

## 2.5- Força Magneto-Motriz

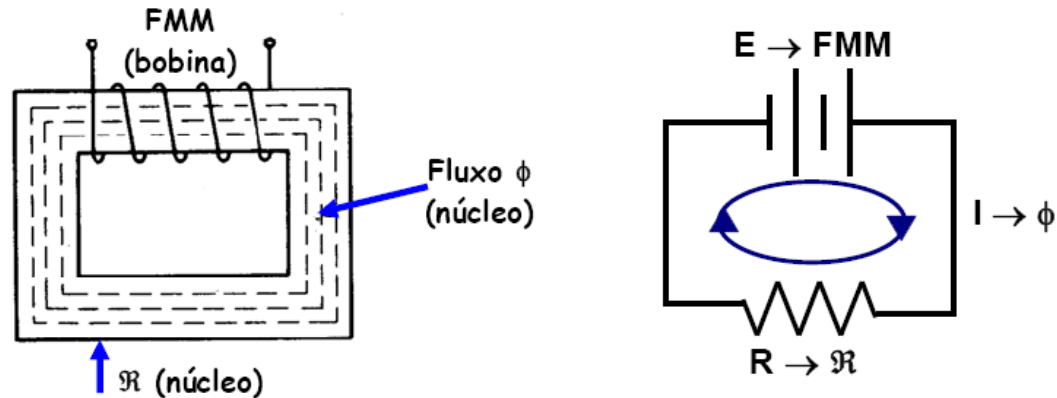


Figura 4.15 - Circuito magnético fechado com núcleo de ferromagnético e seu equivalente elétrico.

A Força Magneto-motriz produzida por uma bobina é dada pelo produto:

$$FMM = N \cdot I$$

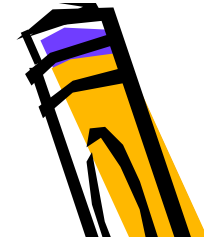
onde:

FMM - Força Magneto-Motriz, em Ampère-espira [Ae]

N - Número de espiras;

I - Intensidade da corrente elétrica, em Ampères [A].





$$FMM = H \cdot \ell$$

onde:

FMM - Força Magneto-Motriz, [Ae]

H - Força Magnetizante ou Campo Magnético Indutor, [Ae/m];

$\ell$  - Comprimento médio do caminho do circuito magnético, [m].

**Observação:** O comprimento médio do caminho do circuito magnético é o comprimento total de uma linha de campo posicionada no centro do núcleo, como mostra a linha de campo grifada na figura 4.14.

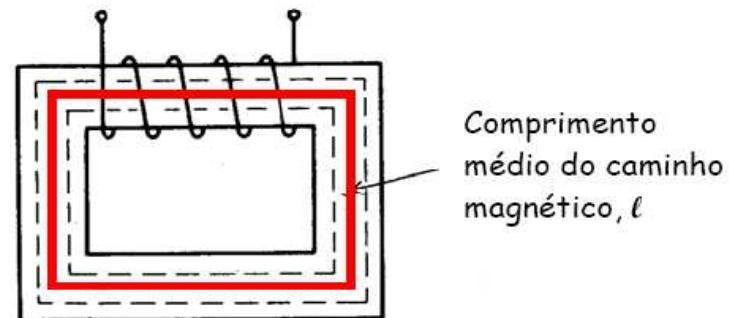
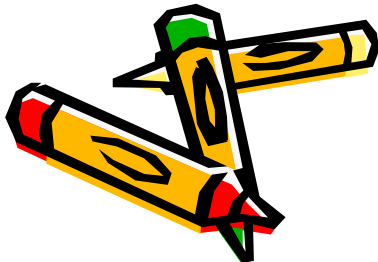


Figura 4.14 - Comprimento médio do caminho do circuito magnético.



Exemplo:

Na figura 4.15 considere que a bobina possui 120 espiras percorridas por uma corrente de 500mA e que o comprimento médio do circuito magnético é  $\ell = 0,15\text{m}$  e cuja área da seção transversal do núcleo é  $2\text{ cm}^2$ .

