



*UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS*



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

ESTUDO EXPERIMENTAL DA INDUÇÃO MAGNÉTICA

Willian Nardelli

Prof. Dr. Francisco José dos Santos

Rio Claro (SP)

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

WILLIAN NARDELLI

ESTUDO EXPERIMENTAL DA INDUÇÃO MAGNÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Licenciado em Física.

Rio Claro - SP

2012

538 Nardelli, Willian
N223e Estudo experimental da indução magnética / Willian
Nardelli. - Rio Claro : [s.n.], 2012
46 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Física) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Francisco José dos Santos

1. Magnetismo. 2. Ímãs. 3. Lei de Faraday-Lenz. I. Título.

WILLIAN NARDELLI

ESTUDO EXPERIMENTAL DA INDUÇÃO MAGNÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Comissão Examinadora

Professor Doutor Francisco José dos Santos (orientador)

Professor Doutor Gerson Antonio Santarine

Professor Doutor Ricardo Paupitz B. dos Santos

Rio Claro, 21 de Novembro de 2012.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

Neste trabalho será discutido como podem ser produzidos os campos magnéticos, tanto por ímãs, natural ou artificial, ou senão pela passagem de corrente elétrica em um fio, como descoberto por Oersted. Além do conteúdo teórico, serão realizados estudos experimentais sobre a indução magnética e sobre as Leis de Faraday e de Lenz. No experimento de indução magnética serão realizadas medidas da força eletromotriz gerada pela variação do fluxo do campo B em um solenóide em função da variação da intensidade da corrente e da frequência a ela associada; no experimento sobre as Leis de Faraday e de Lenz, pretende-se verificar a força eletromotriz produzida pelo movimento relativo do ímã em relação a uma bobina. Desta maneira, este trabalho tem como objetivo: verificação experimental da indução magnética utilizando-se solenóides e ímãs; análise da indução magnética pela Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Palavras-chave: Ímãs; Campos magnéticos; Indução magnética; Lei de Faraday-Lenz.

ABSTRACT

This work will discuss how magnetic fields can be produced, either generated by magnets, natural, artificial, or even by an electric current going through a wire, as discovered by Oersted. Besides the theoretical content, experimental studies on magnetic induction and on the Laws of Faraday and Lenz will be performed. In the Magnetic Induction experiment, the electromotive force generated by varying the flow of the field B in a solenoid, depending on the variation of the current intensity and frequency associated with it will be measured; the experiment on the Laws of Faraday and Lenz the electromotive force produced by the relative movement of the magnet in relation to a coil. Thus, this study experimental verification of magnetic induction using solenoids and magnets; analysis of magnetic induction by Faraday's Law and Lenz's Law.

Keywords: Magnets, Magnetic fields, magnetic induction, Lenz-Faraday's Law.

SUMÁRIO

1 HISTÓRIA.....	1
2 MAGNETISMO.....	4
2.1 Ímã.....	4
2.1.1 Regiões polares.....	6
2.1.2 Atração e repulsão.....	7
2.1.3 A bússola.....	8
2.1.4 Massa magnética.....	9
2.1.5 Pólo de um ímã.....	9
2.2 Campo magnético.....	10
2.2.1 Linha de força.....	10
2.2.2 Espectro magnético.....	11
2.2.3 Características do vetor campo H.....	12
2.2.4 Densidade de fluxo magnético.....	13
2.2.4.1 Linhas de indução magnética.....	13
2.2.5 Fluxo magnético.....	14
2.2.5.1 Variação do fluxo magnético.....	15
2.2.6 Indução magnética.....	15
2.2.7 Suscetibilidade magnética.....	17
2.2.8 Classificação das substâncias magnéticas	18
2.2.8.1 Substâncias paramagnéticas.....	18
2.2.8.2 Substâncias diamagnéticas.....	18

2.2.8.3 Substâncias ferromagnéticas.....	18
3 ELETROMAGNETISMO.....	20
3.1 Experimento de Oersted.....	20
3.2 Sentido do vetor campo magnético.....	22
3.3 Lei de Biot-Savart.....	23
3.3.1 Campo criado no centro de um condutor circular.....	24
3.3.2 Campo magnético criado por um condutor retilíneo.....	25
3.4 Indução magnética no campo produzido por uma corrente elétrica.....	25
3.5 Força exercida sobre um condutor.....	26
3.6 Indução eletromagnética.....	27
3.6.1 Lei de Faraday.....	27
3.6.2 Lei de Lenz.....	28
4 EXPERIMENTOS.....	29
4.1 Indução eletromagnética.....	29
4.2 Conversão de energia potencial gravitacional em energia elétrica.....	35
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. HISTÓRIA

Os fenômenos magnéticos sempre existiram, porém suas primeiras observações só foram feitas pelos gregos numa cidade asiática conhecida como Magnésia. Os gregos notaram que nesta região existia uma pedra que atraía pedaços de ferro. Atualmente, sabe-se que estas pedras são denominadas magnetitas e segundo alguns historiadores, o nome é devido à sua cidade de origem.

Acredita-se que no século VI a.C. se deu origem ao estudo do magnetismo. Naquela época, Tales de Mileto - quando estava em uma viagem pelo continente, mais precisamente na província de Tessália (mais tarde conhecida como Magnésia), na Grécia - teve a oportunidade de notar que algumas pequenas pedras tinham uma característica bem peculiar: podiam atrair tanto materiais de ferro como atrair com outras pedras de mesma característica.

Curioso com o fenômeno, Tales de Mileto foi a primeira pessoa a tentar explicar tal acontecimento. Segundo Tales, a magnetita – mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III presente no solo – tinha uma espécie de ‘alma’ e que poderia comunicar na forma de ‘vida’ com o material constituído de ferro, que então, também tinha o poder de atração.

Há outra versão. Segundo Plínio, O Velho (23 – 79), o nome da cidade de Magnésia se deu por conta de uma descoberta feita pelo grego Magnes, pastor de ovelha na região da Tessália, pois quando este estava fazendo um pastoreio pela região, observou que a ponta de ferro do seu cajado era atraída por algumas pedras ao longo do caminho.

Neste momento surge o magnetismo, pois segundo alguns autores, o nome ‘magnetismo’ derivou-se do nome da região (Magnésia). Porém, para outros autores, o termo ‘magnetismo’ derivou-se do nome do pastor de ovelhas que constatou o primeiro fenômeno “magnético”.

De fato, nota-se que existem várias aplicações do magnetismo no cotidiano. Porém, naquela época, não havia muitos conhecimentos sobre estas aplicações práticas. A criação de um precursor da bússola – uma colher feita de magnetita que,

colocada em equilíbrio sobre um ponto de apoio central, podia mover-se livremente – pelos chineses foi o primeiro relato.

Até o século XIII, estes fenômenos não despertaram tanto interesse. Neste século começaram a surgir trabalhos e observações a respeito da eletricidade e do magnetismo e concluiu-se que teriam naturezas distintas. Estas conclusões perduraram até dois séculos atrás. Entre os séculos XIII e XIX, houve vários trabalhos, como:

- Em 1269, Pierre de Maricourt descreveu com precisão muitos experimentos associados ao fenômeno de magnetismo.
- Em 1600, houve a publicação de um livro chamado De Magnete que continha todo o trabalho do cientista inglês William Gilbert. Neste livro, Gilbert explicou o comportamento da bússola, sugerindo que a Terra tivesse um comportamento igual ao de um ímã, porém de dimensão gigantesca. Outra questão relevante no livro, é que Gilbert verificou a perda das propriedades magnéticas quando aquecia um ímã.

Os próximos avanços na área do magnetismo só seriam possíveis devido a um avanço significativo na área da eletricidade. Nesta época, por volta de 1800, houve a criação da pilha por Alexandre Volta. A criação de uma pilha e, conseqüentemente, a existência de uma fonte duradoura de energia elétrica se mostrou importante para que o físico e químico Hans Christian Oersted.

Oersted demonstrou de maneira clara em 1820, algo que muitas pessoas já suspeitavam: uma íntima relação entre os fenômenos elétricos e os fenômenos magnéticos. Por se tratar de algo esplendido na época, Oersted fez um experimento que comprovou que correntes elétricas provocam efeitos magnéticos ao seu redor alterando a orientação de bússolas em suas proximidades. Este experimento é um marco na História da Física. Oersted foi homenageado e este experimento recebeu seu nome: “A Experiência de Oersted”.

Neste momento, conclui-se que tanto o magnetismo como a eletricidade estavam intimamente relacionados. A partir da Experiência de Oersted, surgiu o termo eletromagnetismo. Então, os trabalhos seguintes foram para uma melhor compreensão deste novo conceito.

O passo seguinte à experiência de Oersted foi a descoberta da indução magnética. O inglês Michael Faraday juntamente com o estadunidense Joseph Henry trataram de ter uma resposta ao experimento de Oersted. Para isso, eles pensaram que se eletricidade é capaz de produzir um fenômeno magnético, o inverso também seria verdade? Para obter esta resposta, Faraday realizou vários estudos de forma exaustiva para concluir seu pensamento. Devido à grande devoção de Faraday ao assunto, historicamente credita-se a ele este feito.

