

# Prática 5: Magnetismo e Lei de Faraday

## Objetivos

Esta prática tem como objetivo investigar alguns dos principais fenômenos magnéticos e eletromagnéticos estudados em Física. Entre as investigações, espera-se que o aluno compreenda como determinar a componente horizontal do campo magnético terrestre, utilizando **bobinas de Helmholtz** e uma bússola.

## Introdução

Os equipamentos utilizados para medida direta de um campo magnético são, em geral, caros e de nem sempre fácil utilização. Contudo, para uma análise quantitativa mais grosseira, pode-se utilizar uma bússola como **magnetômetro**; isto é, como um instrumento para medidas de campos magnéticos (desde que estes sejam comparáveis com o campo magnético terrestre).

Segundo o dicionário<sup>1</sup>, a bússola é um *“instrumento para determinar direções sobre a superfície terrestre, mediante uma agulha magnética livremente suspensa sobre um ponto de apoio, dentro de uma caixa, e cujas pontas estão permanentemente voltadas para os polos magnéticos da Terra”*. Sabe-se que desde 2600 a.C., os chineses utilizam a bússola para orientação. Este instrumento só chegou ao ocidente ~1100 DC, embora os gregos conhecessem os fenômenos magnéticos desde a antiguidade (~590 AC). A agulha magnética é um pequeno ímã, ou seja, um dipolo magnético. Um dipolo magnético tende a se orientar em um campo magnético, por isso a agulha da bússola indica a direção **N-S** do meridiano magnético local, ou seja, a direção e o sentido da componente horizontal do campo magnético terrestre local,  $B_T$ .

## Fontes de Campo Magnético

---

<sup>1</sup> Michaelis: Moderno dicionário da Língua portuguesa, 1998.

Duas fontes convencionais de campo magnético são: *fios condutores percorridos por corrente elétrica*; *ímãs permanentes*. Tais fontes de campo magnético podem ser descritas em função apenas da Lei de Ampère.

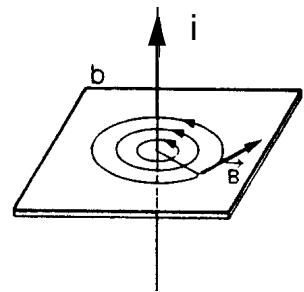
### Lei de Ampère - Condutor Percorrido por uma Corrente Elétrica

Até o início do séc. XIX não se suspeitava que pudesse existir uma relação entre os fenômenos magnéticos e os elétricos. Em outras palavras, o Magnetismo e a eletricidade eram dois ramos da Física totalmente independentes e distintos.

Este ponto de vista foi radicalmente alterado com a descoberta de que a passagem de uma corrente elétrica através de um fio alterava a orientação de uma bússola próxima a ele. Esta observação foi feita por **Hans C. Oersted** em 1820<sup>2</sup>. Ele percebeu que quando um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica, surge em torno dele um campo magnético.

A Fig.5-1 ilustra as linhas de campo magnético produzidas por um fio condutor percorrido por uma corrente  $i$ .

Figura 5-1 - Fio retilíneo



Fonte: Elaborada pelo Compilador

### Força Magnética sobre um Condutor Cilíndrico Reto situado em um Campo Magnético Uniforme

Quando um condutor cilíndrico é percorrido por uma corrente  $i$ , na presença de um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , surge uma força magnética  $\mathbf{F}$  sobre ele, que é igual à soma de todas as forças magnéticas que agem em cada partícula de carga  $q$ , que se move com velocidade  $\mathbf{v}$ . O número de cargas no condutor é igual ao número de cargas por unidade de volume,  $n$ , multiplicada pelo seu volume,  $V=A \cdot l$ , onde  $A$  é a área transversal do fio e  $l$  seu comprimento. Logo, a força sobre o fio será:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})nAl = (nqvA) (\mathbf{l} \times \mathbf{B}) = i (\mathbf{l} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

onde  $\mathbf{l}$  é o valor cujo módulo é o comprimento do fio  $l$  e sua direção e sentido são idênticos aos do vetor velocidade  $\mathbf{v}$ .

---

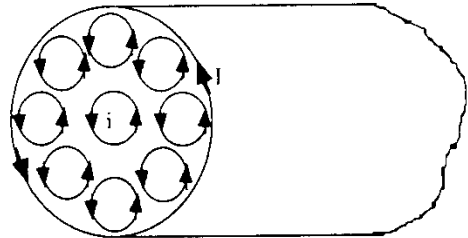
<sup>2</sup> Hans Christian Oersted, físico dinamarquês (1777 – 1851)

## Lei de Ampère - Ímãs Permanentes

De forma similar ao caso anterior, onde elétrons percorrendo um fio condutor produzem um campo magnético, elétrons circulando em orbitais atômicos também podem produzi-lo, seguindo a mesma lei. Neste caso, os orbitais atômicos fazem a função do fio condutor.

Apesar destes movimentos serem muito complicados, podemos admitir neste modelo simples, que são equivalentes aos movimentos de elétrons em micro espiras fechadas no interior de um ímã permanente, como mostra a Fig.5-2.

