletromagnética.

##### 4.4.1 Materiais para realizar o experimento 4

Os materiais necessários para a realização do experimento 4 estão listados a seguir e podem ser visualizados na Figura 24.

- Sucata de leitor e gravador de CD/DVD (1);
- Pequeno gerador elétrico que já vem acompanhado na sucata (2). A parte superior do gerador é mostrada no número 2\*;
- LED difuso 3 mm verde (3).

Figura 24: Materiais necessários para o experimento 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4.2 Procedimento do experimento 4

A seguir está o passo-a-passo para a montagem do experimento 4.

Passo 1 – Encaixar o LED verde nos terminais do gerador elétrico;

Passo 2 – Girar o eixo do gerador para que o LED acenda. Fazer isso abrindo e fechando a sucata de leitor e gravador de CD/DVD;

Passo 3 – Retirar o LED verde, inverter os seus polos e encaixá-lo novamente nos terminais do gerador elétrico;

Passo 4 – Repetir o passo 2 para o LED verde com os polos invertidos.

#### 4.4.3 Análise do experimento 4

Geradores elétricos são dispositivos que transformam vários tipos de energia não elétrica (mecânica, eólica e entre outras) em energia elétrica. O gerador elétrico mais comum é o dínamo, esse depende da indução eletromagnética para converter energia mecânica em energia elétrica. O dínamo funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do seu eixo, que faz com que o fluxo de um campo magnético, produzido por um ímã permanente que atravessa um conjunto de enrolamentos, varie no tempo, assim, pela Lei de Faraday, leva a indução de tensões em seus terminais.

No caso de um gerador que fornece uma corrente contínua, um interruptor mecânico ou anel comutador alterna o sentido da corrente de forma que a mesma permaneça unidirecional independente do sentido da posição da força eletromotriz induzida pelo campo. É possível falar que os geradores elétricos foram um passo gigantesco para a humanidade, porque como consequência das transformações de energia que eles proporcionaram é que muitos outros objetos foram inventados, como a televisão. Além disso, os geradores são extremamente utilizados em locais onde não pode haver imprevistos provocados pela falta de energia, por exemplo em hospitais e supermercados.