Faraday não foi importante somente para a indução magnética, mas também no conceito de campo, conceito no qual se mostrou essencial para a realização do trabalho de James Clerk Maxwell.

Antecedendo o trabalho de Maxwell, podemos notar que houve outros trabalhos essenciais na área do magnetismo, entre eles podemos citar:

- As contribuições de Heirinch Friedrich Emil Lenz em 1833 (Lei de Lenz);
- A grandeza de fluxo magnético (o Weber) em homenagem ao cientista Wilhelm Eduard Weber entre os anos de 1823 e 1831;
- O trabalho do matemático Franz Ernst Neumann em 1831(Lei de Faraday-Neumann-Lenz);
- O estudo feito por Carl Friedrich Gauss sobre a relação entre fluxo magnético e carga elétrica em 1835 (Lei de Gauss).

Por último, como citado anteriormente, o trabalho de Maxwell conseguiu explicar todo o conhecimento empírico sobre magnetismo e eletricidade. Maxwell ficou famoso devido às quatro equações que compõe a base do eletromagnetismo.

2. MAGNETISMO

O magnetismo tem sua origem na organização dos spins dos elétrons. Analisando cada spin dos elétrons nos átomos, é possível entender que cada um tem o mesmo comportamento que de um pequeno ímã natural para todos os materiais. Por ter este comportamento, este fenômeno é conhecido como domínio. Se durante a formação de um material os spins possuem uma orientação em vários sentidos, os efeitos magnéticos dos domínios são anulados, resultando em um material sem magnetismo natural.

Mas se, durante a formação do material, os spins possuírem uma orientação única ou predominante, os efeitos magnéticos de cada domínio são somados, dando origem a um ímã com propriedades magnéticas naturais.

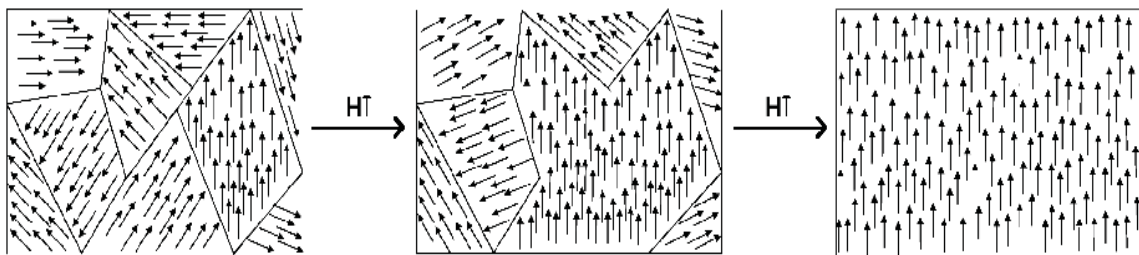


Figura 1 - Domínios magnéticos se alinhando conforme a presença de um campo magnético. Fonte: www.efisica.if.usp.br

No caso de ímãs artificiais, durante a sua fabricação as moléculas desordenadas sofrem um processo de orientação por meio de forças externas.

Para a compreensão do magnetismo de um modo geral, é necessário entender como funcionam todas as partes envolvidas nele. Por isso, neste capítulo, será analisada cada parte que o envolve.

2.1. Ímã

O ímã, também conhecido como magneto, é um objeto que cria um campo magnético à sua volta. Por ser encontrada na própria natureza, a magnetita ficou

conhecida como um ímã natural, porém é possível que outros corpos que usualmente não são ímãs se tornem ímãs. Os ímãs obtidos desta maneira são considerados artificiais. Este processo se dá pela imantação do material, ou seja, um corpo que é neutro pode se tornar um ímã.

Como dito anteriormente, o processo de qualquer corpo neutro se transformar em um ímã é teórico, pois, em sua grande maioria, estes corpos oferecem uma grande resistência ao processo de imantação. Ao contrário, o ferro e algumas ligas de ferro, que são facilmente imantadas, auxiliam na fabricação de ímãs permanentes.

Abaixo serão listados os principais processos de imantação:

- Indução Magnética: fenômeno do qual uma barra de ferro se imanta quando próxima de um ímã.
- Atrito: quando uma barra de ferro neutra é colocada em contato com um ímã e depois atritada sempre em um mesmo sentido. Caso for atritada em ambos os sentidos, a imantação de um desfaz a do outro. Por isso deve-se sempre atritar num mesmo sentido.
- Corrente Elétrica: quando um condutor é enrolado em uma barra de ferro e percorrido por uma corrente elétrica, a barra de ferro se torna um ímã. Neste caso, como a imantação foi obtida por meio de uma corrente elétrica, o nome deste ímã é eletroímã. Em relação aos ímãs naturais, os eletroímãs podem ser muito mais potentes e também, é possível ter um verdadeiro controle deste eletroímã. Assim, aumentando a intensidade da corrente, obtém-se um ímã mais potente; suprimindo a corrente, ele deixa de funcionar.

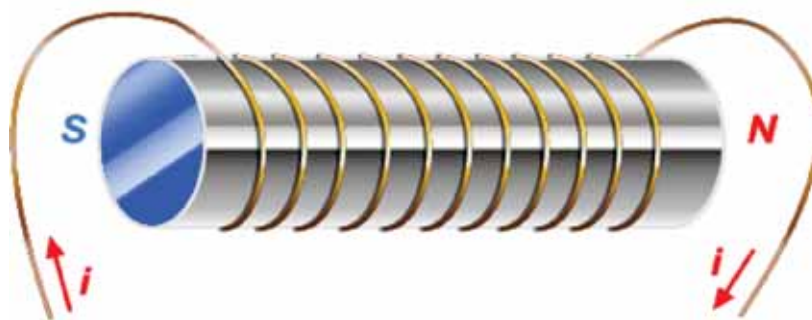


Figura 2 - Imagem ilustrativa de um eletroímã. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Depois do período de imantação, ocorre a verificação das características do ímã por meio de suas propriedades físicas. Caso este ímã permaneça com as propriedades magnéticas por muito tempo, durando por muitos anos, ele é considerado um ímã permanente. Contrário ao ímã permanente, ou seja, um ímã que perde as propriedades físicas logo após a imantação é considerado um ímã temporal ou transitório. Exemplos de ímã temporal são os eletroímãs e de ímãs permanente, os ímãs naturais.

2.1.1. Regiões Polares

Um ímã tem propriedades magnéticas em toda sua região, porém os fenômenos magnéticos são mais fáceis de serem vistos nas extremidades. Desta maneira, essas regiões são chamadas de polares. Quando o ímã é do tipo barra, somente as suas extremidades são polares e, portanto, a parte central possui menos efeitos magnéticos. Pela ausência dos efeitos magnéticos, denomina-se esta parte de região neutra.

Quando um ímã é suspenso pelo seu centro de gravidade em presença de um campo magnético externo, este entra em oscilação até atingir um equilíbrio. No ponto de equilíbrio, as regiões polares se encontram voltadas para os pólos geográficos da Terra.

Denomina-se região polar norte do ímã àquela que é voltada para o pólo norte geográfico da Terra; região polar sul àquela que é voltada para o pólo sul geográfico.

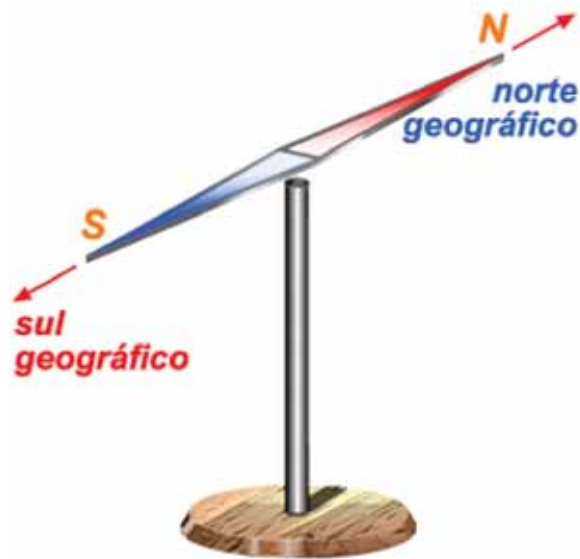


Figura 3 - Ímã suspenso indicando as suas polaridades de acordo com os pólos geográficos da Terra. Fonte: www.efisica.if.usp.br

2.1.2. Atração e Repulsão

Quando dois ímãs são suspensos pelos seus respectivos centros de gravidade e são aproximados de todas as maneiras possíveis, as duas regiões de mesmo nome se repelem (repulsão) e de nomes contrários se atraem (atração).

