

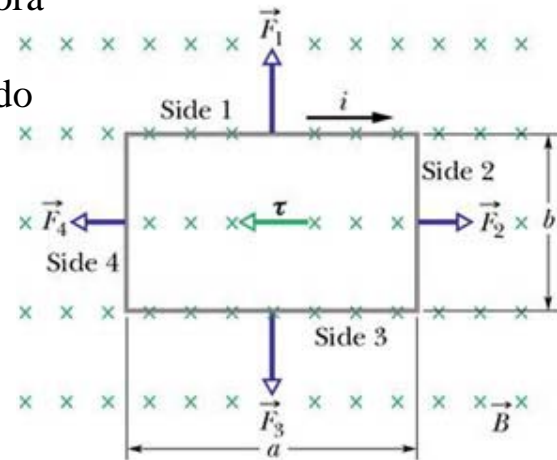
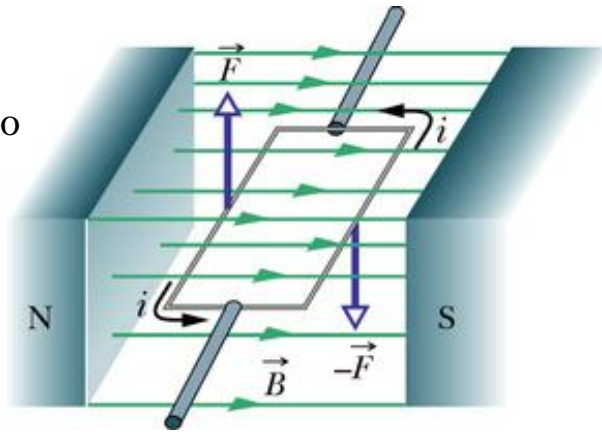
# AULA 17 -TORQUE SOBRE UMA ESPIRA DE CORRENTE

As forças que um campo magnético exerce sobre um fio que transporta corrente pode agora ser estendida para o estudo de uma única espira transportando corrente imersa num campo magnético. A figura ao

lado mostra um motor elétrico simples, formado por uma única espira transportando corrente imersa em um campo magnético  $\mathbf{B}$ . As duas forças  $\mathbf{F}$  e  $-\mathbf{F}$  produzem

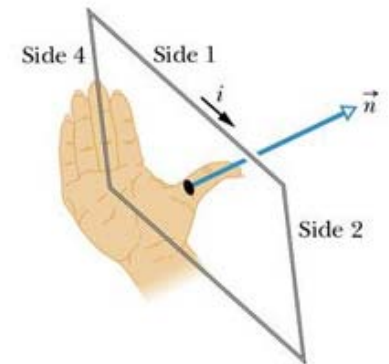
um torque sobre a espira, tendendo a girá-la em torno do seu eixo central. Considere agora

a espira retangular ao lado de lados  $a$  e  $b$ , transportando uma corrente  $i$  que atravessa um campo magnético  $\mathbf{B}$ . Suponha que a espira seja colocada de modo que seus lados mais compridos, 1 e 3, estejam perpendiculares à direção do campo, mas



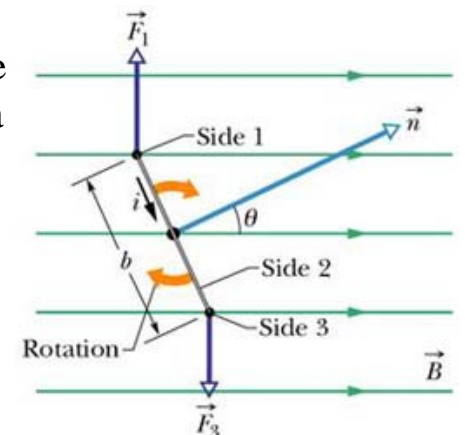
os seus lados mais curtos não estejam. Fios de ligação que permitam a corrente entrar e sair são necessários, mas por simplicidade não são mostrados. Para definirmos a orientação da espira no campo magnético, usamos o vetor normal  $\mathbf{n}$ , que é perpendicular ao plano da espira.

Aponte ou curve seus dedos ( apenas os quatro dedos, e não o polegar ) da sua mão direita no sentido da corrente em qualquer ponto da espira. Seu dedo polegar estendido aponta na direção e no sentido do vetor normal.



