

# EXP. 10 - BALANÇA DE CORRENTE

## 0.1 OBJETIVOS

Estudar a interação entre o campo de indução magnética produzido por um ímã permanente e a corrente elétrica em um fio.

## 0.2 PARTE TEÓRICA

### 0.2.1 A lei de Ampère

Quando um pedaço de fio reto e muito longo conduz uma corrente elétrica  $i$ , um campo de indução magnética  $\mathbf{B}$  aparece ao seu redor. Para pontos próximos ao fio, as linhas de força, ou mesmo as linhas de campo, são círculos concêntricos ao fio (Fig. 1). Esse fato foi descoberto em 1819 pelo físico dinamarquês Oersted. O sentido convencional desse campo é dado pela *regra da mão direita* onde o dedo polegar aponta no sentido da corrente e os demais dedos apontam no sentido do campo (Fig. 2).

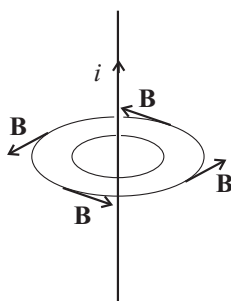


Figura 1: Linhas de campo de indução magnética  $\mathbf{B}$  próximo a um fio longo por onde passa uma corrente elétrica  $i$ .

Foi determinado experimentalmente que o módulo do campo a uma distância  $r$  desse fio (ver também o experimento Medida do Componente Horizontal da Indução Magnética Terrestre) vale:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2 \pi r}. \quad (1)$$



Figura 2: Regra da mão direita aplicada a um fio por onde passa uma corrente elétrica  $i$ .

Integrando o vetor  $\mathbf{B}$  ao longo de um caminho circular  $C$  de raio  $r$  em torno do fio temos:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \oint_C dl = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} 2\pi r = \mu_0 i$$

$$\therefore \oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i. \quad (2)$$

Essa equação é conhecida como a lei de Ampère e diz “a integral de caminho fechado  $C$  do campo de indução magnética é proporcional à corrente que fura qualquer superfície apoiada nesse caminho”.

### 0.3 Força de Lorentz

Quando um portador de carga elétrica  $q$  em movimento com uma velocidade  $\mathbf{v}$  penetra uma região do espaço onde existe um campo elétrico  $\mathbf{E}$  e um campo de indução magnética  $\mathbf{B}$ , ele fica submetido a uma força  $\mathbf{F}$  conhecida por força de Lorentz dada por:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}). \quad (3)$$

Na ausência do campo elétrico, resta apenas a força magnética

$$\mathbf{F}_m = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}. \quad (4)$$

Um caso simples e importante é o do movimento das cargas elétricas no interior de um fio condutor retilíneo, imerso em um campo de indução magnética  $\mathbf{B}$  uniforme e perpendicular a esse fio. A figura (Fig. 3) mostra um segmento infinitesimal desse fio nessa condição.

A corrente elétrica  $i$  nesse elemento de fio é dada por:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

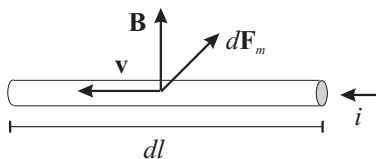


Figura 3: Força magnética  $d\mathbf{F}_m$  sobre um elemento infinitesimal de um fio por onde passa uma corrente elétrica  $i$ .

onde  $dq$  é o elemento infinitesimal de carga distribuído ao longo do elemento de fio e suposto ter uma velocidade média  $\mathbf{v}$ .

A força  $d\mathbf{F}$  que atua nesse elemento de fio é dada pela equação (4) substituído-se  $q$  por  $dq = i dt$

$$d\mathbf{F}_m = i dt \mathbf{v} \times \mathbf{B}.$$

Considerando que no intervalo de tempo  $dt$  a carga  $dq$  terá percorrido o comprimento  $dl$  podemos expressar a velocidade  $\mathbf{v}$  como

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{l}}{dt}.$$

Portanto,

$$d\mathbf{F}_m = i dt \frac{d\mathbf{l}}{dt} \times \mathbf{B} = i d\mathbf{l} \times \mathbf{B}.$$