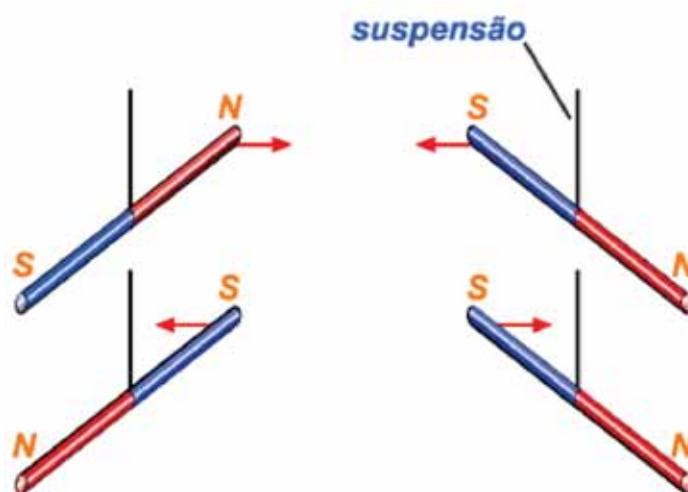


Figura 4 - Na parte superior da imagem verifica-se a atração de dois ímãs, já na parte inferior a repulsão. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Por meio desta experiência e dos critérios adotados, pode-se concluir que o pólo norte geográfico da Terra corresponde a uma região polar sul magnética; e que o pólo sul geográfico é uma região polar norte magnética.

Devido à propriedade dos ímãs, de se orientarem para os pólos terrestres, eles são comumente usados como bússolas.

2.1.3. A Bússola

Com o objetivo de ser um instrumento para orientação geográfica sobre a superfície da Terra, a bússola foi projetada em referência a rosa dos ventos, que é composta de pontos cardeais, colaterais e subcolaterais. Em sua composição, a bússola possui uma agulha magnética que é atraída para os pólos magnéticos da Terra.

Desenvolvida em 2000 a.C. a bússola sofreu um avanço quando se descobriu que uma lâmina metálica podia ser magnetizada. Em 850 d.C., em busca de uma maior precisão, os chineses conseguiram um protótipo da bússola usada atualmente.



Tratando-se de um instrumento de grande importância na navegação, a bússola é composta por uma cápsula transparente e dentro tem uma agulha magnetizada. A agulha aponta sempre para o polo norte magnético da Terra, pois, em razão da grande quantidade de ferro derretido no interior da Terra, a Terra funciona como um ímã e atrai a agulha magnetizada da bússola.

Figura 5 – Bússola. Fonte: www.efisica.if.usp.br

2.1.4. Massa Magnética

Como em Eletrostática há o conceito de carga elétrica para medir a força entre corpos eletrizados, no Magnetismo, de forma análoga, é introduzido o conceito de massa magnética para que se possa medir a força entre corpos imantados. Neste estudo, as massas magnéticas serão tratadas como puntiformes, ou seja, é aquela que está contida numa região polar onde as dimensões possam ser desprezadas. Ou de forma simplificada, a região polar se reduz a um simples ponto.

2.1.5. Pólos de um ímã

Como citado antes, as forças de atração magnética de um ímã manifestam-se com maior intensidade nos seus extremos. Por isso, denomina-se que as extremidades são chamadas de pólos magnéticos, tanto pólo sul como pólo norte.

Outro ponto importante sobre os pólos dos ímãs é que não é possível separá-los. Quando um ímã é cortado, os pólos norte e sul não ficam isolados, ou seja, na parte que corresponde ao pólo norte aparece um novo pólo sul; e na parte correspondente ao pólo sul primitivo surge um novo pelo norte. Na natureza é impossível encontrar-se um único pólo magnético sul ou norte, eles só existem em pares, ou seja, na forma de ímã.

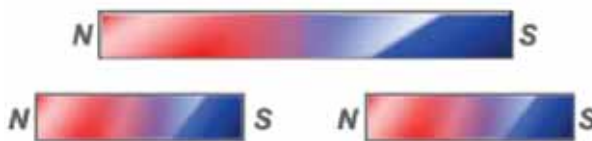


Figura 6 - Representação dos pólos magnéticos de um ímã e a inseparabilidade dos seus pólos. Fonte: www.efisica.if.usp.br

2.2. Campo Magnético

Campo magnético ocorre em uma região que tem massa magnética, e, dentro da qual ela consegue exercer ações magnéticas. Como na natureza não existe massa magnética isolada, pois todo pólo norte sempre está com o pólo sul do mesmo ímã ou vice versa, deste modo, o campo magnético do pólo norte sempre é influenciado pelo pólo sul do mesmo ímã.

2.2.1. Linha de força

Quando existe um campo magnético, ele pode ser representado por linhas de campo magnético, tal que os vetores do campo em cada ponto são sempre tangentes a linha de força.

Aqui, pode ser feita uma analogia com a definição de linha de força do campo eletrostático, porque as características das linhas de força do campo magnético são idênticas as das linhas de força do campo eletrostático:

- Duas linhas de força de um campo magnético nunca se cruzam.
- Para um campo magnético produzido por uma massa magnética somente, as linhas de força seriam retilíneas. Já as linhas de força de um campo produzido por mais de uma massa magnética são curvas. Portanto, pode-se concluir que os ímãs possuem linhas de força curvas.
- Convenção de que as linhas de força 'saem' do polo norte e 'entram' no polo sul.

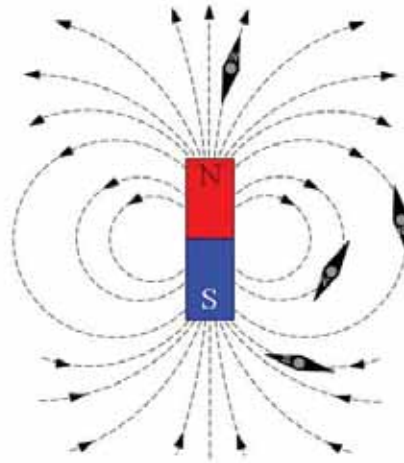


Figura 7 - Representação das linhas de força em um ímã. Fonte: www.efisica.if.usp.br

2.2.2. Espectro Magnético

Espectro magnético é a figura obtida com a limalha de ferro disposta ao longo das linhas de força de um campo magnético. Para obter um espectro magnético basta colocar uma folha de papel sobre um ímã; depois espalhar sobre esta folha um pouco de limalha de ferro. Estes pequenos pedaços de ferro se imantam e, portanto, cada um deles se torna ímã. Assim, o polo norte de cada pedaço de ferro é atraído pelo polo sul do pedaço vizinho e formando cadeias de ímã.

Essas formações de cadeias estão dispostas justamente ao longo das linhas de força. Através da imagem abaixo, é possível observar o espectro magnético.



Figura 8 - Espectro magnético. Fonte:

2.2.3. Características do vetor campo H

2.2.3.1. Significado Físico

H é o quociente de uma força por uma massa magnética.

2.2.3.2. Módulo

Neste cálculo, a massa magnética M que produz o campo é puntiforme. Assim, prova-se que, sendo d a distância da massa magnética M ao ponto P, o módulo do campo no ponto P é:

$$|\vec{H}| = \frac{1}{\mu} \frac{|M|}{d^2}$$

Onde μ é a permeabilidade magnética do meio em que o campo é produzido.

2.2.3.3. Direção

O vetor \vec{H} possui a mesma direção que a reta MA ilustrada no esquema da figura 9.

2.2.3.4. Sentido

Como existem dois pólos, o sentido muda. Quando a massa magnética é positiva, ou seja, a massa referente ao polo norte, o sentido de \vec{H} é MA. Mas, quando a massa magnética for negativa, ou seja, a massa referente ao polo sul, o sentido de \vec{H} é AM.

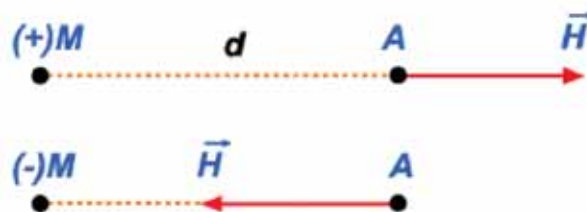


Figura 9 - Sentidos do vetor \vec{H} . Fonte: www.efisica.if.usp.br

2.2.4. Densidade de fluxo magnético

No campo magnético existem duas grandezas vetoriais que desempenham papéis importantíssimos. Um é o vetor campo magnético \vec{H} , já o outro é chamado de indução magnética, ou densidade de fluxo magnético, também representado por \vec{B} .

Por definição, chama-se indução magnética em um ponto o produto da permeabilidade magnética do meio pelo campo magnético no mesmo ponto. Isto é,

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

Como característica de \vec{B} , a direção e o sentido da indução magnética são a mesma que a do campo magnético \vec{H} . Admitindo-se que o campo seja provocado por uma massa magnética puntiforme, tem-se que:

$$|\vec{B}| = \frac{|\vec{M}|}{d^2}$$

Pode-se concluir que, quando o campo magnético é gerado por um ímã, a indução magnética \vec{B} em um ponto qualquer depende apenas da massa magnética que produz este campo e da distância entre o ponto e a massa magnética, portanto, não depende do meio.