a) Determine o campo magnético indutor e a força magneto-motriz;

$$H = \frac{N \cdot I}{\ell} = \frac{120 \cdot 0,5}{0,15} = 400 \text{ Ae / m}$$

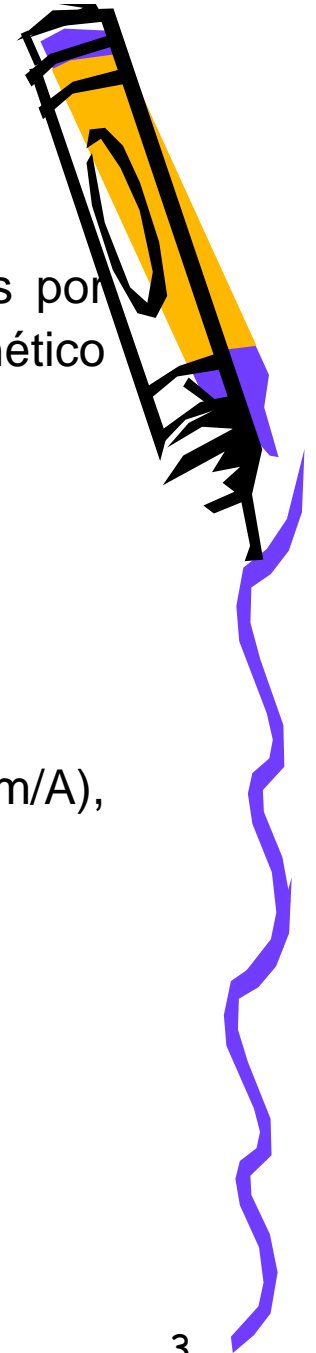
$$\text{FMM} = H \cdot \ell = 400 \cdot 0,15 = 60 \text{ Ae}$$

b) Considerando a permeabilidade do material sendo  $\mu = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (Tm/A)}$ , determine a relutância magnética do núcleo;

$$\mathfrak{R} = \frac{\ell}{\mu \cdot A} = \frac{0,15}{5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = \frac{0,15}{10 \cdot 10^{-8}} = 0,15 \cdot 10^7 \text{ Ae/Wb}$$

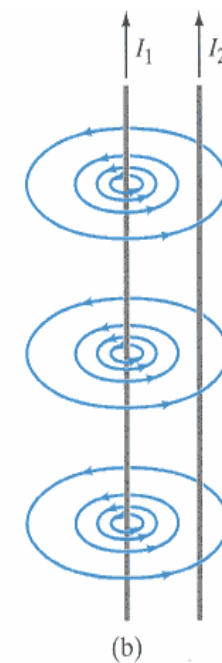
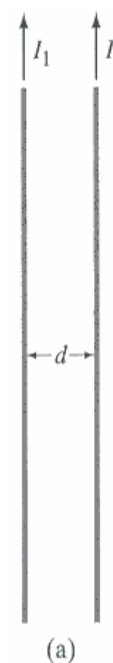
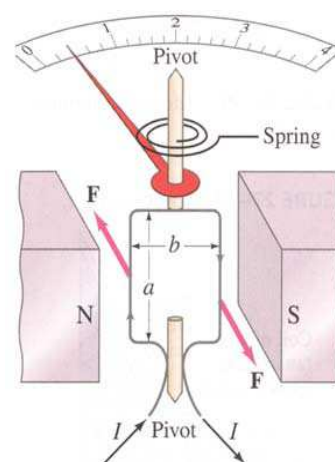
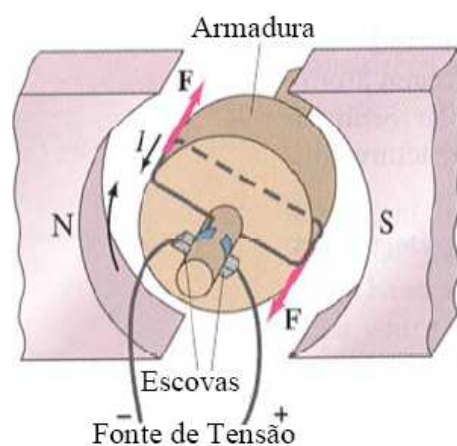
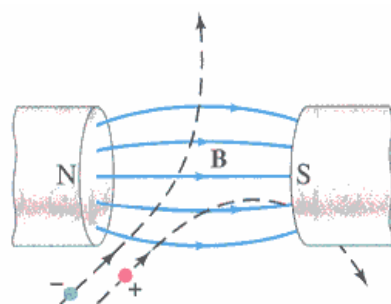
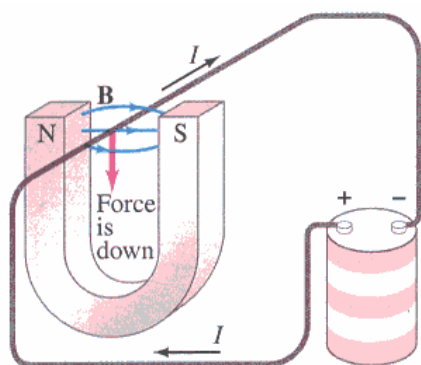
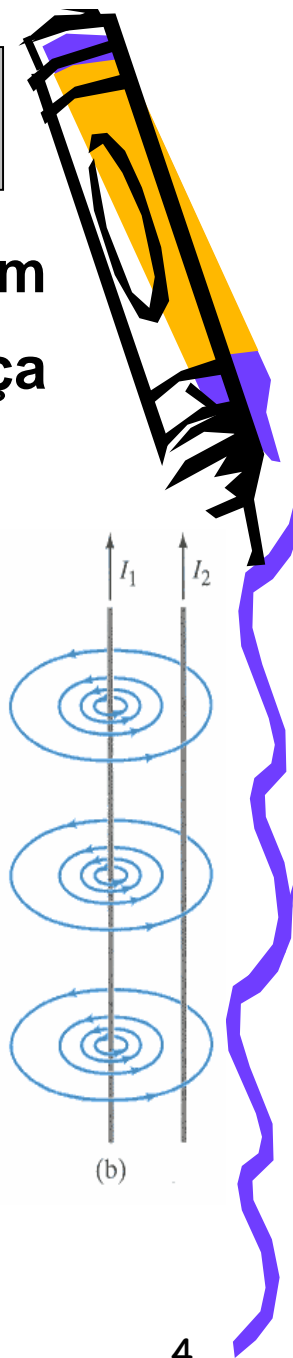
c) Determine a densidade de fluxo magnético no núcleo (B).

