

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:  
*Hermes Urêbe Guimarães*

### Tópicos Relacionados

Campos magnéticos uniformes, indução magnética, força de Lorentz, portadores de carga, cargas elétricas em movimento, corrente elétrica.

### Aviso

Este roteiro inclui a utilização de um eletro-ímã como alternativa à utilização de um ímã permanente, embora esse eletro-ímã não faça parte do item padrão do projeto do MEC.

### Princípios e objetivos

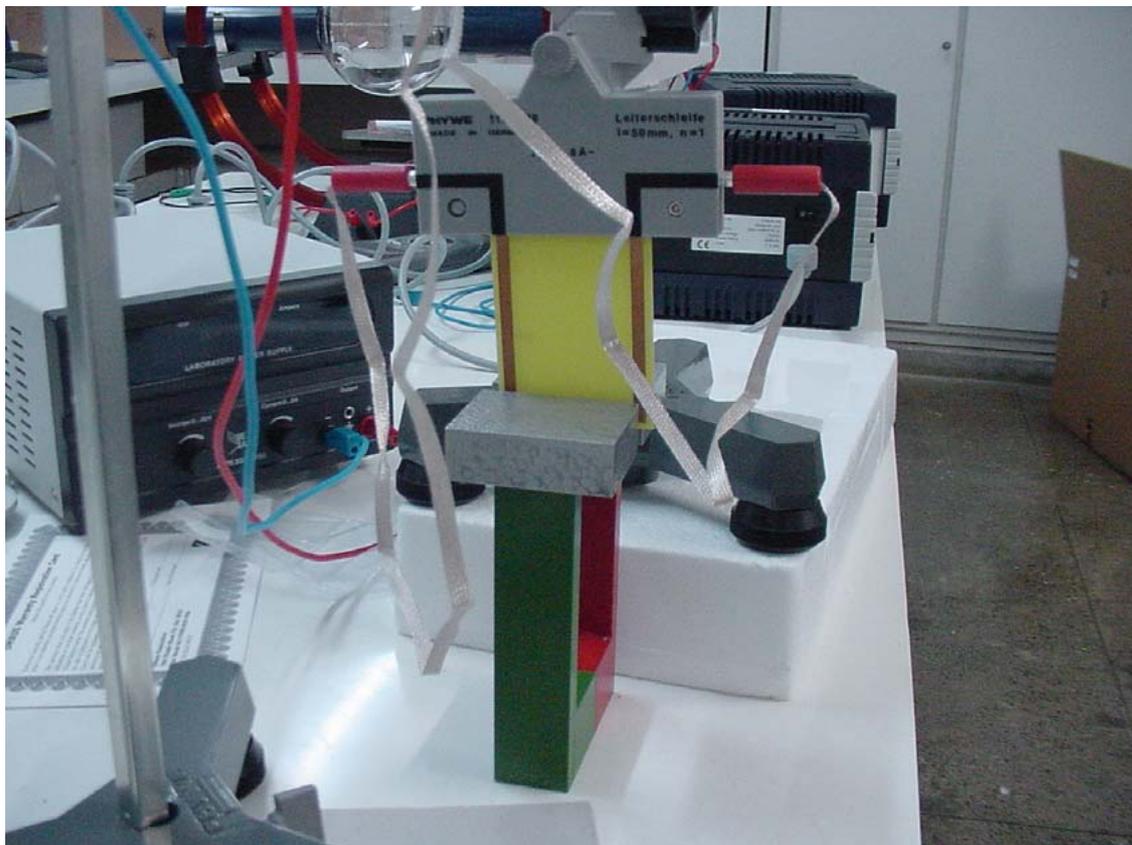
A força atuante sobre um condutor de corrente percorre uma espira em um campo magnético uniforme (força de Lorentz), e é medida com uma balança. As espiras de vários tamanhos do condutor são suspensas na balança, e a força Lorentz é determinada como uma função da corrente e da indução magnética. O campo magnético uniforme é gerado por um eletro-ímã ou por um ímã permanente. A indução magnética pode variar de acordo com a intensidade da corrente nas espiras do eletro-ímã.