2.2.4.1. Linhas de Indução Magnética

Quando o vetor indução magnética é tangente em todos os pontos com a linha de força, esta linha é conhecida como linha de indução.

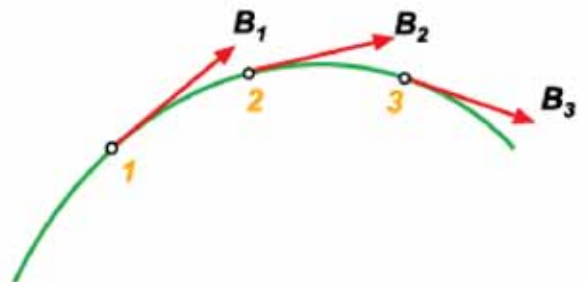


Figura 10 - Linhas de indução.

Fonte: www.efisica.if.usp.br

Como o vetor \vec{B} tem a mesma direção que o vetor \vec{H} , pode-se dizer que a linha de indução em cada ponto também é tangente ao vetor \vec{H} .

Concluí-se que as linhas de indução coincidem com as linhas de força, mas quando a referência for o campo magnético \vec{H} usa-se a expressão linhas de força; quando a referência for a indução magnética \vec{B} usa-se o termo linhas de indução.

Então, devido a estas mesmas características, as linhas de indução em um campo magnético uniforme são retas e paralelas.

2.2.5. Fluxo Magnético

Supondo uma superfície plana de área A colocada em um campo magnético uniforme de indução magnética \vec{B} . Seja n a normal à superfície e θ o ângulo que a normal à superfície faz com a direção do campo, idêntica a \vec{B} .

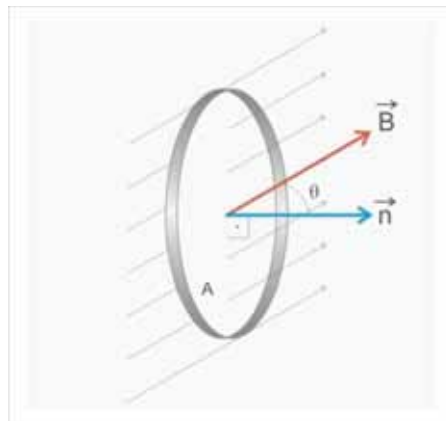


Figura 11 - Fluxo magnético. Fonte: www.efisica.if.usp.br

O fluxo magnético é o produto do módulo de indução magnética pela área da superfície e pelo cosseno do ângulo que a normal à superfície faz com a direção do campo. A letra que representa o fluxo magnético é Φ . Então,

$$\Phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \theta$$

2.2.5.1. Variação do fluxo magnético

Quando é analisado o fluxo magnético, é evidente que este possa sofrer variação. Esta variação pode ser causada de três modos:

- Variação da área da superfície;
- Variação da indução magnética;
- Variação da posição da superfície no campo.

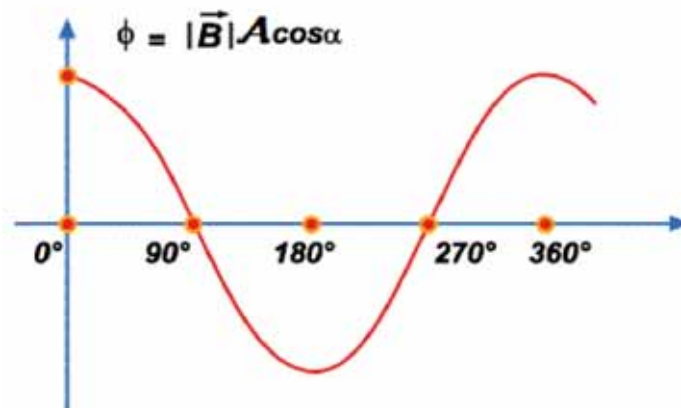


Figura 12 - Mudança na posição da superfície faz com que ocorra uma variação no fluxo. Fonte: www.efisica.if.usp.br

A variação do fluxo magnético é importante porque ele é responsável pelo fenômeno de indução eletromagnética, que será estudado nos capítulos seguintes.

2.2.6. Indução magnética

A indução magnética é um fenômeno que ocorre pelo qual um corpo se imanta quando é colocado próximo de um ímã já existente.

Para saber a nomenclatura, o corpo que já estava imantando é chamado de indutor e o corpo que se imanta por indução é chamado de induzido.

Supondo que um indutor produza um campo magnético \vec{H} e é colocada neste campo uma barra de um material magnético, essa barra se imantarà e por consequência, aparecerão os pólos N e S.

Há duas situações de imantação: na primeira situação, é colocada uma barra de ferro (ou chumbo ou alumínio) no campo indutor \vec{H} . Nestas condições, surgirão os pólos N e S de acordo com a imagem abaixo.

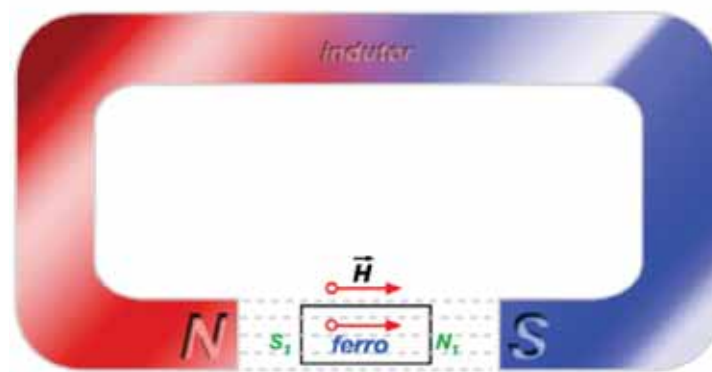


Figura 13 - Primeira situação. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Como a intensidade de imantação de um ímã tem sempre o sentido do polo sul para o polo norte, neste caso a intensidade de imantação do induzido é no sentido SN. Pode-se dizer que a intensidade de imantação \vec{I} tem o mesmo sentido que o campo indutor \vec{H} .

A segunda situação ocorre quando muda o material da barra. Ao invés de colocar ferro, coloca-se uma barra de cobre (ou bismuto ou grafite). Nessas condições inverte-se o sentido de imantação, ou seja, o sentido de imantação fica oposto ao sentido do campo indutor \vec{H} .

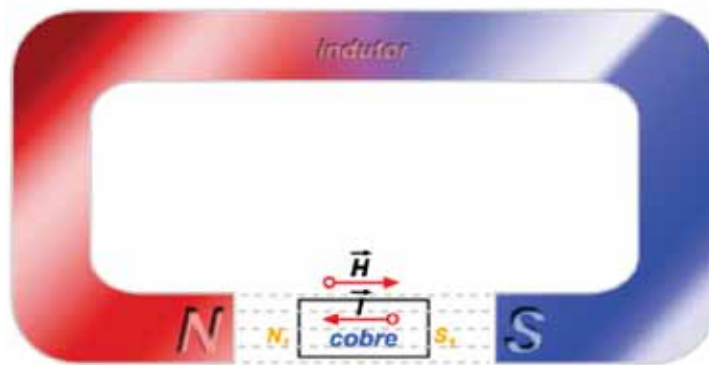


Figura 14 - Segunda situação. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Estas relações entre a intensidade de imantação \vec{I} e o campo \vec{H} são muito importantes, pois estão intimamente relacionadas com a suscetibilidade magnética.

2.2.7. Suscetibilidade Magnética

O quociente da intensidade de imantação do induzido pelo campo indutor define a suscetibilidade magnética.

Comumente representada pela letra grega χ (chi), tem:

$$\vec{I} = \chi \cdot \vec{H}$$

Agora é possível analisar a indução das barras do item anterior.

Quando χ é positivo, \vec{H} e \vec{I} possuem o mesmo sentido, ou seja, a primeira situação.

Já quando χ é negativo, \vec{H} e \vec{I} possuem sentidos opostos, então ocorre a segunda situação.

2.2.8. Classificação das substâncias magnéticas

As substâncias magnéticas dividem-se em três grupos, dependendo da suscetibilidade magnética de cada substância.

2.2.8.1. Substâncias Paramagnéticas

São aquelas que têm a suscetibilidade magnética positiva e constante. Então se conclui que:

- χ positiva indica que \vec{I} e \vec{H} possuem o mesmo sentido.
- χ constante significa que \vec{I} e \vec{H} são diretamente proporcionais, ou seja, quanto mais forte for o campo indutor, maior será a imantação.

Exemplos de substâncias paramagnéticas: alumínio, chumbo, cloreto cúprico, oxigênio, etc.

2.2.8.2. Substâncias Diamagnéticas

São aquelas que têm suscetibilidade magnética negativa e constante. Então se conclui que:

- χ negativa indica que \vec{I} e \vec{H} possuem sentidos opostos.
- χ constante significa que \vec{I} e \vec{H} são diretamente proporcionais.

Exemplos de substâncias diamagnéticas: grafite, bismuto, cobre, prata, mercúrio, nitrogênio, etc.