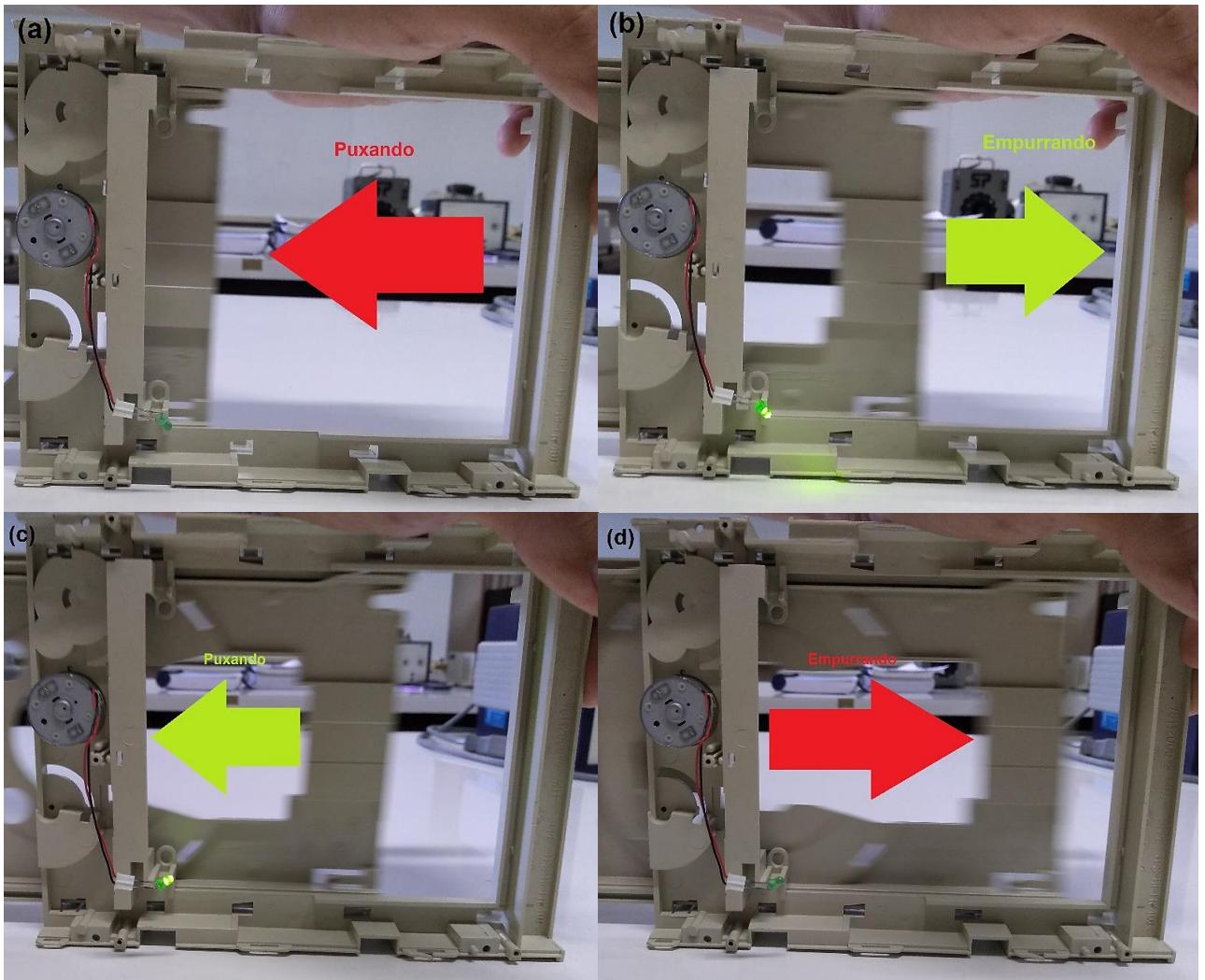
O quarto experimento proposto nesse capítulo (geradores elétricos) servirá para a visualização de uma aplicação da Lei de Faraday que busca acender uma lâmpada pequena de LED por meio de um simples gerador elétrico. O LED (diodo emissor de luz) é um componente eletrônico que gera luz com baixo consumo. Ele só

acende quando alcança uma tensão específica (sua tensão direta) e só permite a passagem de corrente em um sentido. Nesse contexto, as lâmpadas de LED são altamente promissoras para a economia de energia, visto que são muito mais eficientes do que as comuns pois produzem a mesma quantidade de luz com menos gasto de energia. Além disso, a geração de calor durante esse processo é praticamente nula, não emitem radiações ultravioleta e raios infravermelhos e ainda possuem uma durabilidade maior comparada as outras lâmpadas.

Para acender a pequena lâmpada de LED verde é necessária que ela seja percorrida por uma corrente elétrica. Pensando nisso, primeiramente é preciso encaixá-la nos terminais do gerador elétrico para a formação de um circuito elétrico. Agora, é necessário rodar o eixo do gerador para que ele produza uma corrente no circuito para tentar ligar o LED. Como girar manualmente com as mãos é bem difícil, o giro do eixo é facilitado com a ajuda da sucata de leitor e gravador de CD/DVD. Dessa forma, ao invés de girar o eixo diretamente, isso pode ser feito através de uma simples abertura ou fechamento da sucata. É importante lembrar que ao abrir a sucata, o circuito é percorrido por uma corrente em um sentido e, de modo contrário, ao fechar a sucata, o sentido da corrente no circuito é invertido. No resultado do passo 2 realizado no experimento 4, o LED acende quando a sucata é empurrada, ou seja, fechada (Figura 25 (b)). Entretanto, quando ela é puxada, isto é, aberta, o LED não acende (Figura 25 (a)). Isso ocorre por que a corrente criada pelo gerador é contínua e a lâmpada de LED só acende quando é atravessada por uma corrente de sentido específico. Essa ideia é confirmada no passo 4, quando é invertidos os polos do LED no circuito e o resultado do processo é o contrário (Figura 25 (c) e (d)).

Em relação aos materiais necessários para o experimento 4, só é preciso comprar a lâmpada de LED verde 3 mm que custa no máximo R\$ 0,25, e ela pode ser encontrada em lojas de materiais elétricos. A sucata completa com o gerador elétrico instalado pode ser providenciada em velhos computadores. Neles, o leitor de CD/DVD já vem com todo o aparato 1 e 2 montados. Por fim, o experimento é bem simples para a verificação do fenômeno da indução eletromagnética e ainda pode ser considerado de custo praticamente nulo.