Na figura abaixo o vetor normal da espira é mostrado fazendo um ângulo  $\theta$  com a direção do campo magnético. Queremos determinar a força resultante e o torque resultante que atuam sobre a espira nesta orientação.

A força resultante sobre a espira é a soma vetorial das forças que agem sobre os seus quatro lados.



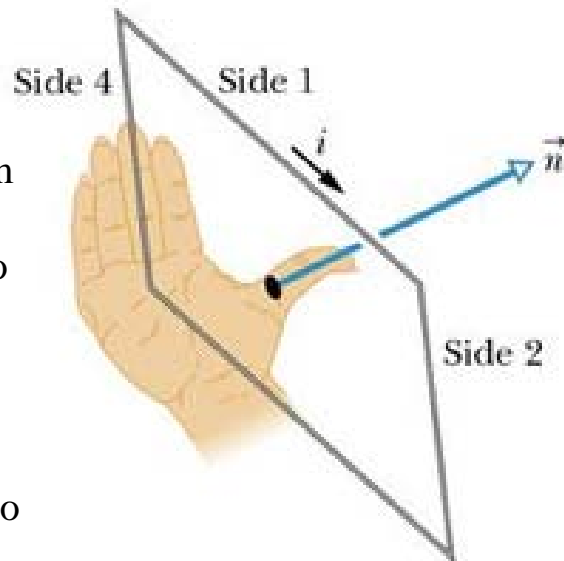
# TORQUE SOBRE UMA ESPIRA DE CORRENTE

Para o lado 2, o vetor  $L$  aponta na direção da corrente e possui intensidade  $b$ . O ângulo entre  $L$  e  $B$  para o lado 2 é igual a  $90^\circ - \theta$ .  $F_2 = ibB \sin(90^\circ - \theta) = ibB \cos \theta$ .

$F_4$  possui a mesma intensidade de  $F_2$  mas em sentido contrário. Assim  $F_2$  e  $F_4$  se cancelam. Sua força resultante é nula, e como a sua linha de ação comum passa pelo centro da espira, seu torque também é nulo.

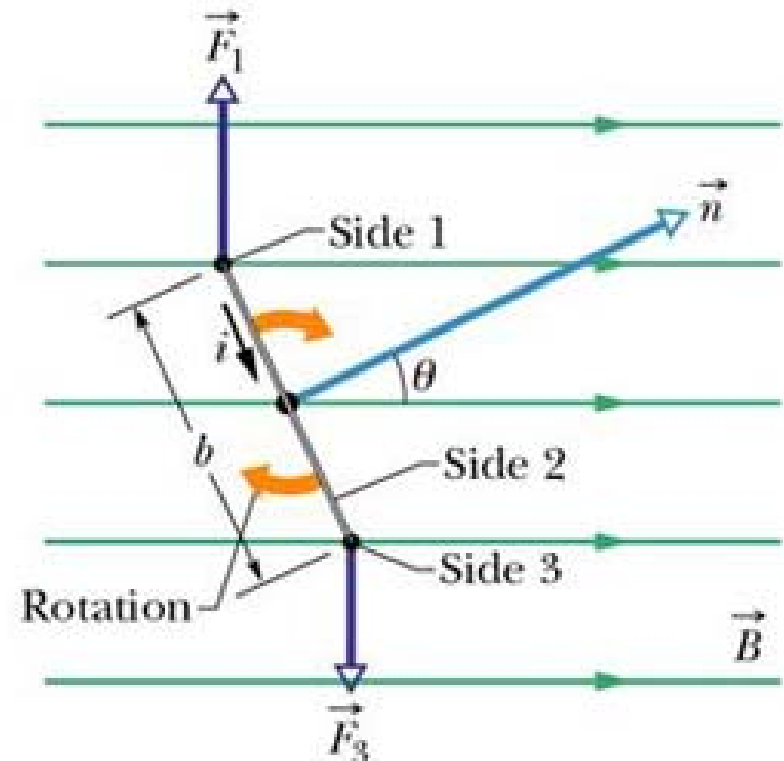
Nos lados 1 e 3 a situação é diferente.