2.2.8.3. Substâncias Ferromagnéticas

São aquelas que têm suscetibilidade magnética positiva, porém não constante. Neste caso, a suscetibilidade magnética varia conforme o campo indutor. Então conclui-se que:

- χ positiva indica que \vec{I} e \vec{H} possuem o mesmo sentido.

- X variável significa que \vec{I} e \vec{H} não são mais proporcionais.

O que relaciona \vec{I} e \vec{H} é um ciclo chamado de histerese. Nota-se que neste ciclo, quando imanta uma substância, ela jamais deixará de ser imantada sem a presença de um campo indutor.

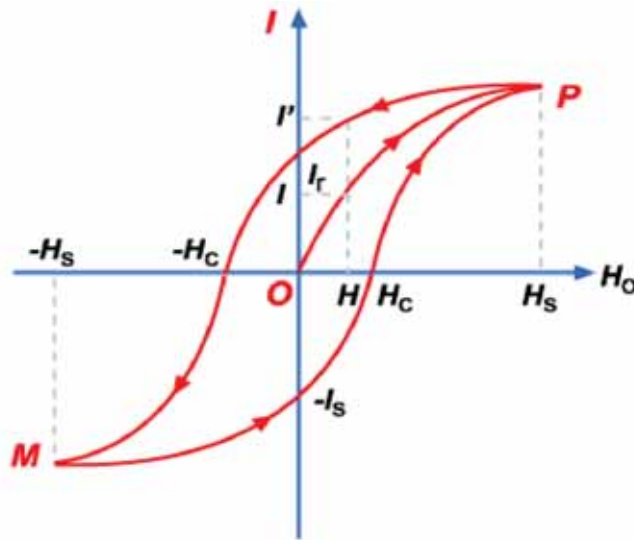


Figura 15 - Ciclo de Histerese. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Outra ressalva que deve ser feita é que, como já dizia Gilbert, quando se aquece um ímã, mais precisamente uma substância ferromagnética, ele perde suas propriedades magnéticas.

Pierre de Curie foi o responsável por esta descoberta que atualmente é conhecido como Ponto de Curie ou Temperatura de Curie.

Substância Ferromagnética	Temperatura de Curie (°C)
Ferro	770
Níquel	365
Cobalto	1075
Gadolínio	15
Disprósio	-185,15

Tabela 1 - Algumas substâncias ferromagnéticas e seus respectivos valores de temperatura de Curie.

3. ELETROMAGNETISMO

Por definição, o eletromagnetismo é conhecido por estudar alguns fenômenos que possuem intervenção de corrente elétrica juntamente com campo magnético. Ou seja, é a teoria unificada que explica a relação entre magnetismo e eletricidade. Neste caso, estes fenômenos são conhecidos como fenômenos eletromagnéticos.

Apesar de parecerem numerosos, os fenômenos eletromagnéticos importantes neste trabalho são apenas três:

- Quando a corrente elétrica passa por um condutor é produzido um campo magnético ao redor deste condutor.
- Quando um condutor, percorrido por uma corrente elétrica, é colocado em um campo magnético, este condutor fica sujeito a uma força.
- Supondo um condutor fechado num campo magnético, tem-se que a sua superfície é atravessada por um fluxo magnético. A variação deste fluxo produz uma corrente elétrica no condutor. Este fenômeno é conhecido como indução eletromagnética.

3.1. Experimento de Oersted

No ano de 1819, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted observou que quando se colocava uma bússola próxima de uma corrente elétrica, a agulha dessa bússola sofria uma deflexão da sua posição inicial.

Deste modo, foi a primeira vez que se observou o aparecimento de um campo magnético devido à uma corrente elétrica. Este deslocamento da agulha da bússola só é explicado pela formação de um campo magnético ao redor do condutor onde passa uma corrente elétrica.

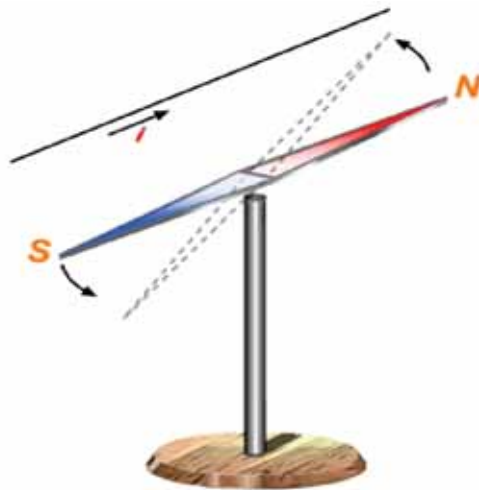


Figura 16 - Experimento de Oersted. Fonte: www.efisica.if.usp.br

O experimento de Oersted é facilmente montado. É necessário:

- Condutor retilíneo;
- Agulha imantada (bússola);
- Reostato: controla a intensidade da corrente;
- Acumulador: fornece corrente;
- Chave ou interruptor: abrir e fechar o circuito.

O condutor retilíneo deve ser colocado paralelamente a agulha da bússola. Para montar este circuito, liga-se o condutor em série com: a bateria, o reostato e a chave.

Quando a chave está aberta, a agulha da bússola se mantém paralela ao condutor, mas quando a chave é fechada, passa corrente no condutor produzindo um campo magnético ao redor do condutor, então a agulha sofre uma deflexão.

3.2. Sentido do vetor campo magnético

Quando há um campo magnético causado por uma corrente elétrica, de forma análoga ao campo criado por um ímã, pode-se calcular a sua intensidade, direção e sentido deste vetor campo (\vec{H}) em um ponto qualquer.

Primeiramente, será demonstrada uma regra prática que indica o sentido deste vetor campo magnético. Esta regra é conhecida como regra da mão direita e pode ser aplicada de duas maneiras:

- Quando o condutor é retilíneo, deve-se colocar o polegar da mão direita esticado sobre o condutor no sentido da corrente elétrica e fechar os outros dedos sobre o fio, de forma que estes dedos 'abracem' o condutor. O sentido apontado pelos quatro dedos é o sentido do vetor campo magnético.

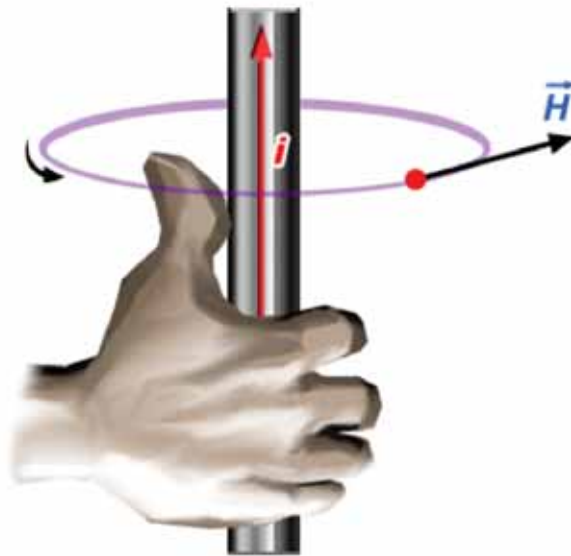


Figura 17 - Regra da mão direita. Fonte: www.efisica.if.usp.br

- Para condutores curvilíneos, os quatro dedos da mão direita ficam no mesmo sentido da corrente elétrica, enquanto o polegar esticado indica o sentido do vetor campo magnético.

3.3. Lei de Biot-Savart

Como foi citado que existe um campo magnético ao redor de um condutor retilíneo ou curvo, pode-se calcular o campo magnético em um determinado ponto, usando-se a Lei de Biot-Savart.

Supondo um condutor AB sendo percorrido por uma corrente elétrica i . Esta corrente produzirá um campo magnético. Para determinar o vetor campo magnético em um ponto M qualquer, deve-se dividir o comprimento de condutor AB em partes menores, ou seja, dividir em um número muito grande de partes. Assim, pode ser calculado, no ponto M, o campo magnético criado por cada parte. Após este cálculo, realiza a soma vetorial de todos esses campos para que seja obtido o campo \vec{H} total.

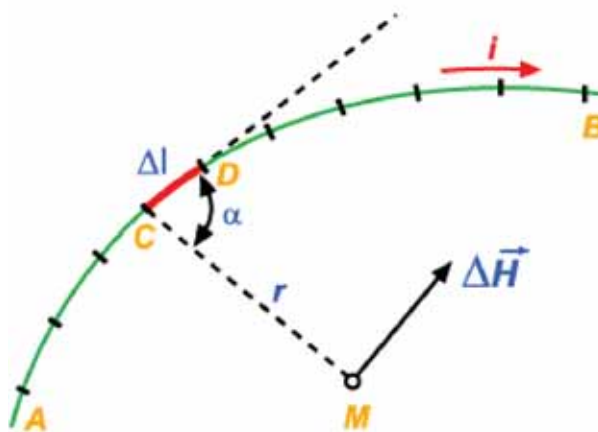


Figura 18 - Condutor dividido em partes menores para o cálculo do vetor campo magnético no ponto M. Fonte: www.efisica.if.usp.br

Supondo um elemento ΔL qualquer do condutor e seja r a distância entre este elemento ao ponto M. O ângulo entre a direção de ΔL e a distância CM é α .