$$B = \mu \cdot H = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,2 \text{ T}$$



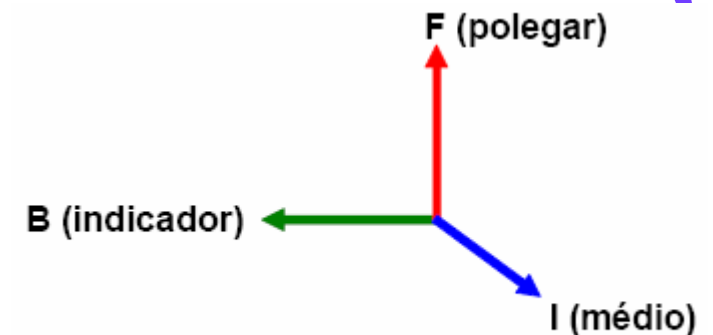
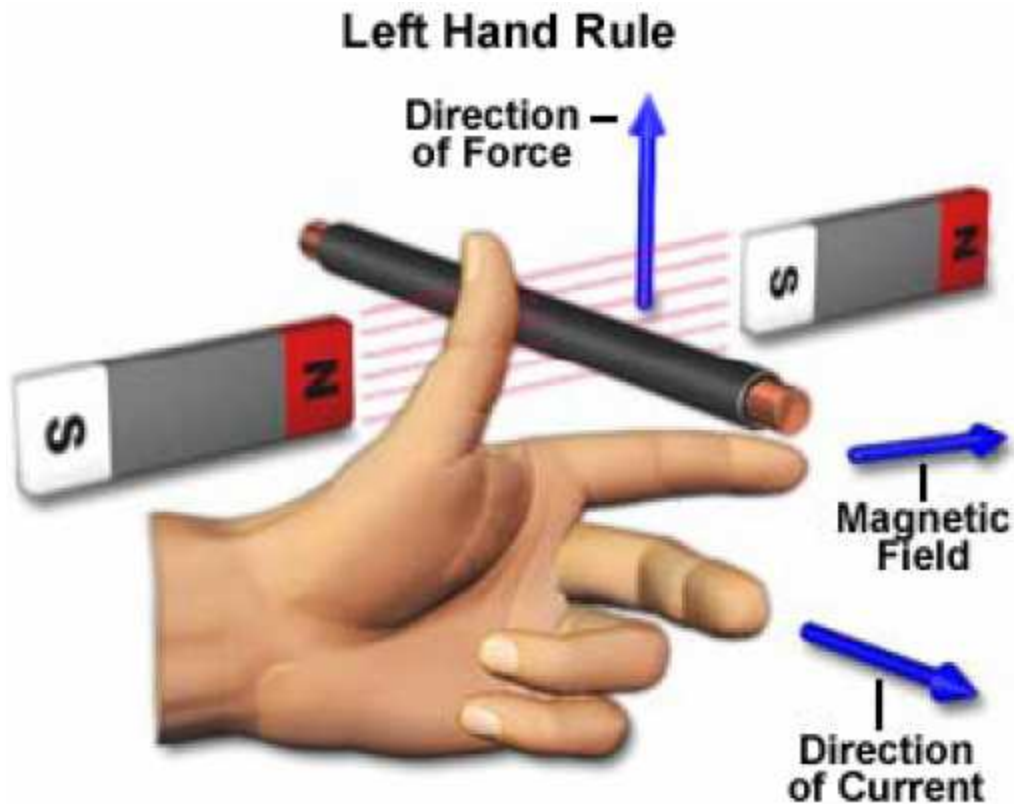
## 2.6- Força Eletromagnética

Um condutor percorrido por corrente elétrica, imerso em um campo magnético, sofre a ação de uma força eletromagnética.