### Equipamentos

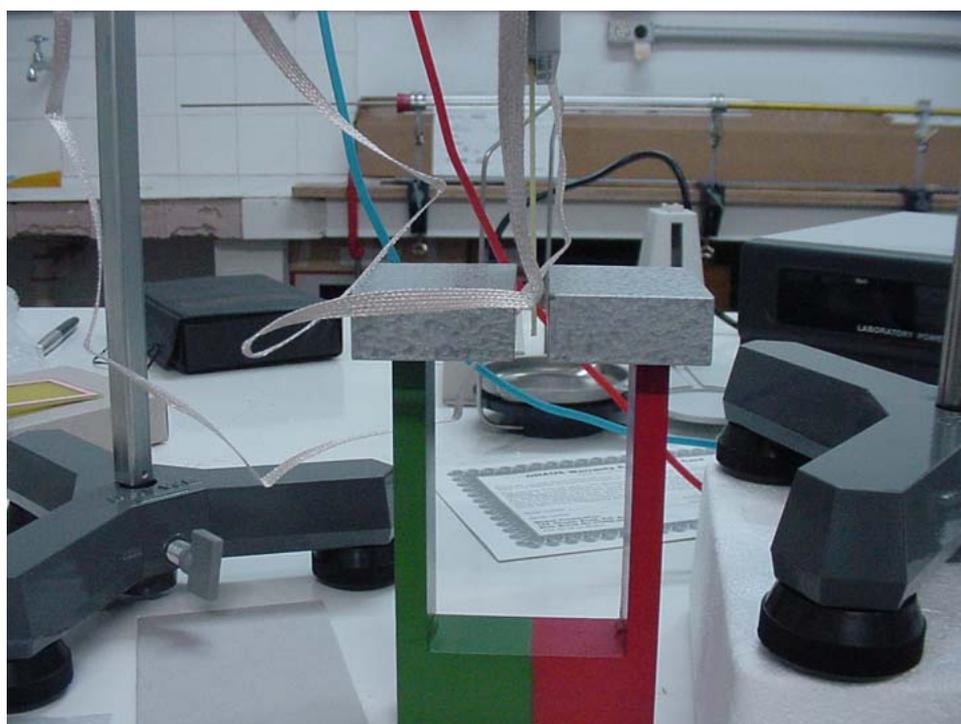
	127 V	220 V	
Base tripé -PASS-	02002.55	02002.55	2
Haste suporte-PASS-,quadrada,l=1000mm	02028.55	02028.55	1
Grampo ângulo reto -PASS-	02040.55	02040.55	1
Distribuidor	06024.00	06024.00	1
Ímã formato de U, grande	06320.00	06320.00	1
Tira de metal com plugs	06410.00	06410.00	2
Cabo de conexão, 32A, 75 cm, vermelho	07362.01	07362.01	1
Cabo de conexão, 32A, 75 cm, azul	07362.04	07362.04	1
Balança LGN 310, sobre haste	11081.01	11081.01	1
Peças pólos, retangular, 1 par	11081.02	11081.02	1
Espira, l 12.5 mm, n 1	11081.05	11081.05	1
Espira, l 25 mm, n 1	11081.06	11081.06	1
Espira, l 50 mm, n 2	11081.07	11081.07	1
Espira, l 50 mm, n 1	11081.08	11081.08	1
Fonte de alimentação	42446.4C	41721.7C	1

### Acessórios recomendados para medir o campo magnético:

Medidor de Tesla, digital (Gaussímetro)	13610.93	1
Sonda Hall tangencial, prot. cap	13610.02	1

**216 – Demonstração da Lei de Ampère**

**Fig. 1: Montagem experimental: Força magnética atuando em um condutor de corrente (UFES-Vitória).**



**Figura. Inserção da espira retangular no seio do campo magnético.**

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère

### Problemas

1. A direção da força é para ser determinada como uma função da corrente e da direção do campo magnético.
2. A força  $F$  é para ser medida como uma função da corrente  $I_L$  na espira de condutor, com uma indução magnética constante  $B$  e pelas espiras de vários tamanhos do condutor. A indução magnética pode então calculada.
3. A força  $F$  é medida como função da corrente nas espiras  $I_M$ , por uma espira de condutor. Nos limites considerados a indução magnética  $B$  é, com uma boa aproximação, proporcional a corrente na bobina  $I_M$ .