A Lei de Biot-Savart diz que o campo magnético ΔH produzido por ΔL em M:

- É independente do meio em que se encontram;
- É independente da ação, ao mesmo tempo, de outros corpos magnéticos sobre o ponto M;
- Tem direção perpendicular ao plano criado por M e ΔL ;

- O módulo é dado por:

$$|\overrightarrow{\Delta H}| = \frac{i \cdot \Delta L \cdot \sin \theta}{r^2}$$

3.3.1. Campo criado no centro de um condutor circular

Um condutor circular de raio R seja percorrido por uma corrente elétrica i , produz um campo magnético. Para determinar o valor deste campo magnético, deve-se analisar o campo que um elemento qualquer de comprimento ΔL produz no ponto M localizado no centro deste condutor circular. Pela Lei de Biot-Savart:

$$|\overrightarrow{\Delta H}| = \frac{i \cdot \Delta L \cdot \sin \theta}{r^2}$$

Mas, neste caso:

$$r = R \text{ e } \alpha = 90^\circ$$

Como $\sin 90^\circ = 1$, fica:

$$|\overrightarrow{\Delta H}| = \frac{i \cdot \Delta L}{R^2}$$

Ao analisar todos os comprimentos infinitesimais, nota-se que o campo magnético criado por eles são de mesmo sentido e mesma direção, portanto, o campo magnético resultante terá uma única direção, um único sentido e o módulo é dado pela soma vetorial de todos elementos de comprimento ΔL , tal que:

$$|\vec{H}| = \sum |\overrightarrow{\Delta H}| = \sum \frac{i \cdot \Delta L}{R^2} = \frac{i}{R^2} \sum \Delta L$$

Neste caso, se tratando de um condutor circular, tem que o seu comprimento é de $\sum \Delta L = 2\pi R$. Portanto, o campo criado por um condutor circular é:

$$|\vec{H}| = \frac{2\pi i}{R}$$

3.3.2. Campo magnético criado por um condutor retilíneo

Supondo um condutor retilíneo de comprimento infinito sendo percorrido por uma corrente elétrica i , haverá um campo magnético.

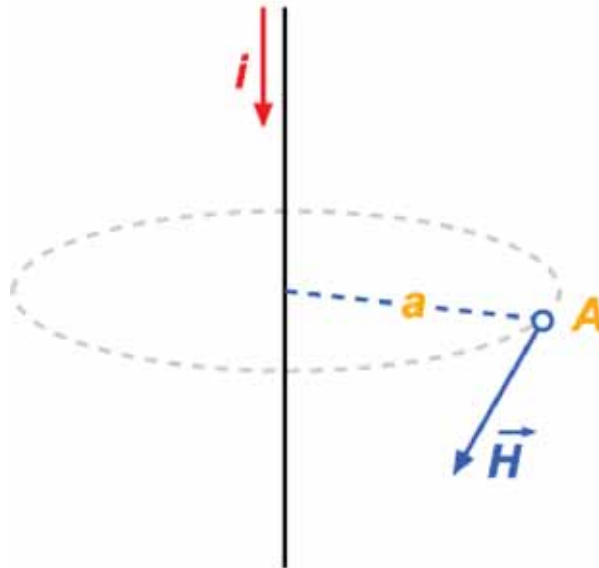


Figura 19 - Condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i . Fonte: www.efisica.if.usp.br

Assumindo as características da imagem acima, o campo magnético criado por este condutor possui:

- Direção: perpendicular ao plano determinado pelo ponto A e o condutor;
- Sentido: é dado pela regra da mão direita;
- Módulo:

$$|\vec{H}| = \frac{2i}{a}$$

3.4. Indução magnética no campo produzido por uma corrente elétrica

A indução magnética é o produto da permeabilidade magnética do meio (μ) no qual a corrente elétrica produz o campo com o módulo do campo magnético (\vec{H}).

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

Nota-se que na expressão da indução magnética aparece a permeabilidade magnética (μ), que depende do meio. Então, conclui-se que a indução magnética depende do meio quando o campo é criado por uma corrente elétrica.

3.5. Força exercida sobre um condutor

Como foi citado anteriormente, existem alguns fenômenos eletromagnéticos. O primeiro está nos itens anteriores e neste item, apresenta-se o segundo fenômeno eletromagnético. Este fenômeno ocorre quando um condutor é colocado em um campo magnético, mas, além disto, tem que passar uma corrente elétrica por este condutor, então o campo magnético exercerá uma força sobre este condutor.

Esta força pode ser calculada através da Segunda Lei Elementar de Laplace. Para isso, imagine um condutor dividido em partes infinitesimais. Cada parte infinitesimal é denominada de elemento do condutor. Seja:

- ΔL o comprimento de um elemento;
- i a intensidade de corrente elétrica;
- \vec{B} a indução magnética;
- α o ângulo formado entre \vec{B} e a tangente do elemento.

Pela Segunda Lei de Laplace, tem que:

$$|\Delta \vec{F}| = i \cdot |\vec{B}| \cdot |\Delta L| \cdot \text{sen } \alpha$$

Para determinar a força que atua por todo condutor, deve-se somar vetorialmente todas essas forças dos elementos.

A direção da força dos elementos (ΔF) é perpendicular ao plano determinado por \vec{B} e ΔL .

Já o sentido da força é dado pela regra da mão esquerda: o polegar deve ser posto no sentido do campo, o indicador no sentido da corrente e o médio dará o sentido da força.

3.6. Indução Eletromagnética

Quando um condutor fechado é posto em um campo magnético uniforme e por características, este condutor tenha área de superfície S ; θ o ângulo entre a normal à superfície com as linhas de força e \vec{B} o vetor indução magnética. O fluxo através da superfície S é:

$$\Phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \theta$$

Caso exista variação do fluxo magnético, como consequência surgirá uma corrente elétrica no condutor; a esta corrente denomina-se de corrente induzida. Este fenômeno é conhecido como indução eletromagnética.

Portanto, o fenômeno de indução eletromagnética é devido ao aparecimento da corrente elétrica num condutor quando o mesmo é posto em um campo magnético, seja uniforme ou não, e o fluxo varia.

3.6.1. Lei de Faraday

Os experimentos realizados por Faraday, Henry e outros há certo tempo, comprovaram que se o fluxo magnético variar surgiria uma fem induzida no condutor.

Sabendo que o fluxo magnético por meio de uma superfície com área S num campo magnético uniforme pode ser variado conforme aumenta ou diminui B , aumenta ou diminui S ou quando o ângulo θ muda.

Em qualquer mudança que ocorrer será induzida uma fem ϵ que será exatamente igual em magnitude à taxa de variação do fluxo magnético por meio da superfície do condutor. Ou seja,

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Este resultado é denominado como Lei de Faraday. O sinal de menos na Lei de Faraday resulta do sentido da fem induzida. Isto será discutido no próximo tópico, com a Lei de Lenz.

3.6.2. Lei de Lenz

Como dito anteriormente, o sinal de menos na Lei de Faraday está relacionado com o sentido da fem induzida. Isto é obtido aplicando uma lei da Física conhecida como Lei de Lenz e tem como definição: a fem induzida tem tal sentido que se opõe, ou tende a se opor, à variação que a produz. Ou seja, quando um fluxo magnético através de uma superfície varia, surge uma corrente induzida que origina um campo magnético que produz um fluxo próprio contrário à variação inicial.

4. EXPERIMENTOS

Neste tópico serão abordados os dois experimentos que foram realizados para a elaboração deste trabalho.

4.1. Indução Eletromagnética

Este experimento de indução eletromagnética tem o objetivo de relacionar algumas variáveis (frequência, raio da bobina induzida e corrente no solenóide) com a tensão induzida na bobina. Para isso foi utilizado:

- Solenóide de 40 cm e 595 espiras;
- Quatro bobinas diferentes:
 - ✓ Bobina com 190 espiras e diâmetro de 25 mm;
 - ✓ Bobina com 115 espiras e diâmetro de 25 mm;
 - ✓ Bobina com 190 espiras e diâmetro de 20 mm;
 - ✓ Bobina com 115 espiras e diâmetro de 20 mm;
- Multímetros;
- Fios de ligação;
- Gerador de sinais;

A montagem do experimento consiste em conectar o solenóide ao gerador de sinais, porém juntamente com dois multímetros, um em paralelo para obter o valor da tensão e outro, em série, para a obtenção da corrente de entrada no solenóide. A outra parte da montagem é ligar as bobinas induzidas, uma de cada vez, ao multímetro, em paralelo, para a obtenção do valor da tensão induzida na bobina. Depois de montado, deve inserir a bobina induzida no interior do solenóide, de forma que esta bobina fique centralizada dentro do solenóide.