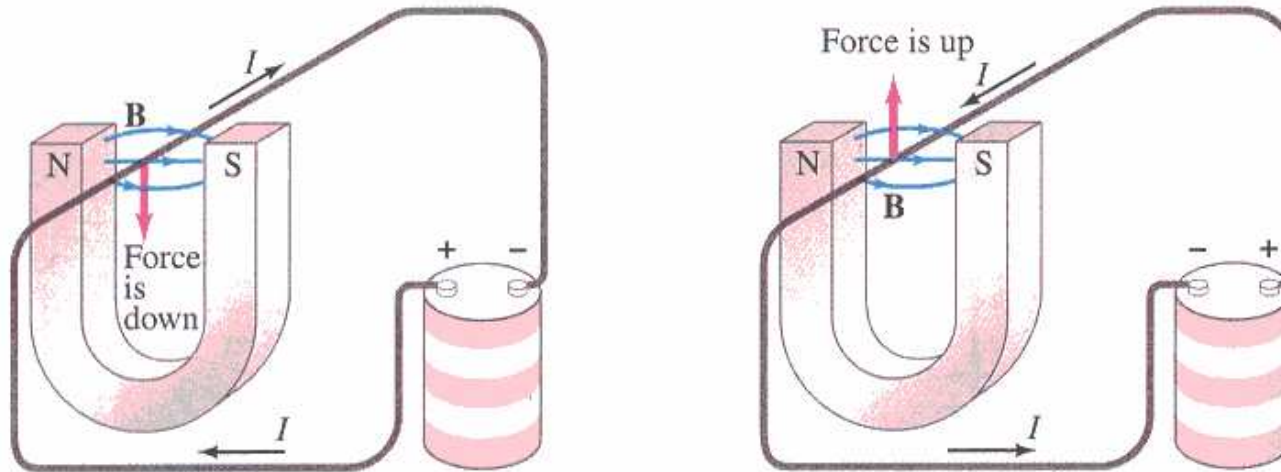
# REGRA DE FLEMING: para determinar a relação entre $I$ , $H$ e $F$ .

## MÃO ESQUERDA PARA AÇÃO MOTRIZ



(b) Ação Geradora: mão direita

## A. Força Eletromagnética sobre um Condutor Retilíneo



A força age na direção perpendicular às linhas de campo.

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin\theta$$

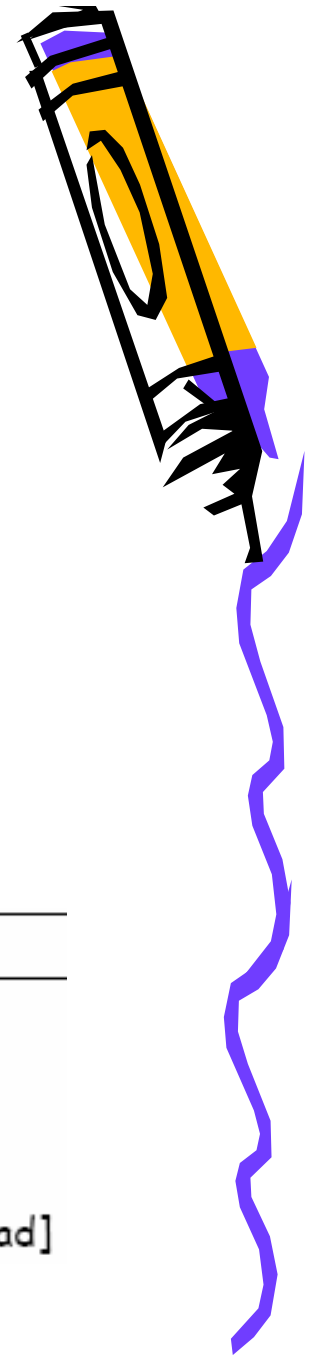
onde:

F - intensidade do vetor força eletromagnética [N];

B - densidade de campo magnético ou densidade de fluxo magnético [T];