### Aviso

Se tiver disponível um instrumento de medida de campo magnético, então, no item 3, a força Lorentz pode ser medida diretamente como uma função da indução magnética.

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère

### Montagem e procedimentos

O experimento será montado como mostra a Fig. 1. As espiras são conectadas em série e à saída de voltagem AC da fonte de alimentação, através de um amperímetro, um dispositivo on/off, e um retificador de ponte. Para as duas partes iniciais do experimento uma voltagem fixa de 12 V AC é selecionada, e a corrente  $I_M$  nas espiras, é medida.

As espiras do condutor são conectadas via duas tiras de metal flexíveis, primeiramente a um distribuidor, e após, via um amperímetro a saída de voltagem direta da fonte de alimentação. A distância entre as tiras metálicas deve ser a maior possível, assim, as forças do campo magnético não atuarão sobre elas.

1. Os calços dos pólos são primeiramente colocados sobre o ímã, com um espaçamento de aproximadamente 4 cm. A espira de condutor com  $l = 25$  mm é suspenso da balança, estando sua seção horizontal perpendicular às linhas do campo magnético.

A balança é preparada com isenção de fluxo de corrente através do condutor, e uma corrente de condutor  $I_L = 5$  A é então estabelecida. A direção e a magnitude da força são determinadas como uma função da direção da corrente, e observadas com o eletro-ímã rotacionado sobre um eixo horizontal. Sem um campo magnético, a posição da balança é observada tanto com o fluxo de corrente através da espira de condutor, como também isenta dele.

2. Os calços dos pólos são colocados sobre o ímã, com faces paralelas, a uma distancia de 1 cm.

A espira de condutor  $l = 12,5$  mm é suspensa na balança. A seção horizontal do condutor posiciona-se perpendicularmente às linhas do campo e —com a balança preparada— está no meio do campo uniforme (ajuste fino com parafuso sobre tripé). A corrente no condutor aumenta a intervalos de 0,5 A.

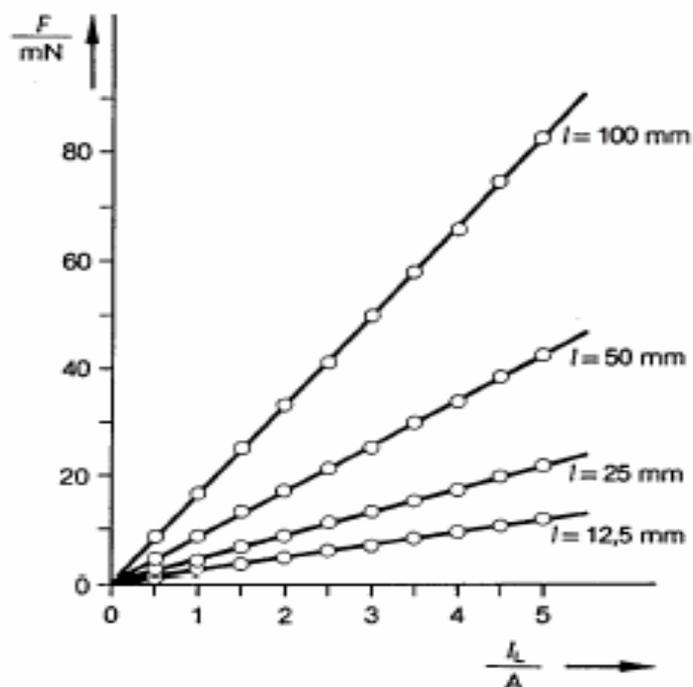
A massa  $m_0$  da espira de condutor é determinada com campo magnético desligado. O campo magnético é então ligado e, a massa  $m$  (aparentemente elevada) medida e, a força Lorentz calculada a partir da diferença entre as duas leituras.