Para um pedaço de fio reto de comprimento  $l$  imerso num campo de indução magnética uniforme  $\mathbf{B}$  e conduzindo uma corrente  $i$  teremos, após integrar essa expressão, que

$$\mathbf{F}_m = i \mathbf{l} \times \mathbf{B}. \quad (5)$$

### 0.3.1 Teoria da medida

Consideremos agora que esse pedaço de fio esteja na horizontal e submetido, simultaneamente, ao campo gravitacional e ao campo de indução magnética uniforme entre os polos de um ímã como mostra a figura (Fig. 4). A depender do sentido da corrente, a força magnética  $\mathbf{F}_m$  poderá estar no mesmo sentido da força gravitacional  $\mathbf{P}$  ou no sentido oposto. Na ausência da corrente elétrica, apenas a força devido à gravidade atua no condutor.

Uma balança convenientemente acoplada ao pedaço de fio pode ser utilizada para medir a força magnética em função da corrente elétrica que o percorre. Se considerarmos que o sentido da corrente é tal que a força magnética vertical aponte para baixo, o equilíbrio estático será obtido quando o valor dessa força somado ao peso do próprio fio for igual à força vertical para cima exercida pela balança. Na verdade, a balança que será utilizada aplicará uma força equivalente ao peso de uma massa expressa em gramas.

## 0.4 PARTE EXPERIMENTAL

### 0.4.1 Lista de materiais

Identifique os seguintes materiais e equipamentos que se encontram sobre a mesa:

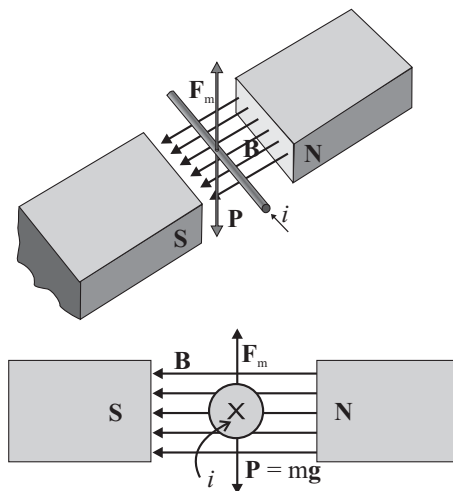


Figura 4: Força magnética  $d\mathbf{F}_m$  sobre um pedaço de um fio por onde passa uma corrente elétrica  $i$  e submetido ao campo gravitacional.

- Balança marca Ohaus com pés niveladores e nível de bolha;
- fonte de tensão contínua (DC) com limitação de corrente e com amperímetro acoplado;
- ímã permanente em forma de U com peças polares removíveis;
- placas de circuito impresso com uma trilha condutora ( $n = 1$ ) nos comprimentos 12,5 mm, 25,0 mm, 50,0mm;
- placa de circuito impresso com duas trilhas condutoras ( $n = 2$ ) no comprimento 50,0 mm;
- base, haste e suporte de ligação;
- cordoalha flexível (fita) condutora de cobre prateado com terminais tipo pino banana.

### 0.4.2 Cuidados com os equipamentos

A balança é um equipamento muito sensível. Não force seus braços e nem dê tombo na mesma. Quando necessário, desloque-a com cuidado.

### 0.4.3 Montagem experimental

O conjunto balança e circuito estão representados na figura (Fig. 5). Observe que as fitas condutoras que ligam a fonte à placa de circuito impresso não devem ficar esticadas. Isso causaria um esforço no braço da balança ocasionando um erro grosseiro na medida da força sobre o condutor. Ajuste os parafusos de nivelamento dos pés da balança até que a bolha do medidor de nível fique centralizada. Feito isso, a balança não pode ser mais deslocada dessa posição. Caso isso aconteça, verifique novamente o nivelamento da balança.