$\ell$  - comprimento ativo do condutor sob efeito do campo magnético [m];

$\theta$  - ângulo entre as linhas de campo e a superfície longitudinal do condutor [° ou rad]



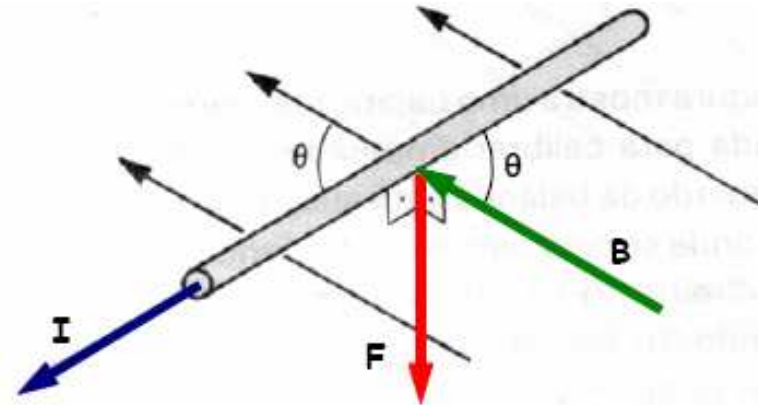


Figura 5.2 - Força magnética sobre um condutor retilíneo.

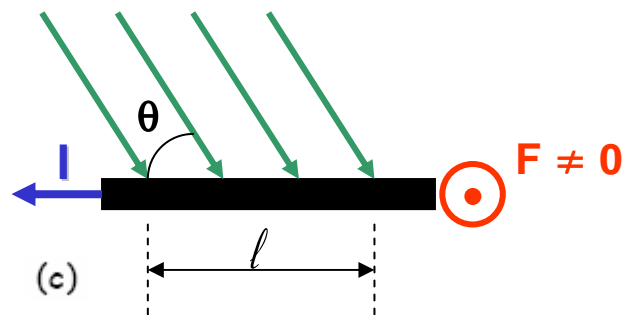
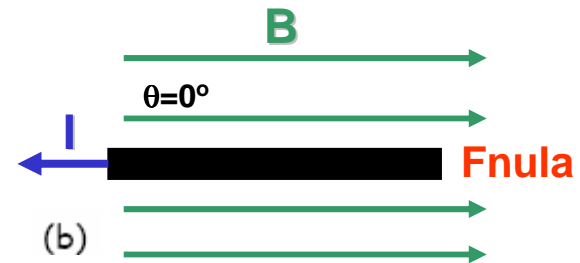
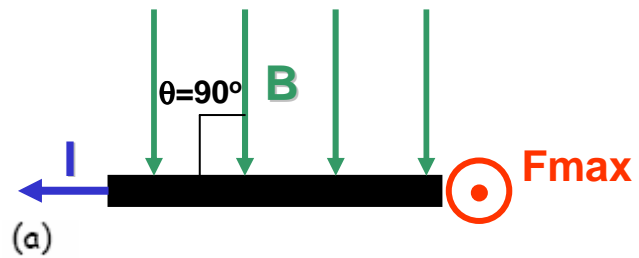
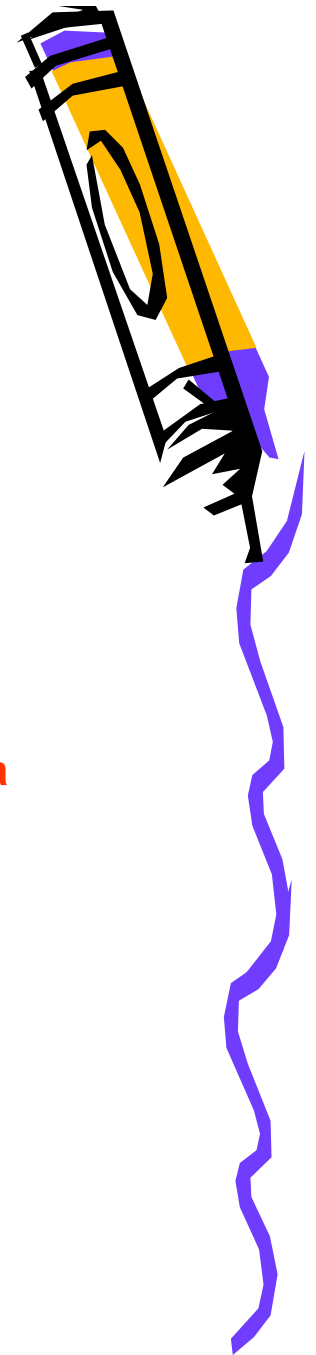


Figura 5.3 - Força magnética depende do ângulo de incidência do campo magnético.