As medidas são feitas de modo similar para as outras três espiras de condutor.

3. O procedimento foi essencialmente descrito no item 2 acima, porém agora com espira de condutor  $l = 50$  mm,  $n = 2$ .

A corrente no condutor é  $I_L = 5$  A. A corrente  $I_M$  nos rolos varia de acordo com a voltagem aplicada. A força Lorentz  $F$  é determinada a partir das leituras, em cada ocasião.

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère



**Fig.2: Força de Lorentz em função da corrente  $I_L$  na espira do condutor.**

### Teoria e Análise

Em um campo magnético com uma indução magnética  $\vec{B}$ , a força  $\vec{F}$  (força Lorentz) atua sobre um carregador de carga móvel, com carga  $q$  e velocidade  $\vec{v}$ :

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}). \quad (1)$$

O vetor força  $\vec{F}$  é perpendicular ao plano ocupado por  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ . Nesse experimento,  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$  são também perpendiculares entre si, assim, a relação seguinte assegura os valores dos vetores:

$$F = q \cdot v \cdot B. \quad (2)$$

A velocidade dos carregadores de carga (elétrons) é medida via corrente elétrica  $I_L$  no condutor. A carga total dos elétrons, na seção do condutor de comprimento  $l$ , deve ser formulada para  $q$ :

$$q \cdot v = I_L \cdot l. \quad (3)$$

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère

Portanto, o que se segue foi obtido para a força Lorentz:

$$F = I_L \cdot l \cdot B. \quad (4)$$

1. As observações mostram que a direção do vetor força depende da direção do percurso dos elétrons e da direção do campo magnético.

No campo, as linhas são paralelas a direção de percurso, uma força atua sobre as espiras de condutor. Em uma indução magnética de  $B = 0$ , a balança muda sua posição com tenuidade quando a corrente  $I$  na espira de condutor for ligada. Em  $I_L = 5$  A, contudo, a mudança na força é totalmente mensurável. A explicação para esse efeito é a de que dois condutores conduzindo uma corrente são mutuamente atraídos. Quando uma corrente flui, as tiras flexíveis de metal mudam sua posição com tenuidade, e podem através disso afetar a posição da balança.

2. Nas duas seções verticais da espira de condutor os elétrons viajam em direções opostas, e as duas forças atuantes sobre eles cancelam uma a outra. Somente a seção horizontal da espira de condutor, cujo comprimento  $l$  é indicado em cada ocasião na espira, afeta a força Lorentz medida. Um das espiras de condutor tem duas voltas ( $n = 2$ ), cada uma delas com 50 mm de comprimento horizontal. A força Lorentz sobre essas espiras de condutor é exatamente equivalente àquela de uma espira simples e de duas vezes o comprimento ( $l = 100$  mm,  $n = 1$ ).

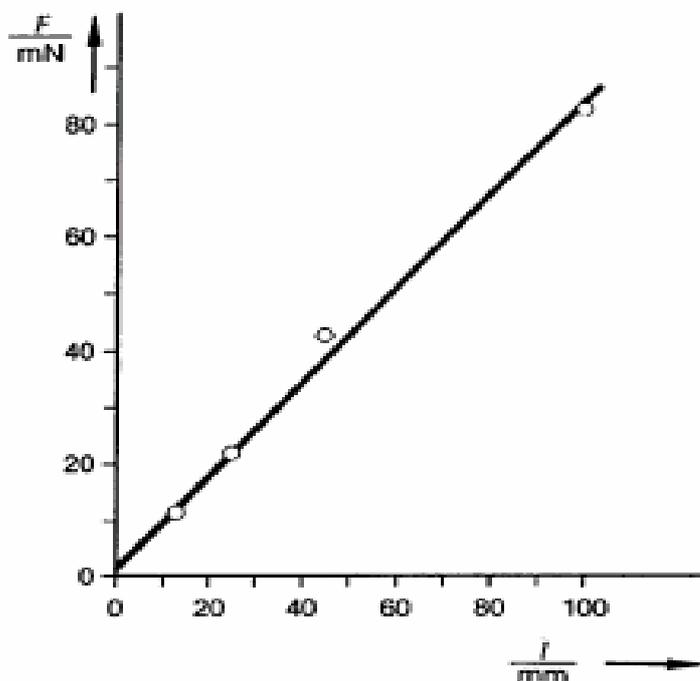
Os resultados experimentais são mostrados na Fig. 2, onde