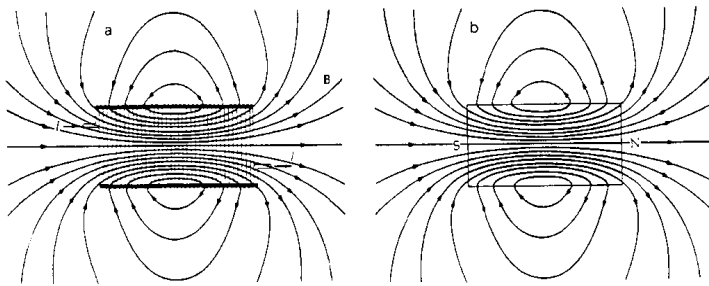
Figura 5-2 - Modelo das correntes atômicas.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Suponhamos que todas as microespiras, que aparecem na Fig. 3, são paralelas e percorridas por correntes de mesmo sentido,  $i$ . Quando o material é homogêneo, a corrente líquida no interior do material é nula, pois há o anulamento entre as correntes de micro espiras vizinhas. No entanto, uma vez que não ocorre o mesmo na superfície do corpo, o resultado é que as microespiras externas produzem uma corrente superficial denominada *corrente de Ampère*,  $I$ . Esta corrente resultante, que percorre o cilindro no mesmo sentido das correntes existentes em cada micro espira, faz com que este pedaço de ímã permanente se comporte como o solenoide descrito no item anterior, Fig.5-3.

Figura 5-3 - (a) Linhas de campo magnético de um solenoide; (b) De uma barra de ímã permanente



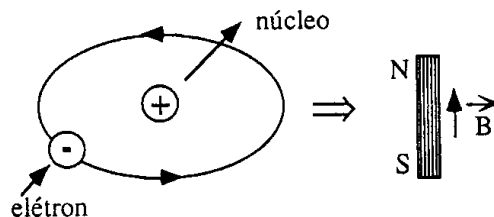
Fonte: Elaborada pelo Compilador

Tanto o solenoide quanto a barra imantada apresentam uma estrutura comum: a presença dos dois polos magnéticos norte e sul, os quais não surgem separadamente na natureza, por esta razão são denominados *dipolos magnéticos*. Logicamente, na presença de um campo magnético uniforme, todos os dipolos magnéticos sofrem um torque e se orientam ao longo do mesmo de forma similar a agulha de uma bússola na presença do campo magnético terrestre.

## Imantação de um Material

Quando um campo magnético atua em um meio material qualquer, este meio sofre uma modificação e dizemos que ele se imanta (ou se magnetiza). Para entendermos em que consiste esta imantação, devemos nos lembrar de que existem, no interior de qualquer substância, correntes elétricas elementares, geradas pelos movimentos dos elétrons nos átomos constituintes da matéria. Estas correntes elementares criam pequenos campos magnéticos, de modo que cada átomo pode ser considerado como um pequeno ímã, ou seja, um ímã elementar, Fig.5-4, como já discutimos no item Lei de Ampère - Ímãs permanentes.

Figura 5-4 -Um átomo pode ser considerado como um pequeno ímã elementar.



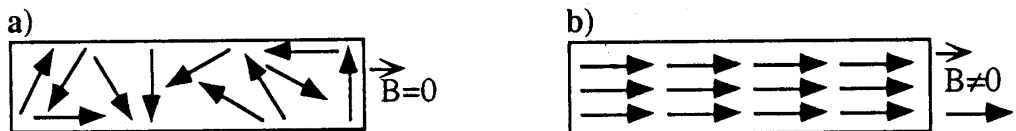
Fonte: Elaborada pelo Compilador

No interior de um material em seu estado normal (não magnetizado), estes ímãs elementares encontram-se orientados inteiramente ao acaso, Fig.5-5(a), de modo que os

campos magnéticos criados pelos átomos da substância tendem a se anular, sendo nulo o campo magnético resultante estabelecido pela totalidade destes ímãs elementares.

Entretanto, se este material for submetido a um campo magnético  $B$ , este campo atuará sobre os ímãs elementares tendendo a orientá-los, Fig.5-5(b). Em virtude desta orientação, os campos magnéticos elementares dos átomos se reforçam e o material passa a apresentar efeitos magnéticos apreciáveis. Nestas condições, dizemos que a substância está imantada ou magnetizada, ou seja, o material passa a se comportar como um ímã.

Figura 5-5 – (a) barra não imantada; (b) barra imantada.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

De acordo com as reações das substâncias à presença de um campo magnético, elas podem ser divididas em três grupos distintos:

- *Substâncias paramagnéticas*: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, se imantam de maneira a provocar um pequeno aumento no valor do campo magnético. Nestas substâncias, os ímãs elementares tendem a se orientar no mesmo sentido do campo aplicado e, portanto, o campo magnético estabelecido por eles terá o mesmo sentido do campo aplicado, fazendo com que o campo resultante tenha um valor um pouco maior do que o inicial. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância também desaparece, indicando que a amostra desmagnetizou-se. Exemplos: alumínio, ar, cromo, estanho, platina, etc.

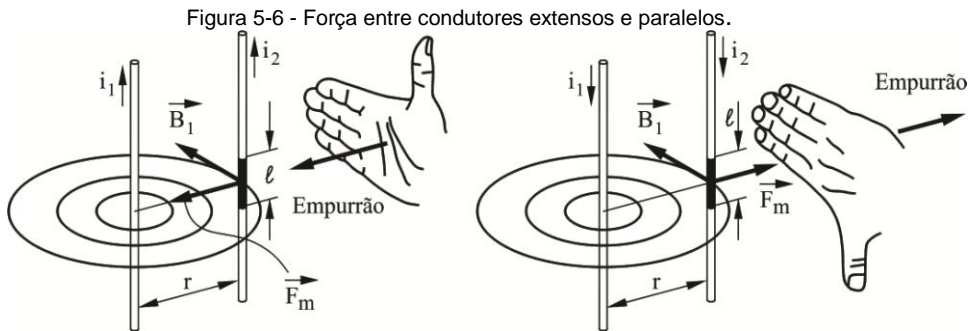
- *Substâncias ferromagnéticas*: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, se imantam fortemente, de modo que o campo magnético que elas estabelecem está ao longo do mesmo sentido do campo aplicado e possui uma intensidade muitas vezes maior que a dele. O campo magnético resultante pode se tornar centenas e até mesmo milhares de vezes maior do que o campo inicialmente aplicado. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância não desaparece, indicando que a amostra se manteve magnetizada. Para destruir as propriedades ferromagnéticas adquiridas por estas substâncias, devemos aquecê-las acima de uma certa temperatura, denominada *temperatura de Curie*. Exemplos: ferro, cobalto, níquel, gadolínio, disprósio e

ligas especiais (aço (X%Fe, Y%C), permalói (55%Fe, 45%Ni), metal mu (77%Ni, 16%Fe, 5%Cu, 2%Cu), ferro ao silico (96%Fe, 4%Si)).