Figura 25: Resultado do experimento 4. (a) e (b) Abrindo (puxando) e fechando (empurrando) a sucata para ligar a LED. (c) e (d) Abrindo (puxando) e fechando (empurrando) a sucata para ligar a LED com os polos invertidos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5 Experimento 5 – A blindagem eletromagnética

O objetivo do quinto experimento é comprovar o fenômeno da blindagem eletromagnética por meio do bloqueio do sinal (ondas eletromagnéticas) de celulares.



#### 4.5.1 Materiais para realizar o experimento 5

Os materiais necessários para a realização do experimento 5 estão listados a seguir e podem ser visualizados na Figura 26.

- Papel alumínio (1);
- Dois celulares (2);
- Tesoura (3).

Figura 26: Materiais necessários para o experimento 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5.2 Procedimento do experimento 5

A seguir está o passo-a-passo para a montagem do experimento 5.

Passo 1 – Cortar um pedaço bem grande de papel alumínio com a tesoura;

Passo 2 – Selecionar um celular para o experimento. Esse será enrolado em papel alumínio;

Passo 3 – Fazer uma ligação telefônica do outro celular para o celular escolhido no passo 2. Prosseguir no experimento apenas se tocar a ligação;

Passo 4 – Enrolar o celular selecionado com papel alumínio e cuidar para não deixar nenhuma abertura, enrolando-o em várias voltas;

Passo 5 – Fazer uma ligação telefônica para o celular enrolado e verificar se o mesmo irá tocar. Caso ele ainda toque, então é necessário cortar mais um ou dois pedaços grande de papel alumínio e enrolar o celular novamente.

#### **4.5.3 Análise do experimento 5**

As ondas eletromagnéticas além de se propagarem através do vácuo, também podem atravessar meios materiais, por exemplo, o ar e o vidro. Entretanto, em todos os materiais parte da energia das ondas incidentes é absorvida pela matéria. Principalmente em materiais com alta condutividade, os chamados condutores. Neles, as ondas eletromagnéticas são rapidamente absorvidas, penetrando apenas uma pequena camada do material. Esse fenômeno é chamado de blindagem eletromagnética. Essa blindagem é produzida pelas cargas livres de condução que acabam por atenuar a intensidade dos campos elétrico e magnético da onda incidente, até o ponto de destruir os campos. Uma aplicação fundamental dessa blindagem é que ela pode ser utilizada, por exemplo, para bloquear interferências eletromagnéticas externas para a proteção de equipamentos eletrônicos.

O quinto e último experimento proposto nesse capítulo (a blindagem eletromagnética) busca comprovar esse efeito de blindagem através do bloqueio de sinal em um celular. Popularmente, o celular é definido como um aparelho de comunicação. Para a comunicação entre celulares, eles precisam receber ondas eletromagnéticas (sinal) de uma antena central que faz a ligação necessária.

Para o bloqueio do sinal eletromagnético do celular, esse experimento propõe o enrolamento de um celular em material condutor (papel alumínio). Dessa forma, o aparelho fica blindado (isolado) das ondas enviadas pela antena da operadora. Assim, a experiência é a mais simples e rápida de todas, pois é apenas necessário ligar para este celular enrolado para a verificação que não há sinal nele, ou seja, o aparelho está bloqueado para fazer e receber ligações telefônicas. Devido a fina espessura do papel alumínio, pode ser necessário o enrolamento do celular com várias folhas grandes, por que as ondas incidentes conseguem



atravessar um material condutor até uma certa distância, chamada de distância de penetração. O resultado do experimento 5 é visualizado na Figura 27 através de duas “capturas de tela” na qual é mostrado o recebimento normal de sinal no celular fora do condutor (a). Por outro lado, quando ele está dentro do condutor, o sinal é bloqueado por conta da blindagem eletromagnética (b).