Assim, pode-se medir a tensão induzida na bobina no interior do solenóide. Como é um experimento sobre indução eletromagnética, a teoria está baseada no conceito de fluxo magnético e Lei de Faraday – Lenz. Chegando numa conclusão de que a tensão induzida tem módulo igual a:

$$V_{\text{ind}} = \frac{\mu_0 2\pi^2 N' N r^2 I f}{L}$$

Onde:

- V é a tensão induzida na bobina (medido com o multímetro);
- N' é o número de espiras da bobina induzida;
- N é o número de espiras do solenóide;
- r é o raio da bobina induzida;
- I é a corrente elétrica introduzida no solenóide (medido com o multímetro);
- f é a frequência da corrente elétrica introduzida no solenóide;
- μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

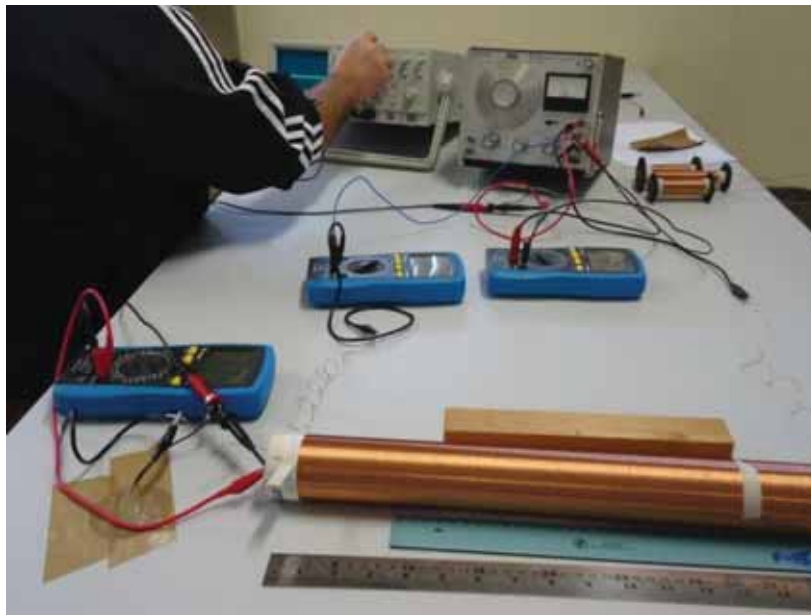


Figura 20 - Montagem experimental para a indução eletromagnética.

Desta forma, ao fazer este experimento, foi possível obter as seguintes tabelas com os seguintes resultados.

- **Bobina com 190 espiras e diâmetro de 25 mm (Bobina 1)**

Para cada bobina, houve várias medidas, ou seja, algumas medidas foram feitas com a tensão de entrada mantida em 10 volts e outras medidas foram feitas sem ajustar esta mesma tensão. Por isso seguem as seguintes tabelas:

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10	11,54	283
30	10	4,35	213
40	10	1,20	177

Tabela 2 - Valores para a bobina 1 mantendo a tensão de entrada em 10 volts.

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10,00	11,54	283
30	13,10	5,50	197
40	15,15	2,74	112

Tabela 3 - Valores para a bobina 1 sem ajustar o valor da tensão de entrada.

- **Bobina de 115 espiras e diâmetro de 25 mm (Bobina 2)**

Semelhante ao item 4.1.1. Então, aqui, foram obtidas as seguintes tabelas:

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10	11,70	138
30	10	4,42	32
40	10	1,17	16

Tabela 4 - Valores para a bobina 2 mantendo a tensão de entrada em 10 volts.

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10,00	11,70	138
30	13,08	6,06	66
40	15,20	2,80	27

Tabela 5 - Valores para a bobina 2 sem ajustar o valor da tensão de entrada.

- **Bobina de 190 espiras e diâmetro de 20 mm (Bobina 3)**

Análogo aos itens anteriores. Portanto, as tabelas para a bobina 3 são:

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10	11,65	141
30	10	4,42	32
40	10	1,21	16

Tabela 6 - Valores para a bobina 3 mantendo a tensão de entrada em 10 volts.

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10,00	11,70	138
30	13,04	6,06	67
40	15,13	2,78	27

Tabela 7 - Valores para a bobina 3 sem ajustar o valor da tensão de entrada.

- **Bobina de 115 espiras e diâmetro de 20 mm (Bobina 4)**

Conforme os itens anteriores, os resultados para esta bobina foram:

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10	11,45	42
30	10	4,44	15
40	10	1,25	13

Tabela 8 - Valores para a bobina 4 mantendo a tensão de entrada em 10 volts.

Frequência (KHz)	Tensão de entrada (V)	Corrente (mA)	Tensão induzida (mV)
20	10,00	11,45	42
30	13,00	6,07	18
40	15,15	2,79	15

Tabela 9 - Valores para a bobina 4 sem ajustar o valor da tensão de entrada.

- **Conclusão**

Analisa-se por meio das tabelas e resultados que a tensão induzida está relacionada com a frequência, corrente de entrada no solenóide, número de espiras da bobina e o raio da bobina. Isto fica mais evidente de forma mais clara observando os gráficos abaixo:

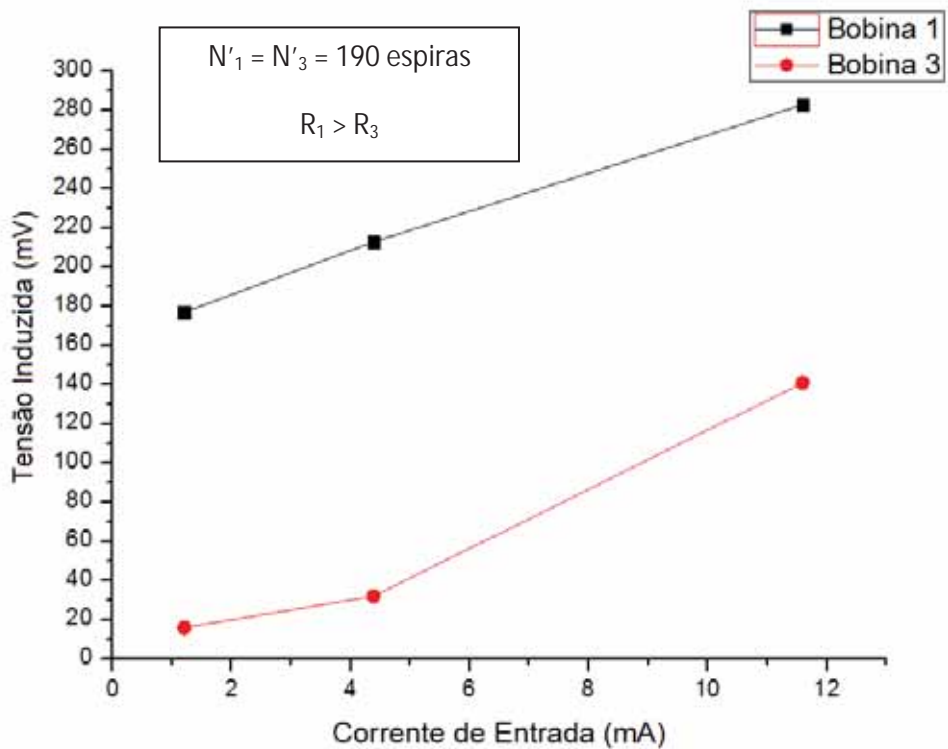


Gráfico 1 – Comportamento da tensão induzida para bobinas com mesmo número de espiras, porém com valores de raios diferentes.

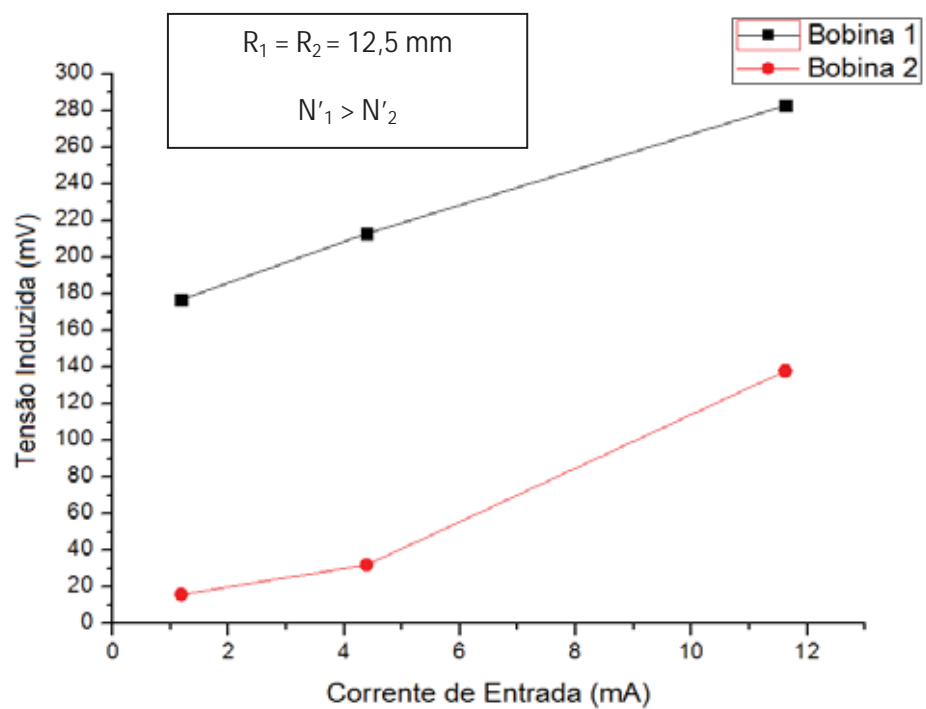


Gráfico 2 – Comportamento da tensão induzida para bobinas de mesmo raio, porém com números de espiras diferentes.