- *Substâncias diamagnéticas*: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, têm seus ímãs elementares orientados em sentido contrário ao do campo aplicado, implicando em um campo magnético resultante um pouco menor que o inicial. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância também desaparece, indicando que a amostra desmagnetizou-se. Exemplos: bismuto, cobre, água, prata, ouro, chumbo, etc.

### Força Magnética entre dois Condutores Retos, Extensos e Paralelos.

Consideremos dois fios condutores retos, extensos e paralelos, percorridos por correntes  $i_1$  e  $i_2$ , separados por uma distância  $r$ , Fig.5-6.



A corrente  $i_1$  origina o campo magnético  $B_1$ , de intensidade.

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r} \quad (2)$$

na região em que se encontra o outro fio. De acordo com a Eq.1,  $B_1$  será perpendicular ao comprimento do fio  $l$  e a força magnética que atuará sobre o segundo fio resultará na direção da perpendicular que une ambos. Se as correntes apresentarem o mesmo sentido, a força entre os fios será de atração e, se elas tiverem sentido contrário, a força será de repulsão, Fig.6.

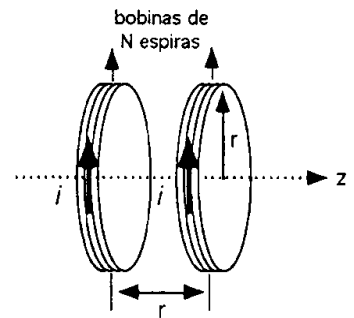
### Determinação do Campo Magnético Terrestre

A determinação da componente horizontal do

Figura 5-7- Bobinas de Helmholtz.

campo magnético terrestre,  $B_T$ , poderá ser feita pelo processo inverso ao descrito acima.

Para isso, um campo magnético,  $B$ , ortogonal ao campo da terra será criado por um par de **bobinas de Helmholtz**. Este aparato, Fig.5-7, consiste em duas bobinas circulares coaxiais percorridas por correntes de mesmo sentido, cujos planos estão separados de uma distância igual ao raio das bobinas,  $r$ .



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Cada bobina poderá constituir-se de um enrolamento compacto de  $N$  espiras.

Este sistema é particularmente útil porque fornece um campo bastante uniforme em um volume relativamente grande na região central do par de bobinas, e cujo valor, no centro do mesmo, é dado pela expressão:

$$B = \frac{8}{5^{3/2}} \frac{\mu_0 N_i I}{r} \sim 0,715 \frac{\mu_0 N_i I}{r} \quad (4)$$

Onde  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$  (sistema MKS),  $N_i$  é o número de espiras da bobina e  $I$  a corrente que a percorre.

A razão para a lenta variação do campo na vizinhança do ponto central do par de bobinas de Helmholtz é que, com aquele espaçamento particular entre elas,  $dB/dz=0$  no referido ponto central ( $z$  é a variável medida a partir do centro e ao longo do eixo do par).

Uma vez conhecido o valor de  $B$ , utilizando-se a eq. 4, a magnitude da componente horizontal do campo magnético terrestre,  $B_T$ , será facilmente determinada, a partir da eq. 3.

## Leis de Faraday e de Lenz

Até agora discutimos o fato de que correntes elétricas produzem campo magnético.

Veremos agora que campos magnéticos variáveis no tempo podem produzir corrente elétrica, a partir de duas Leis constatadas empiricamente. Para que possamos entender a Lei descoberta por Faraday, devemos inicialmente conhecer o conceito de fluxo magnético.

Consideremos uma superfície plana imaginária, de área  $A$ , colocada dentro de um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ . Traçando-se uma normal  $\underline{N}$  a esta superfície, designaremos por  $\theta$  o ângulo formado por esta normal com o vetor  $\vec{B}$ , vide Fig.5-8. O fluxo magnético que percorre esta superfície é representado pela letra grega  $\phi$  e definido pela seguinte expressão

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\theta \quad (5).$$

O conceito de fluxo magnético através de uma superfície pode ser interpretado em termos do número de linhas de indução que atravessam esta superfície. Quanto maior o número de linhas de indução que atravessam a superfície, maior será o valor do fluxo magnético.

## Lei de Faraday

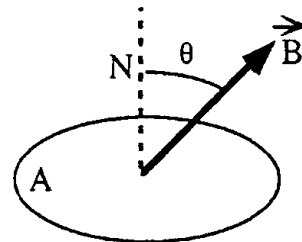
Se, ao invés de termos uma superfície plana imaginária submersa em um campo magnético, tivermos uma espira plana qualquer, constituída de um fio condutor de área  $A$ , dois fatos poderão ocorrer: *i*) se o fluxo magnético não se altera com o tempo nada ocorre; *ii*) se o fluxo magnético se altera, por um motivo qualquer em função do tempo, surgirá uma tensão elétrica na espira, denominada força eletromotriz induzida (*fem*),  $V$ , cuja intensidade é dada por:

$$V = - \frac{d\phi}{dt} \quad (6).$$

A *fem* pode ser detectada através da corrente que percorre o circuito, ou por medida direta.