$$F \sim I_L.$$

Utilizando os parâmetros respectivos, o valor da indução magnética  $B$  pode ser obtido da inclinação da linha de regressão na Fig.2, com um desvio padrão  $s_B$ :

Espira de condutor $l = 12,5$ mm	$B = 184$ mT , $s_B = 1$ mT
Espira de condutor $l = 25$ mm	$B = 173$ mT , $s_B = 1$ mT
Espira de condutor $l = 50$ mm	$B = 168$ mT , $s_B = 1$ mT
Espira de condutor $l = 100$ mm	$B = 164$ mT , $s_B = 1$ mT .

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère



**Fig.3: Força de Lorentz  $F$  em função do comprimento do condutor para  $I_L = 5A$  . corrente na espira 870 mA .**

O baixo valor do desvio padrão indica que os valores medidos ajustam-se razoavelmente bem sobre uma linha reta. A dispersão dos valores determinados para a indução magnética é devida ao campo desgarrado na extremidade do campo magnético uniforme, que exerce forças sobre a parte horizontal da orientação até o espira de condutor. O efeito deles é maior com espiras de condutor pequenas, em contraposição aos longos, pois que a força Lorentz medida é pequena.

Na Fig. 3, a força Lorentz  $F$  para uma corrente fixa  $I_L = 5 A$  é organizada em frente ao comprimento do condutor  $l$  . Obtemos:

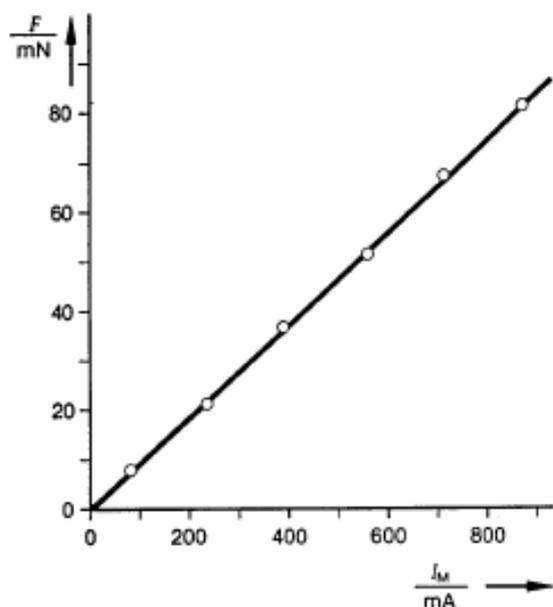
$$F \sim I_L .$$

Como resultado da influência do campo desgarrado descrito acima, o gráfico linear na Fig. 3 não passa exatamente sobre a origem.

3. Os resultados experimentais são mostrados na Fig. 4. A força Lorentz  $F$  é proporcional à corrente  $I_M$  nas espiras do eletro-ímã:

$$F \sim I_M .$$

## 216 – Demonstração da Lei de Ampère



**Fig.4: Força de Lorentz  $F$  em função da corrente  $I_M$  da espira, para a espira =100 do condutor.**

### Aviso

Se tiver disponível um instrumento de medida de campo magnético a indução magnética pode ser medida como uma função da corrente da espira. As medidas mostram que a indução magnética  $B$  e a corrente da espira  $I_M$  são proporcionais no alcance em consideração.

Ajuntando aos resultados da Fig. 4, obtemos, por conseguinte:

$$F \sim B .$$

Com uma corrente nas espiras  $I_M = 870$  mA, a indução magnética no vácuo de 1 cm é  $B = 168$  mT, em concordância com os resultados calculados da inclinação das linhas de regressão na Fig. 2.