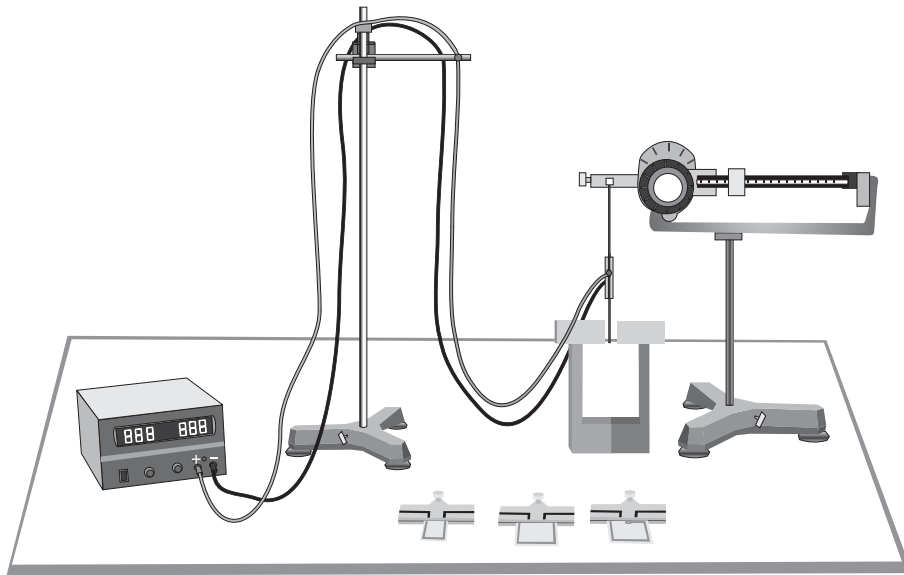


Figura 5: Montagem experimental da “balança de corrente”.

#### 0.4.4 Tara da balança

Utilize a placa de circuito impresso cujo comprimento da trilha é igual 12,5 mm. Inicialmente, com essa placa fora da balança, conecte as duas fitas condutoras flexíveis à placa.

Coloque a placa no gancho da balança observando que as fitas condutoras fiquem espaçadas e livres de esforços.

Tente ajustar a balança deslocando as massas no braço superior direito de modo que a balança fique equilibrada. Caso não consiga obter o equilíbrio, gire o botão do vernier no sentido horário ou anti-horário até obter o equilíbrio. Pronto, acabamos de zerar ou fazer a tara da balança para o conjunto fita e massa da placa de circuito impresso.

#### 0.4.5 Verificação da influência da corrente na fita

**ATENÇÃO! Durante todo o experimento, nunca ultrapasse a corrente de 5 A.**

Verificaremos agora a influência do campo de indução magnética produzido pelas fitas condutoras com a balança zerada.

Com a fonte de tensão desligada, gire os botões de controle de tensão e corrente todo no sentido anti-horário (zero). Ajuste o controle de tensão (Voltage 0...32 V), aproximadamente a um terço de seu curso máximo no sentido horário; a tensão estará limitada a aproximadamente 10 V.

Ligue a fonte. Nessa condição, o ajuste da limitação de corrente se fará pela utilização do botão de controle da corrente (Current 0...5 A). A fonte funcionará como uma *fonte de corrente* limitando a corrente ao valor ajustado mesmo em caso de curto circuito.

Sem a presença do ímã permanente, observe se existe variação no ponto de equilíbrio da balança quando você varia a corrente até 5 A. Possivelmente, haverá uma pequena interação entre as fitas condutoras. Nesse caso, chame seu professor.

### 0.4.6 Medidas

#### Determinação do sentido da força magnética

O objetivo desse item é estudar o sentido da força magnética em função do sentido do campo de indução magnética e do sentido da corrente elétrica.

- Certifique-se que as peças polares do ímã estão simétricas com relação à placa de circuito impresso e com uma separação de 1 cm.
- Ligue a fonte, se estiver desligada, e estabeleça uma corrente de 5 A.
- Observe e anote o comportamento da balança.
- Retorne o controle de corrente da fonte ao zero, inverta os polos do ímã girando-o. Novamente estabeleça uma corrente de 5 A, observe e anote o resultado. É o resultado esperado? Por que?
- Retorne novamente o controle de corrente da fonte ao zero, inverta os pinos das fitas na fonte de alimentação de modo inverter o sentido da corrente. Mais uma vez estabeleça uma corrente de 5 A, observe e anote o resultado. É o resultado esperado? Por que?
- Reduza a corrente a zero.