$L$  é perpendicular à  $B$ , então as forças  $F_1$  e  $F_3$  possuem a mesma intensidade  $iaB$ . Como estas duas forças possuem mesma direção mas sentidos opostos, elas não tendem a mover a espira nem para cima nem para baixo, pois estas forças não compartilham a mesma linha de ação, logo elas produzem um torque resultante.



O torque tende a girar a espira de modo a alinhar o seu vetor normal  $n$  com a direção do campo magnético  $B$ . Esse torque possui um braço de alavanca igual  $(b/2) \sin \theta$ , em torno do eixo central da espira. A intensidade do torque devido à  $F_1$  e  $F_2$  é

$$\tau' = \left( iaB \frac{b}{2} \sin \theta \right) + \left( iaB \frac{b}{2} \sin \theta \right) = iabB \sin \theta.$$



# TORQUE SOBRE UMA ESPIRA DE CORRENTE

Suponha que seja substituída agora a única espira de corrente por uma bobina de  $N$  espiras - bobina plana. O torque total sobre a bobina é

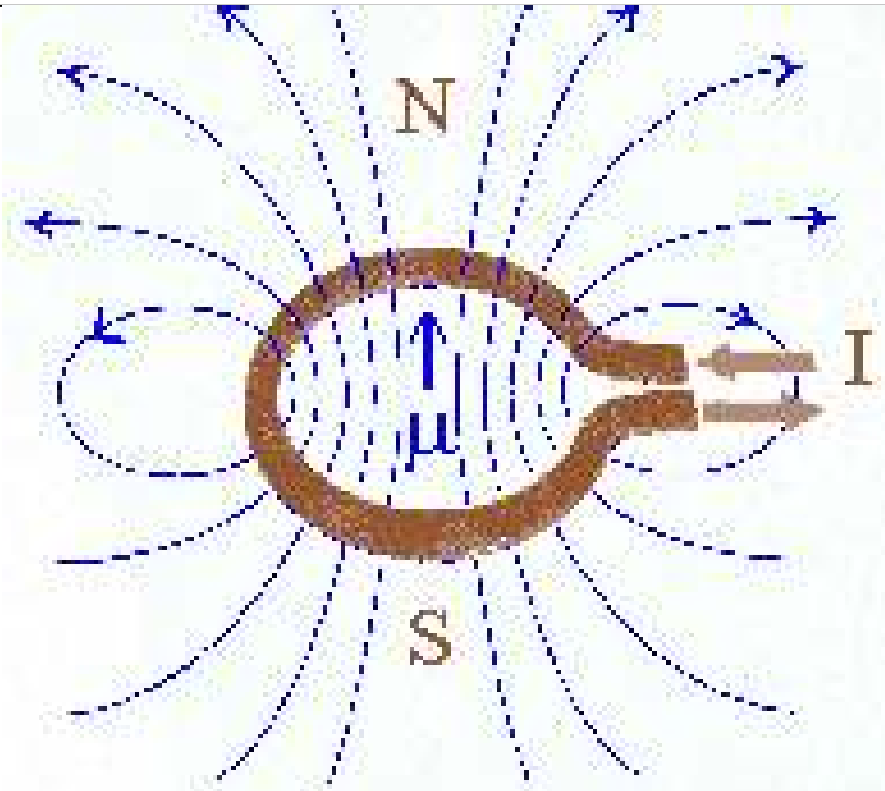
$$\tau = N\tau' = N i a b B \sin \theta = (N i A) B \sin \theta,$$

$A = ab$  é a área delimitada pela bobina.

Uma bobina plana transportando corrente colocada em um campo magnético tenderá a girar de modo que  $\mathbf{n}$  tenha a mesma direção do campo.

Em um motor a corrente é invertida quando  $\mathbf{n}$  começa a se alinhar com o campo, de modo que um torque continue a girar a bobina.

Essa inversão automática da corrente é feita através de um comutador que conecta eletricamente a bobina girante com os contatos estacionários nos fios que fornecem a corrente a partir de alguma fonte.