**Exemplo 5.1.1.**

Um condutor retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica de 5A e está com 20cm de seu comprimento longitudinal imerso em um campo magnético uniforme de 3T que o atinge fazendo um ângulo de 30°, como mostra a figura 5.4. Determine o vetor força eletromagnética resultante (módulo, direção e sentido).

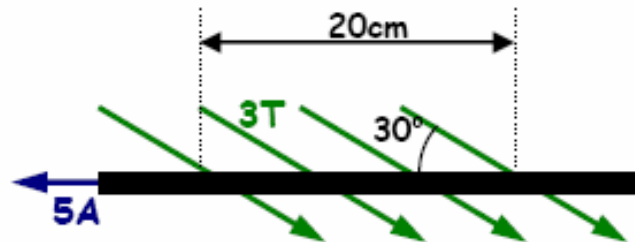
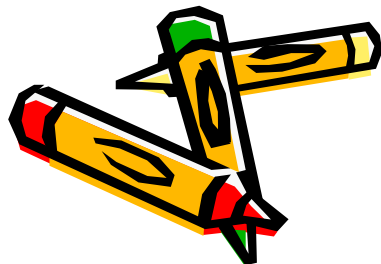


Figura 5.4 - Figura para o exemplo 5.1.1.

O módulo da força eletromagnética sobre o condutor é dado por:

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin\theta = 3 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot \sin(30^\circ) = 1,5\text{N}$$

A direção deve ser perpendicular à corrente e ao plano do papel. O sentido é determinado pela Regra de Fleming para a mão esquerda, indicando sentido para fora do plano do papel (  $\odot$  ).



## C. Força Eletromagnética entre Condutores Paralelos

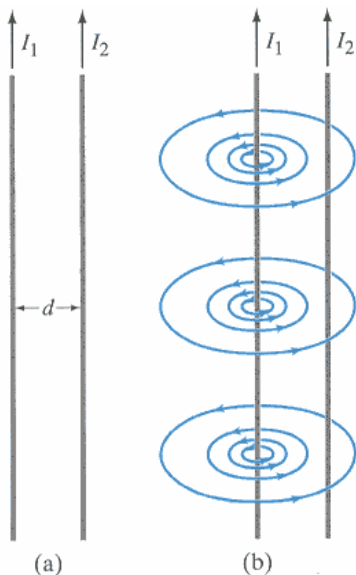
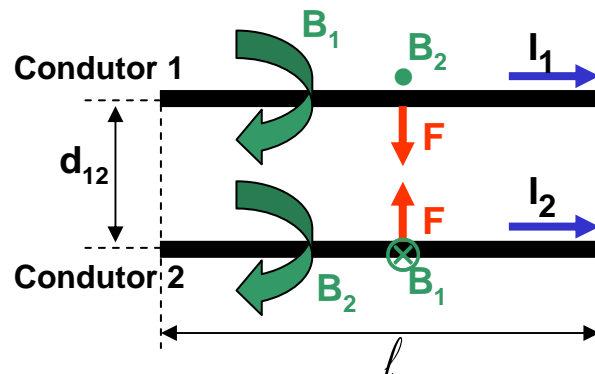
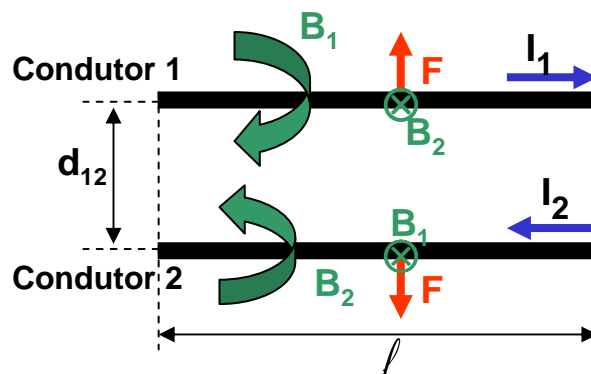


Figura 5.11 – Dois condutores paralelos percorridos por corrente sofrem interação entre seus campos magnéticos.



a) ATRAÇÃO.



b) REPULSÃO.

$$F = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \ell}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

onde:

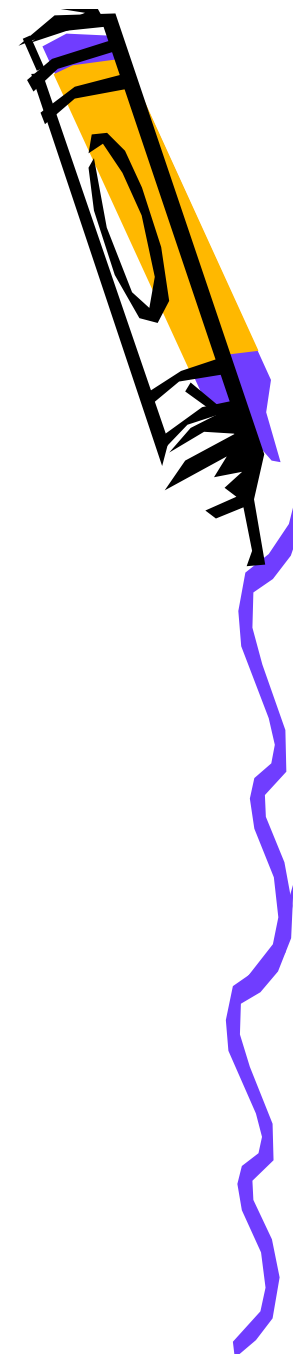
F - Força elétrica mútua de interação entre condutores paralelos [N];

$\mu$  - Permeabilidade magnética do meio;

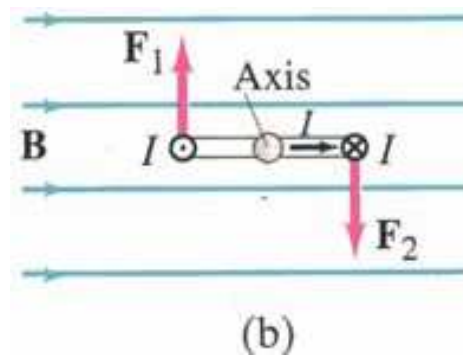
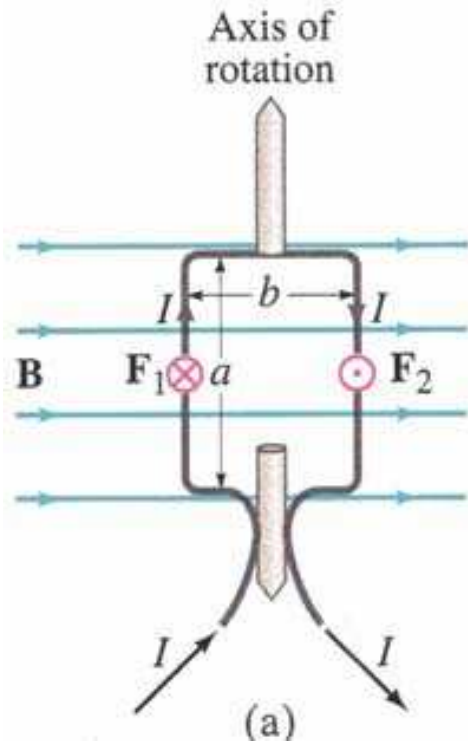
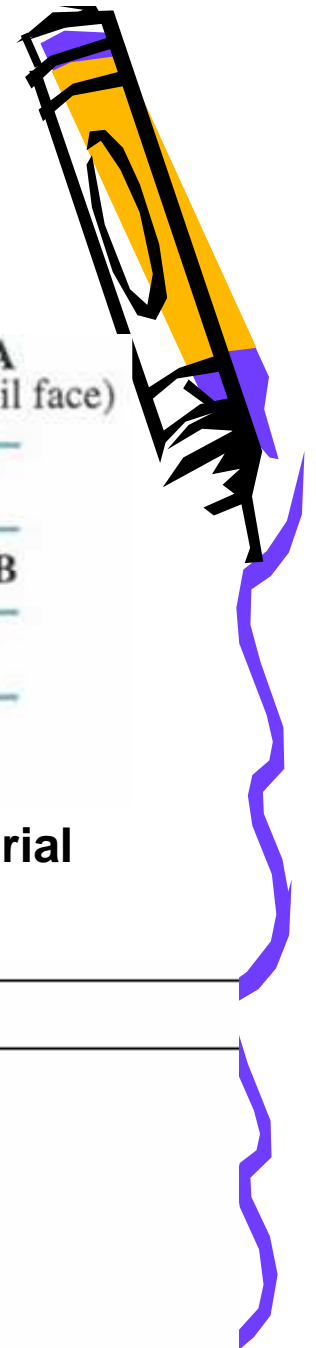
$I_1, I_2$  - corrente elétrica nos condutores [A];

$\ell$  - comprimento dos condutores [m];