#### Medida do módulo da força magnética

O objetivo desse item é estudar a intensidade da força magnética em função da corrente elétrica, do comprimento do condutor e da quantidade de condutores. Esse estudo será facilitado se o sentido da força magnética for para baixo, a medida realizada com a balança é mais fácil de executar. Portanto, o sentido da corrente (ou do campo) deve se adequar a esse propósito.

- Desconecte um dos pinos da fita da fonte de alimentação e verifique se a balança continua equilibrada (tarada).
- Leia na balança e anote o valor de  $m_0$ , massa inicial do conjunto placa de circuito impresso e fitas condutoras, expresso em gramas.
- Reconecte o pino da fita à fonte, varie a corrente entre 0 e 5 A medindo a massa  $m$  em gramas que estabiliza a balança para cada valor de corrente  $i$ . Escolha pelo menos 10 valores diferentes de corrente e anote os resultados em uma tabela.
- Retorne a corrente a zero.
- Refaça, do início, esses procedimentos para as placas de circuito impresso com comprimentos de fio de: 25 mm  $n = 1$ ; 50 mm  $n = 1$  e 50 mm  $n = 2$ .

### 0.4.7 Cuidados finais

Ao finalizar o experimento desligue a fonte de tensão, retire a placa de circuito impresso de dentro do ímã e desconecte-a das fitas condutoras.

**Importante!** Feche o circuito magnético colocando a placa de ferro sobre as extremidades do ímã. Isso retarda a desmagnetização natural do ímã.

## 0.5 RELATÓRIO

1. Analise o sentido da força magnética como função do sentido do campo de indução magnética  $\mathbf{B}$  do ímã permanente e do sentido da corrente.
2. Construa em um mesmo papel milimetrado o gráfico da intensidade da força magnética (em mN) versus a corrente elétrica (em A) para os condutores de 12,5 mm, 25,0 mm e 50,0 mm ( $n = 1$ ). Escolha a escala do gráfico para utilizar o espaço de uma folha de papel A4.
3. Construa em outro papel milimetrado o gráfico da intensidade da força magnética (em mN) versus a corrente elétrica (em A) para o condutor de 50,0 mm ( $n = 2$ ). Escolha a escala do gráfico para utilizar o espaço de uma folha de papel A4.
4. Os gráficos construídos estão de acordo com a teoria da força magnética?
5. Determine, a partir dos coeficientes angulares das curvas, os valores do campo de indução magnética para todos os condutores utilizados. Calcule então o valor médio desse campo.
6. A partir dos gráficos construídos e para uma corrente de 5 A, determine os valores das forças magnéticas para os diversos comprimentos dos condutores. Construa agora o gráfico da força magnética versus o comprimento do condutor. Justifique se o gráfico está, ou não, de acordo com a teoria.
7. Analise os diferentes valores do campo de indução magnética determinados para os condutores de diversos comprimentos. Você vê alguma correlação com uma possível não uniformidade do campo no entreferro do ímã permanente?

## 0.6 BIBLIOGRAFIA

[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]

Críticas e sugestões, contate Prof. Newton B. Oliveira - [newton@ufba.br](mailto:newton@ufba.br)  
Roteiro reescrito baseado no roteiro original do Prof. Silvio Loureiro com figuras do Prof. Friedrich Gutmann.





# Referências Bibliográficas

- [1] Halliday, David e Resnick, Robert. *Física 4ª ed.*, volume 3. Livros Técnicos e científicos, Rio de Janeiro, 1983.
- [2] Meiners, Harry F., Eppenstein Walter, e Moore Kenneth. *Laboratory Physics*. John Wiley and Sons Inc., N.Y., 1969.
- [3] Sears, Francis W. e Zemansky, Mark W. *Física*, volume 3. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979.
- [4] Serway, Raymond A. e Jewett Jr., John W. *Princípios de Física*, volume 3. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004.
- [5] Tipler, Paul A. *Física 2ª ed.*, volume 2. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1984.
- [6] Westphal, Wilhelm H. *Práticas de física 2ª ed.*, volume 3. Labor, Barcelona, 1965.
- [7] Young, Hugh D. e Freedman, Roger A. *Física III*, volume 3. Addison Wesley, São Paulo, 2003.