## Momento de Dipólo Magnético

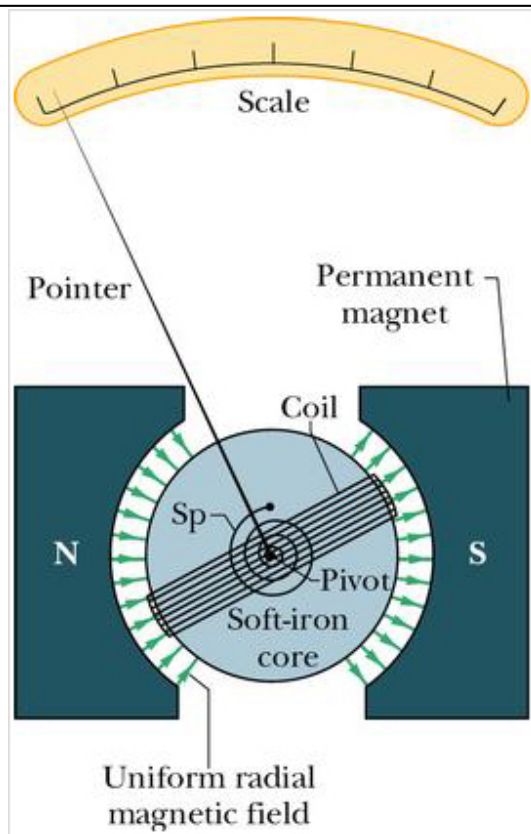
Uma bobina que transporta corrente pode ser descrita pelo vetor *momento de dipólo magnético*  $\mu$ . A direção de  $\mu$  é a mesma do vetor normal ao plano da bobina:

$$\mu = N i A \quad \tau = \mu B \sin \theta, \quad \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B},$$

Energia potencial magnética:  $U(\theta) = - \vec{\mu} \cdot \vec{B}.$

As descobertas de Oersted em 1819 e os trabalhos de Ampère ao longo do ano de 1820 levaram ao aparecimento de um novo tipo de instrumento de medida, o galvanômetro. Ampère, ao realizar as suas experiências, logo percebeu que o comportamento da agulha magnética, sob a acção de uma corrente, podia ser utilizado para avaliar a intensidade da corrente no fio condutor.

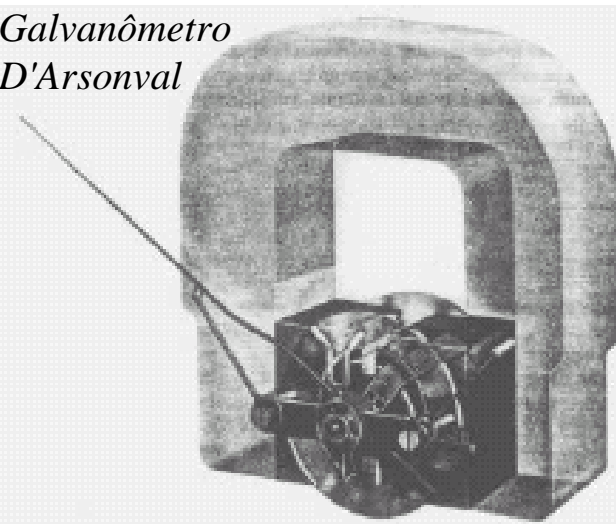
O conhecimento do efeito magnético da corrente elétrica possibilitou a construção de aparelhos medidores que utilizassem ponteiros. A figura ao lado mostra o arranjo básico de um medidor desse tipo: um eletroíma (bobina móvel), fixado a um eixo que pode girar. O ponteiro é preso a este eixo, e um ímã permanente é colocado próximo ao eletroíma, fixo à carcaça. Quando uma corrente elétrica é estabelecida no fio que



forma o eletroíma, este criará na região um outro campo magnético, havendo uma superposição desse campo com o campo criado pelo ímã na região. A força magnética de interação entre o ímã permanente e o eletroíma moverá este último por estar fixado ao eixo móvel, deslocando consigo o ponteiro. Como a intensidade da força magnética depende da corrente elétrica, o ponteiro gira mais quanto maior for a

corrente. Ao girar, o eletroíma comprime uma mola de formato espiral; assim, o ponteiro estabiliza-se quando as forças magnética e elástica se equilibram. Esse conjunto, funcionando dessa maneira, é denominado *galvanômetro*. A base de funcionamento dos instrumentos analógicos é o *galvanômetro de bobina móvel* ou *galvanômetro de D'Arsonval*, um medidor de correntes muito baixas cujo movimento básico é geralmente identificado como movimento D'Arsonval (inventor do mecanismo), no qual uma bobina pode se movimentar entre os pólos de um ímã.