## Lei de Lenz

Figura 5-8 - Definição das variáveis utilizadas na expressão do fluxo magnético



Fonte: Elaborada pelo Compilador



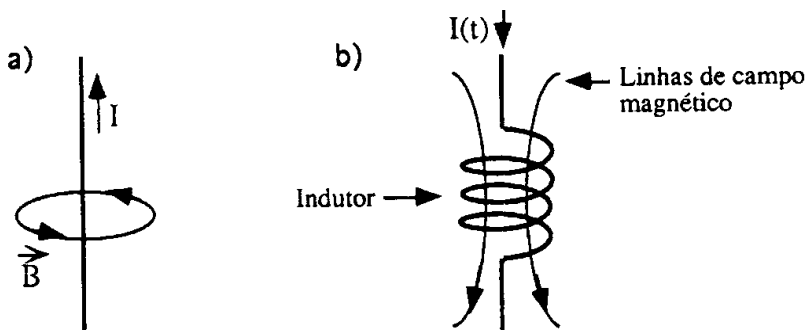
O sentido da corrente elétrica induzida pela variação temporal do fluxo magnético é tal que, por seus efeitos produzidos, ele se opõe à causa que lhe deu origem. Este princípio foi enunciado por Heinrich R.E. Lenz em 1834, na Rússia. Matematicamente, a lei de Lenz é representada pelo sinal negativo que aparece na Eq.2 (lei de Faraday). Na verdade não existe diferença entre a lei de Lenz e a lei de Faraday, mas por motivos históricos atribui-se o sentido da corrente induzida à lei de Lenz.

Até agora consideramos apenas condutores em forma de fio, mas pode-se também obter correntes induzidas em condutores maciços, (*corrente de Foucault*), quando submetemos estes condutores a campos magnéticos variáveis. Já que um condutor maciço possui resistência elétrica muito pequena, as correntes de Foucault podem atingir intensidades muito elevadas.

## Indutores

Quando uma corrente elétrica percorre um fio, um campo magnético **B** é induzido em torno dele (*Lei de Ampère*) e por esta razão, o mesmo é denominado indutor. Em geral, um indutor é representado na forma de um solenoide. Vide Fig.5-9, abaixo.

Figura 5-9 - Linhas de campo magnético devido à corrente elétrica



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Enquanto esta corrente for constante no tempo,  $dl(t)/dt = 0$ , este campo magnético também será constante e não interferirá eletricamente no indutor. No entanto, se esta corrente variar no tempo,  $dl(t)/dt \neq 0$ , ocorrerão alterações de campo magnético, fato que induzirá uma tensão elétrica nos terminais do indutor (*Lei de Faraday*) dada por

$$V(t) = -L \frac{dI(t)}{dt} \quad (7)$$

onde L é o fator denominado indutância, cuja unidade correspondente é o Henry.

# Experimentos

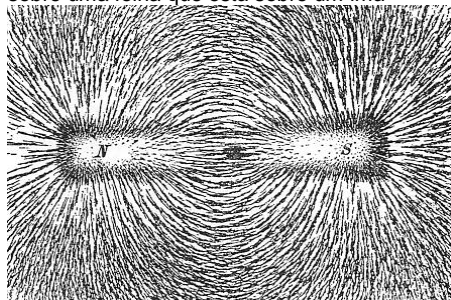
## I. Introdução ao Campo Magnético

### A. Linhas de campo magnético.

(demonstração)

Coloquem uma folha de plástico transparente sobre um ímã. (Fig.5-10) Em seguida, espalhem cuidadosamente (salpicando) limalha de ferro sobre a folha. Observem o que acontece e registrem.

Figura 5-10 – Limalha de ferro espalhada sobre uma folha que está sobre um ímã



Fonte: Elaborada pelo Compilador

### B. Campo de um ímã.

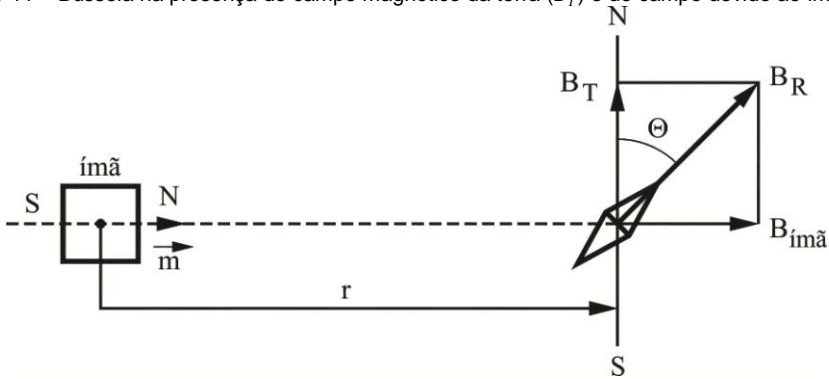
Uma bússola é um ímã permanente que tem liberdade de girar em um determinado plano, normalmente o plano horizontal. Na presença de um campo magnético qualquer, a bússola aponta na direção deste campo. Por isto ela serve para orientar, indicar a direção N-S da Terra.

Desde a antiguidade utiliza-se a bússola para orientação, pois ela indica a direção horizontal do campo magnético terrestre (direção Norte-Sul da Terra) indicado por  $\vec{B}_T$  na Fig.5-11. Neste experimento, que  $\Theta \rightarrow 0$  quando o ímã está muito distante da bússola, pois neste caso o campo total é o campo da Terra. Notem que nesta configuração, o campo do ímã  $\vec{B}_{ímã}$  é perpendicular a  $\vec{B}_T$ . À medida que se aproxima o ímã da bússola,  $\vec{B}_{ímã}$  aumenta, conseqüentemente o ângulo  $\Theta$  aumenta, pois a bússola indica a direção do campo resultante, ou seja, o resultado da soma vetorial:

$$\vec{B}_R = \vec{B}_T + \vec{B}_{ímã} \quad (8)$$

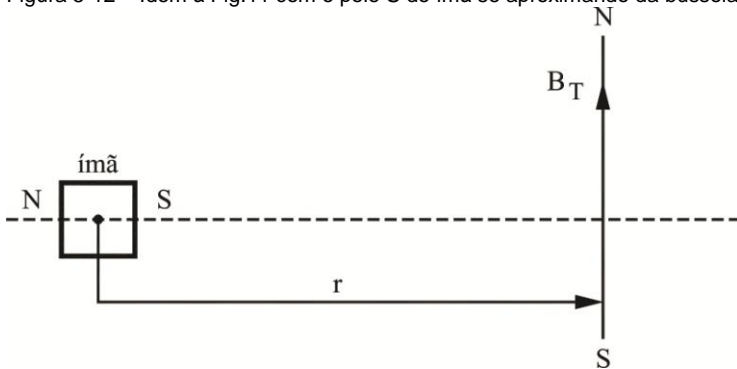
A Fig.5-11 mostra a situação em que  $\Theta = 45^\circ$  e neste caso as duas componentes tem a mesma magnitude, ou seja,  $|\vec{B}_{ímã}| = |\vec{B}_T|$

Figura 5-11 – Bússola na presença do campo magnético da terra ( $\vec{B}_T$ ) e do campo devido ao ímã ( $\vec{B}_{ímã}$ ).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Figura 5-12 – Idem à Fig.11 com o polo S do ímã se aproximando da bússola



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**B.1.** A Fig.5-12 ilustra a situação em que se aproxima a face S do ímã da bússola. Qual a direção do campo resultante neste caso? Indiquem a direção da bússola na Fig.5-12.

**B.2.** Identifiquemos polo norte do ímã, investigando o comportamento da bússola na presença desse ímã, como ilustrado na Fig.5-11. Aproximem o ímã da bússola, observem se esta gira no sentido horário ou anti-horário.

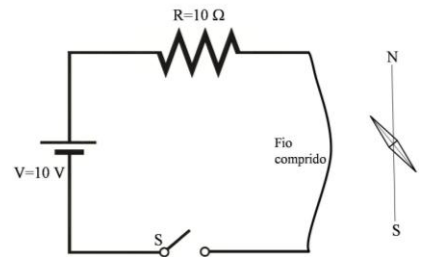
Obs: CUIDADO PARA NÃO aproximar o ímã a menos de ~50cm da bússola.

### C. Experimento de Oersted

No experimento anterior, vocês devem ter concluído que a bússola sempre aponta na direção do campo total, ou seja, do campo da Terra e eventualmente de outro campo (chamado de campo secundário). No experimento anterior, o ímã produzia o campo secundário.

Neste experimento verificaremos o campo magnético em um fio percorrido por uma corrente elétrica. Para isto usaremos a fonte de tensão com ligada ao fio, de tal forma a obter correntes  $\sim 1\text{A}$  para facilitar a observação dos efeitos.

Figura 5-13 – Circuito com um resistor ligado a um fio próximo a uma bússola



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**C. Experimento:** Coloquem um fio (inicialmente sem corrente) sobre uma bússola alinhando-o na direção Norte - Sul (**N-S**).

**C.1.** Apertem o botão da chave (Fig.5-13) e observem o que ocorre com a bússola quando a corrente é ligada. Registrem suas observações.

*Obs: Para observar este fenômeno é necessária uma corrente relativamente alta, por isso não deixe a fonte ligada (ou o botão apertado) por muito tempo.*

**C.2.** Repitam o item **C.1.** invertendo o sentido da corrente e registrem o que ocorre.

**C.3.** Repitamos item **C.1.** colocando agora bússola sob o fio e registrem o que ocorre.

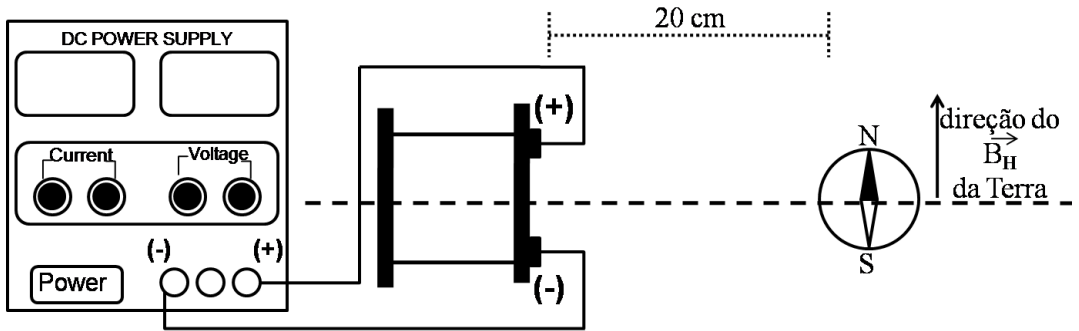
**C.4.** Suspendam o fio de tal forma a que ele fique na vertical, ou seja, perpendicular ao plano da bancada. Segurem a bússola suspensa bem próxima ao fio (serão necessárias pelo menos duas pessoas) e observem o que ocorre quando a corrente é ligada. Movimentem lentamente a bússola ao redor do fio. Registrem todas suas observações e discuta.

## **D. Campo magnético de uma bobina**

**D.1. Experimento:** Neste experimento investigaremos o campo magnético produzido por uma bobina ou solenoide. Conectem uma bobina de 1000 espiras a uma fonte de tensão contínua (DC) inicialmente desligada, tal como indicado na Fig.5-14. A bobina deve produzir um campo magnético que é mais intenso na direção de seu eixo (indicado pela linha tracejada na Fig.5-14 assim como na Fig.5-3(a)). Antes de ligar a fonte, posicionem uma bússola na direção do eixo, a uma distância ~ 20cm da bobina. A direção do eixo deve ser perpendicular à direção do campo magnético local.