Quanto ao custo do experimento 5, todos os materiais utilizados são de fácil acesso aos estudantes e professores na escola. Somente o papel alumínio pode ser que seja necessário a compra, ele custa, em média, R\$ 5,50. Entretanto só é necessário usar um pouco do material. Portanto, o experimento é bem simples na abordagem de uma aplicação do estudo de ondas eletromagnéticas e ainda pode ser considerado de custo zero pela facilidade de conseguir os materiais necessários.

Figura 27: Resultado do experimento 5. (a) Presença de sinal no celular fora do papel alumínio. (b) Ausência de sinal no celular dentro do papel alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho foi destinado aos professores por entender que eles compõem uma parte fundamental para uma educação de qualidade, onde são eles os responsáveis, em grande parte, por proporcionarem melhoras educacionais. O professor é um facilitador que dispõe de momentos para coordenar atividades em que o aluno leve em conta o que já sabe (subsunçores) e, a partir disso, desenvolva novos aprendizados, constituindo-se em novos saberes. Para tanto, é necessário a incorporações de novas metodologias que visem alcançar de maneira eficaz tais objetivos, como é o caso da utilização de experimentos.

Diante disso, esta monografia foi realizada visando a uma aprendizagem mais significativa do eletromagnetismo, com uma maior ênfase na parte experimental, estabelecendo uma ligação entre as situações práticas vivenciadas pelos alunos e os conceitos fundamentais do eletromagnetismo. Além disso, foi fornecido um material para que os docentes tenham um bom entendimento das equações de Maxwell e que os possibilite a ensiná-las aos estudantes, mesmo que de forma simplificada, esses conceitos tão importantes para o aprendizado do eletromagnetismo.

Todos os experimentos propostos foram testados e comprovados o seu funcionamento. Eles são muito simples de confeccionar e realizar. Além de tudo, o custo dos experimentos foi muito baixo. Muitos dos materiais podem ser encontrados em casa ou na escola e, foi gasto no total R\$ 35,00 para providenciar tudo que precisava para a realização dos cinco experimentos propostos nessa pesquisa. Portanto, o objetivo do trabalho foi alcançado e como perspectiva é esperado que o uso de experimentos de baixo custo seja utilizado na carreira docente como prática constante, pois acredita-se que essa é uma excelente metodologia pedagógica para transformar o ensino de Física no país.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, M. J. **História da Física**. Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2006. 224 p.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, 2003.

ARAÚJO, S. M. **Mapa conceitual sobre eletromagnetismo e indução eletromagnética**. Disponível em:  
< <http://sidneymaiaaraujo.blogspot.com/2010/07/mapa-conceitual-sobre-eletromagnetismo.html> >. Acesso em: 29 jan. 2019.

ARAÚJO, S. M. **Ondas Eletromagnéticas**. Disponível em:  
< <http://sidneymaiaaraujo.blogspot.com/2009/10/ondas-eletromagneticas.html> >. Acesso em: 07 fev. 2019.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Ed. Interamericana. Rio de Janeiro, 1980. 625 p.

BRASIL. **Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996: Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Disponível em:  
< <http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/tvescola/leis/lein9394.pdf> >. Acesso em: 18 fev. 2019.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Física. Brasília, 2001. Disponível em:  
< <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> >. Acesso em 30 jan. 2019.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica: Eletricidade**. Ed. Atual. 2 ed. São Paulo, 1998. 585 p.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Ed. Ática. v. 3, 2 ed. São Paulo, 2013. 312 p.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. Ed. Pearson. 3 ed. São Paulo, 2011. 419 p.

HELOU, R. D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física**. Ed. Saraiva. v. 3, 18 ed. São Paulo, 2007. 464 p.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; BARROS, M. A. **Laboratório caseiro – pára – raios: Um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 1, 2008.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. Ed Centauro. 4 ed. São Paulo, 2011. 114 p.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**. 2 ed. Porto Alegre, 2016. 64 p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. Ed. Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo, 1999. 195 p.

MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Ed. Centauro. São Paulo, 2010. 80 p.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Ed. Plátano. Lisboa, 1984. 212 p.

PEÑA, A. O. *et al.* **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. Ed. Loyola. São Paulo, 2005. 238 p.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da Física**. Ed. Livraria da Física. 1 ed. São Paulo, 2008. 479 p.

RAMALHO, F. J.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física**. Ed. Moderna. v. 3, 10 ed. São Paulo, 2009. 472p.