*Galvanômetro D'Arsonval*

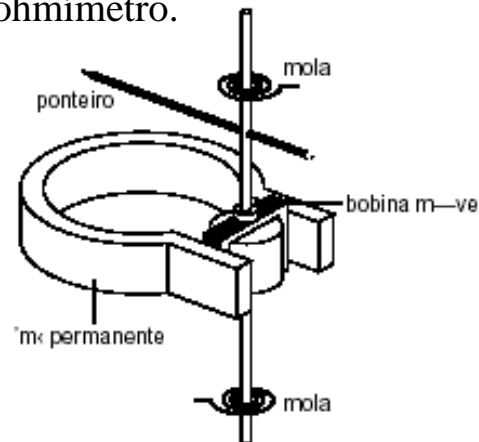


Quando um galvanômetro é utilizado para medir a corrente elétrica em um circuito, o fio do eletroíma deve ser conectado em série a ele. Para medir tensão em um circuito, o eletroíma deve ser conectado em paralelo a ele. Um amperímetro é um Galvanômetro com a escala ampliada.

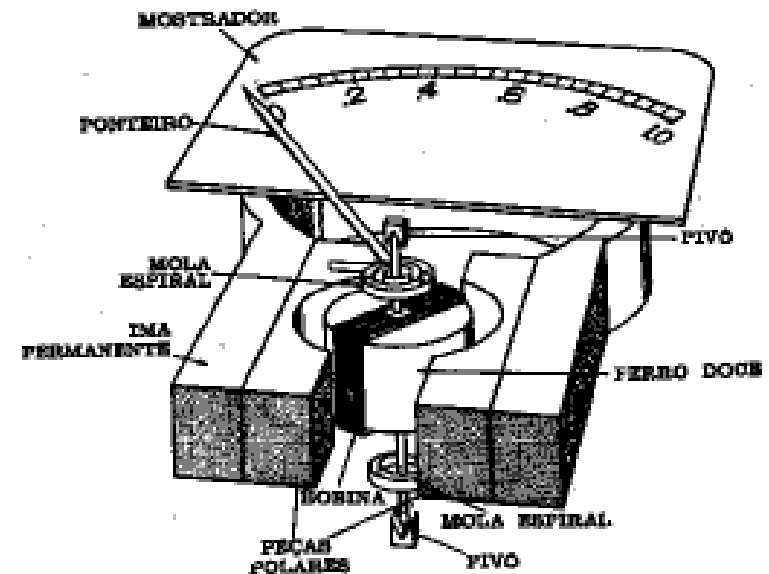
# GALVANÔMETRO

Quando uma corrente circula pela bobina haverá uma interação entre o campo do imã fixo e do eletroímã fazendo aparecer forças que provocarão um deslocamento da bobina móvel, deslocando junto um ponteiro o qual dará uma indicação. Quanto maior a corrente, maior a torção. Fixando-se um ponteiro à espira (ou a um conjunto de espiras), pode-se medir a intensidade da corrente elétrica. O ângulo deslocado será proporcional à intensidade da corrente através da bobina. A leitura é exibida por meio da deflexão de um ponteiro sobre uma escala. Se calibrarmos a escala poderemos efetuar uma medida de corrente. Em eletrônica, basicamente existem três grandezas a serem medidas, a tensão (V), a corrente (i) e a resistência (R). Os instrumentos usados para medir estas grandezas, são, respectivamente, o voltímetro, o amperímetro e o ohmímetro.

*Princípio de funcionamento do galvanômetro: a mola se opõe à rotação da espira permitindo a medida da corrente elétrica que a percorre.*



Como já foi dito, o galvanômetro está presente em todos os medidores elétricos que utilizam ponteiros, como medidores de tensão (voltímetros) e de corrente elétrica (amperímetros).



As principais características de tal aparelho são: resistência interna ( $R_i$ ), corrente de fundo de escala ( $i_{GM}$ ) e a sensibilidade (S) definida como sendo  $S = 1/i_{GM}$  sendo especificada em  $K\Omega/V$ . Assim é que um instrumento que tem fim de escala de  $50\mu A$ , terá uma sensibilidade de  $1/50\mu A = 20K\Omega/V$ .