**Obs:** *O campo produzido pela bobina é muito maior do que o campo de um único fio, por isso use baixas correntes ( $\sim 0,1A$ ) e não aproxime muito a bússola da bobina.*

Figura 5-14 - Posição da bússola em relação à bobina ligada a uma fonte



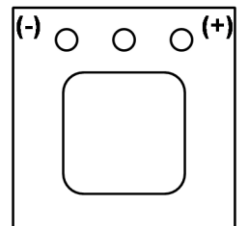
Fonte: Elaborada pelo Compilador

**D.2.** Aumentem gradativamente a tensão de modo que a deflexão sofrida pelo ponteiro da bússola seja de aproximadamente  $\theta = 45^\circ$ . Em que sentido o ponteiro gira? Anotem o valor aproximado da corrente utilizada.

*Obs:* Este experimento somente qualitativo. Por enquanto queremos saber apenas a direção do campo gerado. Medidas mais precisas serão feitas posteriormente.

**D.3.** Qual a direção do campo  $\vec{B}$ , gerado pela bobina? Indiquem no centro da bobina da Fig.5-15 utilizando a notação  $\otimes$  (campo entrando na página) ou  $\odot$  (saíndo da página). Para conferirem o resultado, invertam o sentido da corrente na bobina e observem se a bússola deflete no sentido esperado.

Figura 5-15 – Vista frontal da Bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

*Obs:* Lembrem-se que a magnitude do campo é proporcional ao valor da corrente.

**D.4.** Aonde o campo da bobina é maior, na direção ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?

**D.5.** O que ocorre com a direção do campo se o sentido da corrente for invertido?

Apresentem seus resultados a um instrutor antes de continuar a prática.

## **E. Materiais magnéticos**

**E.1. Experimento:** Vocês dispõem de diversos materiais na mesa que podem ser inseridos dentro da bobina para averiguar se eles influenciam o campo magnético produzido. Para verificar isto, repitam o procedimento **D.1** e observem o que ocorre. Quais materiais aumentam, diminuem ou não influenciam significativamente o campo produzido pela bobina?

**E.2.** Coloquem o pedaço de ferro dentro da bobina e repitam o procedimento **D.2**. Como os valores de corrente necessária para obter  $\Theta=45^\circ$  se comparam, mantendo a mesma distância da bobina à bússola?

## **F. Força magnética em um fio**

**F.1. Experimento:** Coloquem o fio (Fig.5-13) junto a um ímã permanente e apertem o botão (rapidamente) para ligar a corrente. Observem a força entre o fio e o ímã.

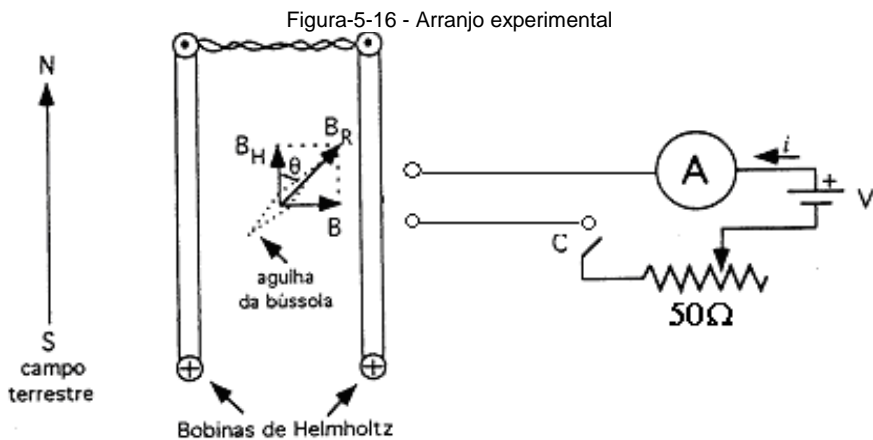


F.2. Verifiquem o que ocorre se o sentido da corrente for invertido.

F.3. Verifiquem o que ocorre se o polo do ímã for trocado.

## II. Determinação do campo magnético terrestre

A. **Experimento:** O arranjo experimental, utilizando as **bobinas de Helmholtz**, está esquematizado na Fig.5-16.



.Fonte: Elaborada pelo Compilador

**Obs:** Procure não deixar a fonte muito próxima das bobinas

a) O par de **bobinas de Helmholtz** deve ser posicionado de tal modo que o meridiano magnético local (direção N-S) **seja perpendicular** ao eixo das mesmas, e sua separação igual o seu raio  $r$ ;

**b)** Antes de ligar a chave **C** (chave liga/desliga da fonte D.C.), **girem o suporte da bússola** (eixo giratório no centro das bobinas, certificando-se que as bobinas estejam exatamente paralelas, façam este ajuste com a régua, observando de cima), até que suas leituras angulares sejam  $\theta=0^\circ$ .

**A.1.** Após ligarem a chave C, ajustem a escala e borne do multímetro para **mA**. Meçam a corrente  $i_1$ , façam uso do potenciômetro para um ajuste fino de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja  $\theta=45^\circ$ . Anotem o valor de  $i_1$ ;

**A.2.** Invertam o sentido da corrente que circula pelas bobinas, invertendo os polos da fonte D.C. (o multímetro digital indicará o sentido positivo (+) ou negativo (-) da corrente). Se for necessário, ajustem novamente o potenciômetro, de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja  $\theta=45^\circ$ . Façam a leitura do novo valor de corrente,  $i_2$ ;

**A.3.** Adotem o valor médio:  $\bar{i} = (i_1 + i_2) / 2$  para o valor da corrente, anotem o valor do raio das bobinas de Helmholtz,  $r$ , e o número de espiras  **$N=130$** ;

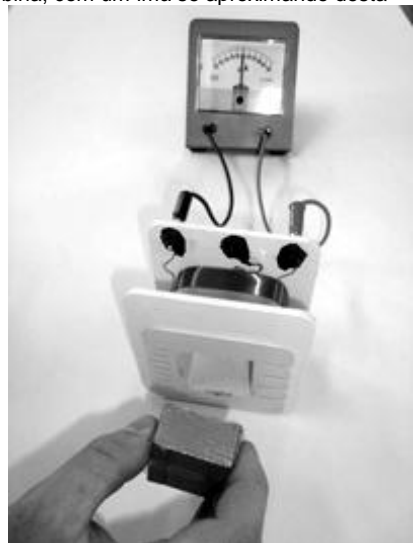
**A.4.** Encontrem o valor da componente horizontal do campo magnético local,  **$B_T$** , utilizando as equações 3 e 4.