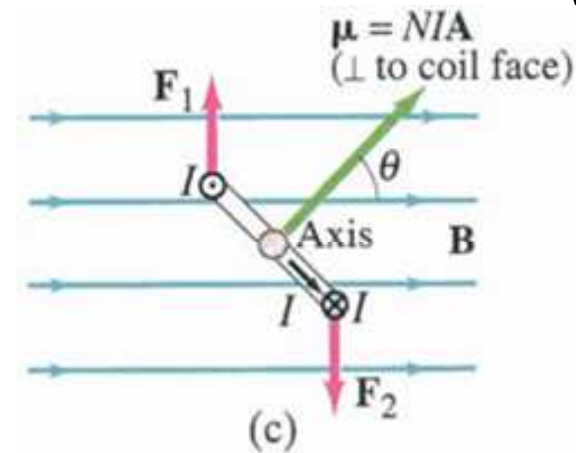
$d_{12}$  - distância entre os centros dos condutores [m]



## D. Torque de Giro de uma Espira percorrida por uma corrente



Vista superior



Composição vetorial

$$\tau = N \cdot B \cdot I \cdot A \cdot \sin \gamma$$

onde:

$\tau$  - torque de giro [N.m];

$N$  - número de espiras;

$B$  - densidade de campo magnético [T];

$I$  - corrente elétrica na(s) espira(s) [A];

$A$  - área das espiras ( $a \times b$ ) [m<sup>2</sup>];

$\gamma$  - ângulo da normal (perpendicular) à face da espira com a direção das linhas de campo [° ou rad].

# APLICAÇÕES:

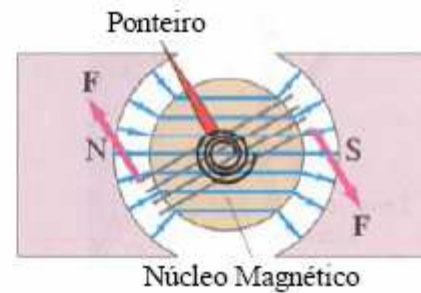
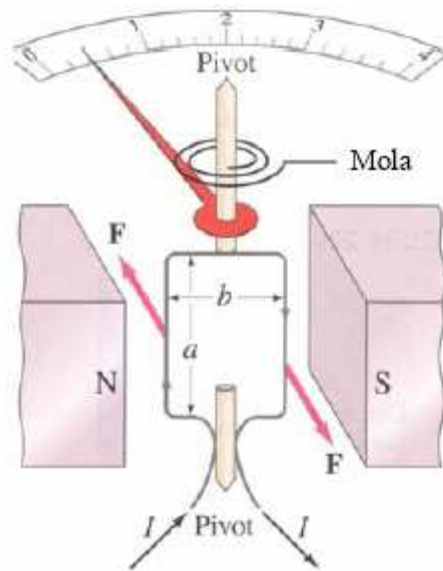


Figura 5.15 - Amperímetro básico; (a) vista lateral; (b) vista superior. (Fonte: Giancoli, 2000)

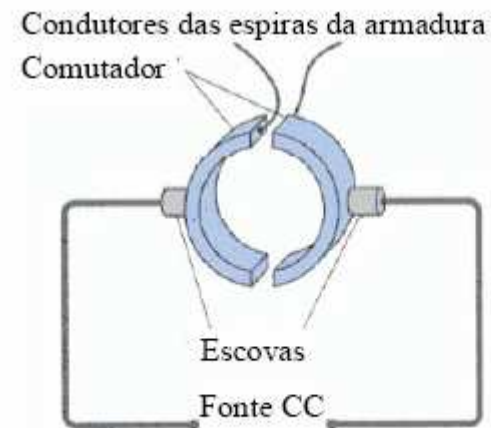
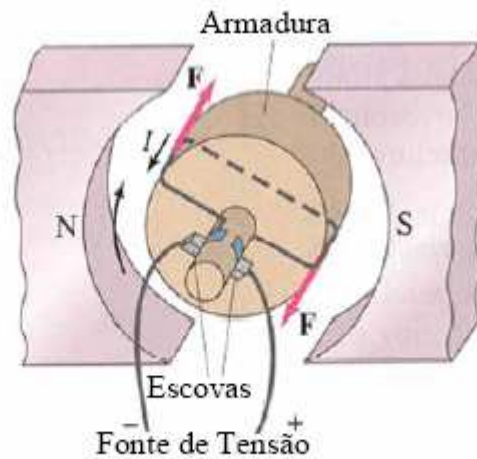


Figura 5.16 - Motor de Corrente Contínua: (a) estrutura básica; (b) detalhe do comutador (Fonte: Giancoli)