Então, observando os gráficos, pode-se concluir que:

- A tensão induzida (\mathcal{E}) cresce com o raio da bobina, ou seja, quanto maior o raio, maior a tensão induzida (gráfico 1).
- A tensão induzida (\mathcal{E}) cresce com o número de espiras da bobina, ou seja, quanto mais espiras na bobina, maior será a tensão induzida (gráfico 2).

4.2. Conversão de Energia Mecânica em Energia Elétrica

Por meio deste experimento, é possível que haja a conversão de energia potencial gravitacional para energia elétrica. Para isso, foi utilizado:

- 2 ímãs de neodímio (cada ímã tem massa de 25,32 gramas);
- Tubo de acrílico;
- Bobina;
- Circuito externo para armazenamento da energia elétrica (cujo capacitor tem $2,2 \times 10^{-6}$ farads de capacitância);
- Multímetro.

Depois da montagem experimental, houve a criação de um referencial com divisão de 5 em 5 centímetros para o tubo de acrílico. Estes valores são das posições em que a bobina ficará posicionada para haver a transformação de energia. Lembrando que o ímã sempre será solto de uma mesma posição (posição inicial = zero). Conforme o ímã adquire velocidade no interior do tubo de acrílico, quanto mais distante a bobina estiver da posição inicial, maior será a velocidade em que o ímã atravessará esta bobina. Deste modo, de forma qualitativamente, pode-se verificar uma relação entre energia potencial gravitacional e energia elétrica. Este experimento é semelhante ao freio magnético, porém o tubo de acrílico não é condutor.



Figura 21 - Montagem experimental para a conversão de energia potencial gravitacional em energia elétrica.

Realizando o experimento duas vezes, ou seja, uma vez com um ímã e a outra vez com dois ímãs. Observaram-se os seguintes resultados:

1 ímã (m = 25,32 g)			
Altura (cm)	Energia Gravitacional (J)	Tensão (V)	Energia Elétrica (J) x10 ⁻⁶
5	0,0124	0,6	0,396
10	0,0248	1,0	1,100
15	0,0372	1,6	2,816
20	0,0496	2,0	4,400
25	0,0620	2,2	5,324
30	0,0744	2,6	7,436
35	0,0868	2,8	8,624
40	0,0993	3,1	10,571
45	0,1117	3,2	11,264

Tabela 10 – Medidas realizadas com um ímã.

2 ímãs (m = 50,63 g)			
Altura (cm)	Energia Gravitacional (J)	Tensão (V)	Energia Elétrica (J) x10 ⁻⁶
5	0,0248	1,8	3,564
10	0,0496	2,0	4,400
15	0,0744	2,7	8,019
20	0,0992	3,2	11,264
25	0,1240	3,7	15,059
30	0,1489	4,1	18,491
35	0,1737	4,6	23,276
40	0,1985	5,0	27,500
45	0,2233	5,4	32,076

Tabela 10 – Medidas realizadas com dois ímãs.

Considerando o valor da aceleração da gravidade como $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, a energia potencial gravitacional é dada por:

$$E_{pg} = mgh$$

Sendo que:

- E_{pg} é a energia potencial do ímã;
- m é a massa do ímã;
- g é a aceleração da gravidade;
- h é a altura em que o ímã se encontra da bobina.

Desta energia potencial gravitacional, apenas uma parcela será transformada em energia elétrica. Esta energia elétrica é dada por:

$$E = \frac{1}{2} C V^2$$

Onde:

- E é a energia elétrica;
- C é a capacitância do capacitor;
- V é o valor da tensão.

Algumas observações deverão ser feitas neste experimento. Para ligar o circuito externo ao experimento foi incluído um diodo cuja resistência é de 3 ohms e este valor é aproximadamente igual à resistência da bobina, ou seja, o valor medido é metade do real. Outra ressalva é que a energia potencial gravitacional não é transformada em sua totalidade, porque o ímã não para no momento da medida da tensão, ou seja, somente uma parcela da energia potencial gravitacional é transformada em energia elétrica.

Por estas razões, vale à pena deixar evidente que este experimento tem caráter mais qualitativo do que quantitativo. Neste trabalho, apenas o fenômeno está sendo observado, então os resultados não terão uma importância tão grande.



Figura 22 - Circuito externo utilizado para o armazenamento de energia elétrica juntamente com um multímetro.

- **Conclusão**

Neste experimento, observando os valores obtidos tanto para as tabelas 9 e 10 como para os gráficos abaixo, está evidente de que a energia elétrica armazenada no capacitor está relacionada diretamente proporcional à energia potencial

gravitacional e também diretamente proporcional com a massa do ímã. Ou seja, quanto maior a altura do ímã em relação à bobina, maior será a energia potencial gravitacional, então maior será a energia elétrica que será armazenada no capacitor.

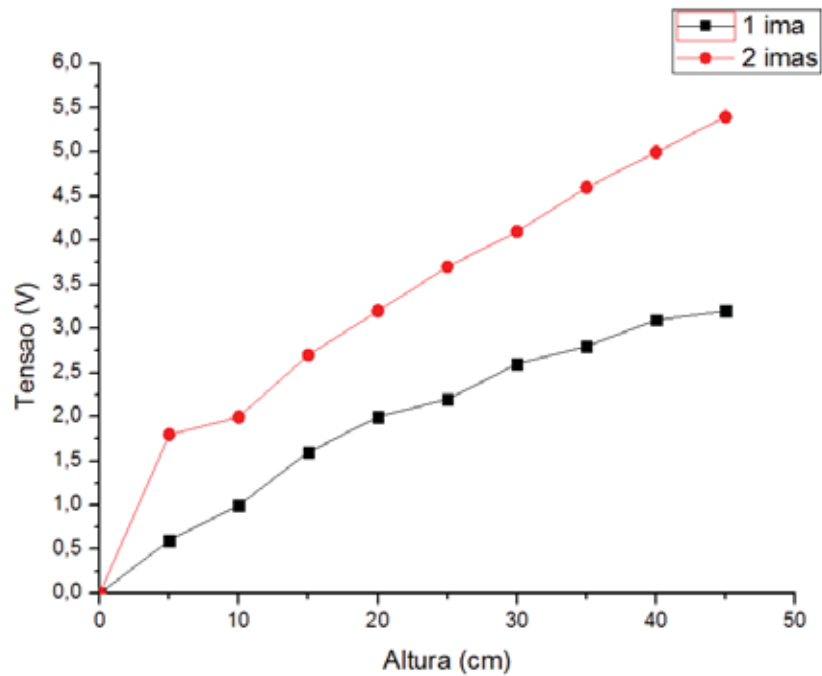


Gráfico 3 – Relação entre altura e tensão para 1 ímã e 2 ímãs.

CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso, os objetivos são estudar, analisar e compreender os fenômenos envolvidos de forma qualitativa.

Foi comprovado que há relações entre as medidas envolvidas em cada experimento.

Durante o toda a parte teórica foi analisado cada conteúdo que seria utilizado nos experimentos, para isso foi abordado desde o contexto histórico até a Lei de Lenz. Assim, permite que o leitor possa compreender a teoria e analisá-la nos experimentos para que o mesmo tenha suas próprias conclusões.

Por serem abordados qualitativamente, estes experimentos seriam uma boa demonstração para alunos do Ensino Médio. Desta maneira, seria possível que estes alunos pudessem elaborar um conhecimento concreto sobre a teoria, que sem o experimento é apenas um conhecimento abstrato.

Então, de uma maneira mais concisa, estes experimentos seriam de grande ajuda para o conhecimento concreto dos alunos de Ensino Médio.

REFERÊNCIAS

- ASIMOV, I. Understanding Physics. Barnes & Noble, 1993. Volume único.
- Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, 2007. Disponível em: <www.efisica.if.usp.br>. Acesso em: Julho de 2012.
- FEYNMAN, R. P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. The Feynman Lectures on Physics. 1ª edição. Addison Wesley, 1966. Volume 2.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. 7ª edição. LTC, 2007, Volume 3.
- SILVEIRA, F. L. da, LEVIN, Y., RIZZATO, F. B. A Frenagem Eletromagnética de um ímã que cai. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 24, n.3: p. 295-318, dez. 2007.
- TIPLER, P. A. Física para Cientistas e Engenheiros: Eletricidade e Magnetismo, Óptica. 6ª edição. LTC, 2009. Volume 2.