### III. Indução Eletromagnética

Neste experimento veremos que se pode produzir corrente elétrica movimentando-se um ímã de maneira apropriada. Isto significa que houve gerou energia elétrica a partir de energia mecânica.

**A.1. Experimento:** Conectem uma bobina de 1000 espiras a um galvanômetro (ou amperímetro) e observem o que ocorre quando vocês aproximam um ímã (polos nas faces maiores) da bobina (Fig.5-17). Vocês conseguem induzir corrente elétrica na bobina?

Figura 5-17 – Galvanômetro conectado à bobina, com um ímã se aproximando desta



. Fonte: Elaborada pelo Compilador

**A.2.** De que maneira a corrente é induzida mais eficientemente? Há corrente se o ímã estiver parado? Em qual direção de movimento do ímã a corrente (em módulo) é maior? Ao longo do eixo da bobina ou perpendicular a ele?

**A.3.** Movimentem o ímã ao longo do eixo da bobina e observem o efeito da velocidade do ímã. Como a amplitude da corrente depende da velocidade?

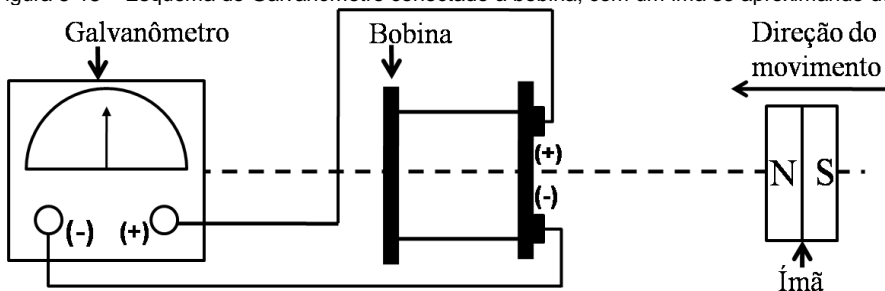
**A.4.** Movimentem o ímã ao longo do eixo da bobina e observem o efeito da polaridade do ímã. Registrem suas observações.

## **B. Experimento: Lei de Lenz**

Embora M. Faraday tenha sido o pioneiro na observação da indução (1832), foi Heinrich Lenz que em 1835 percebeu a relação entre o sentido da corrente induzida em um circuito fechado e o campo magnético variável que a induziu, atualmente conhecida como Lei de Lenz. Para compreender a lei de Lenz, vamos realizar alguns experimentos semelhantes aos anteriores, prestando atenção no sentido da variação do campo magnético, ou seja,  $\frac{d\vec{B}}{dt}$  e do fluxo magnético,  $\phi$ .

O objetivo deste experimento é determinar a direção do campo induzido, ( $\vec{B}_{ind}$ ), ou seja, o campo produzido pela bobina em resposta ao campo devido ao ímã ( $\vec{B}_{ímã}$ ). Conectem a bobina a um galvanômetro, tal como indicado na Fig.5-18.

Figura 5-18 – Esquema do Galvanômetro conectado à bobina, com um ímã se aproximando desta.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**B.1.** Aproximem o polo norte do ímã (N) a bobina, movimentando-o na direção do eixo da bobina tal como indicado na Fig.5-18. Neste caso, a corrente no galvanômetro é positiva ou negativa? Indiquem com flechas o sentido da corrente entre o (+) do galvanômetro e o (+) da bobina. A corrente está entrando ou saindo do (+) da bobina?

**Obs:** responda considerando a situação mostrada na Fig.5-18, ou seja, o N do ímã aproximando da bobina.

**B.2.** Na situação ilustrada (Fig.5-18) o valor (ou módulo) do fluxo magnético na bobina devido ao ímã ( $\vec{B}_{\text{ímã}}$ ) aumenta ou diminui? Indiquem na Fig.5-18 a direção de  $\vec{B}_{\text{ímã}}$ .

**B.3.** Vimos que a bobina gera uma corrente, que chamamos de corrente induzida. Esta corrente produz um campo magnético induzido, o qual denominaremos  $\vec{B}_{\text{ind}}$ . Considerando o sentido da corrente (entrando ou saindo do polo positivo (+) da bobina), indiquem desenhando uma flecha na Fig.5-18, o sentido do campo,  $\vec{B}_{\text{ind}}$ .

**B.4.** Na situação ilustrada (Fig.5-18), o valor (ou módulo) do fluxo magnético na bobina devido ao ímã,  $\vec{B}_{\text{ímã}}$ , aumenta ou diminui? Expliquem o raciocínio utilizado.

**B.5. Concluindo:** Indiquem na Fig.5-19.(a), a direção do campo  $\vec{B}_{\text{ímã}}$  e escreva se  $\frac{d\phi}{dt} > 0$  ou  $\frac{d\phi}{dt} < 0$ . Usem as notações  $\otimes$  (campo entrando na página) ou  $\odot$  (campo saindo da página) para indicar o campo  $\vec{B}_{\text{ímã}}$  desenhando no centro da bobina da Fig.5-19(a). Indiquem na Fig.5-19 (b) o sentido de  $\vec{B}_{\text{ind}}$  (o campo devido a corrente induzida na bobina).

Figura 5-19 - (a) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo  $\vec{B}_{im\grave{a}}$  devido ao ímã; b) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo induzido  $\vec{B}_{ind}$ , produzido pela corrente induzida na bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**B.6.** Considerem agora uma situação análoga a mostrada na Fig.5-18, porém com o ímã se afastando da bobina. Repitam o procedimento do item anterior, usando a Fig.5-20 abaixo.

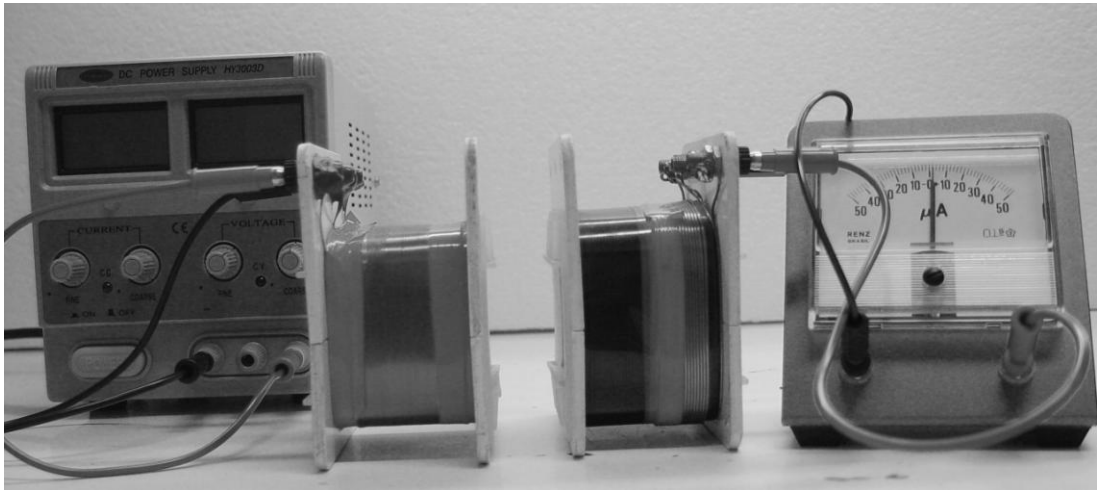
Figura 5-20 - (a) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo  $\vec{B}_{im\grave{a}}$  devido ao ímã; (b) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo induzido  $\vec{B}_{ind}$ , produzido pela corrente induzida na bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**C. Experimento:** Conectem uma bobina de 1000 espiras a uma fonte DC usando uma chave e ajustem  $V=12V$ . Conectem uma segunda bobina a um galvanômetro de zero central, como ilustrado na Fig.5-21. Denominaremos estas bobinas como 1 e 2 respectivamente.

Figura 5-21 - Bobina 1 (ligada a uma fonte) próxima à bobina 2 (ligada ao galvanômetro).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**C.1.** Com a fonte ligada e as duas bobinas paradas, há corrente induzida no galvanômetro?

**C.2.** Movimentem a bobina 2, mantendo a 1 parada e observem se há corrente no galvanômetro.

**C.3.** Repitam o experimento anterior, porém movimentando a bobina 1, mantendo a 2 parada.

**C.4.** Mantendo as duas bobinas fixas (~1cm), observem o que ocorre quando vocês ligam e desligam a bobina1 ligada à fonte (para isso, vocês podem desconectar um dos cabos de ligação).

**C.5.** Investiguem o efeito da orientação entre as duas bobinas, girando uma delas de  $90^\circ$  em relação ao seu eixo magnético.

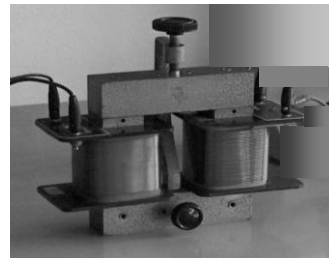
**C.6.** Com a fonte desligada, coloquem uma barra de ferro na bobina 1. Liguem a fonte e repitam o item **C2**. Como varia a magnitude da indução com a introdução do ferro?

## IV. Transformador

**A.1. Experimento:** Utilizem o transformador 220V – 6,3V ligado em 110V para obter uma fonte AC de 3.8V.

Montem um transformador com duas bobinas, 1000, 500 ou 250 espiras em núcleo de ferro fechado (Fig.5-22).

Figura 5-22 – Bobinas com núcleo de ferro fechado



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**A.2.** Considerem  $N_1$  o número de espiras do primário (da primeira bobina que está ligada em 3,8V) e  $N_2$  o número de espiras do secundário (segunda bobina) e sejam  $V_1$  e  $V_2$  as tensões medidas com um voltímetro modo AC no primário e no secundário, respectivamente. Meçam a relação  $V_2/V_1$  para vários valores de  $N_1$  e  $N_2$  (essas bobinas podem ser trocadas para se obter outros valores).

**A.3.** Para encontrar a relação entre  $V_2/V_1$  e  $N_2/N_1$  façam um gráfico de  $(V_2/V_1)$  versus  $(N_2/N_1)$  para verificar esta dependência com pelo menos 5 valores de  $N_2/N_1$ .



### **Lista de materiais (prática 05)**

- Bússola
- Fio condutor comprido
- Bobinas de Helmholtz
- Chave
- Materiais para preencher a bobina: ferro, alumínio, plástico
- Ímã
- Núcleo de ferro e bobinas: 250 espiras e 1000 espiras
- Resistor de  $10\Omega$
- Potenciômetro de  $50\Omega$
- Galvanômetro de zero central
- Transformador (110:220 – 6.3:12.6)
- Fonte de tensão variável (DC)
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.