

Força magnetizante

Vetor campo magnético indutor ou força magnetizante:

- É o campo induzido (gerado) pela corrente elétrica na bobina, independentemente da permeabilidade magnética do material do núcleo (meio);
- Campo magnético indutor ou força magnetizante (H);
- Unidade de medida é Ampères-espira/metro: Ae/m.

$$\mathbf{B} = \frac{\mu \cdot \mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\frac{\mathbf{B}}{\mu} = \frac{\mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu}$$

Força magnetizante

Relação entre os vetores densidade de campo magnético e campo magnético indutor:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}$$

A Densidade de Fluxo Magnético B é o efeito da Força Magnetizante H num dado meio μ .

No condutor retilíneo:
$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

Na espira circular:
$$H = \frac{I}{2 \cdot R}$$

Na bobina toroidal:
$$H = \frac{N \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

Applets em java →



Força magnetizante

O campo eletromagnético depende basicamente de:

- Da intensidade da corrente;
- Da forma do condutor (reto, espira ou solenóide);
- Do meio (permeabilidade magnética);
- Das dimensões;
- Do número de espiras.

Força magneto-motriz

FMM:

- Força magneto-motriz (FMM) é a causa da produção do fluxo no núcleo de um circuito magnético;
- Unidade de medida: Ampère-espira [Ae].

$$FMM = N \cdot I$$

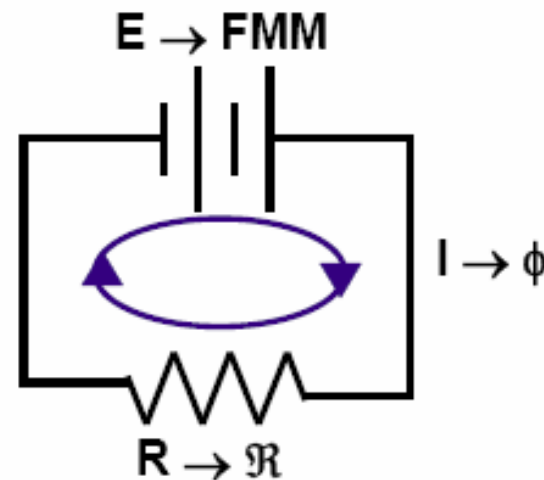
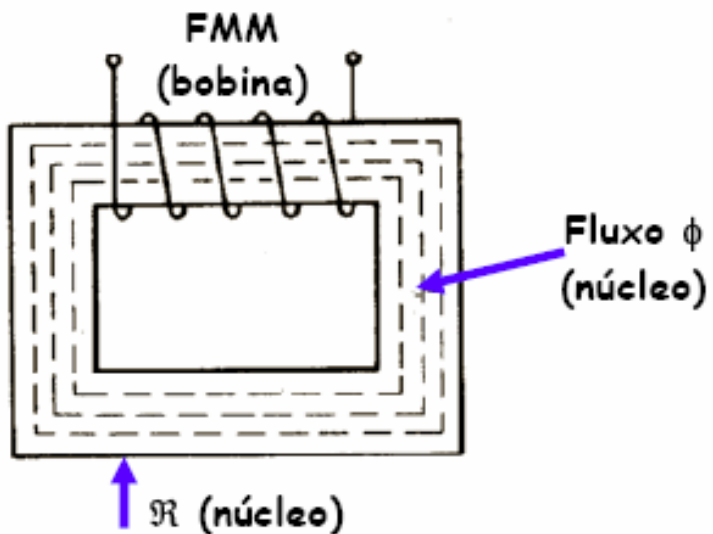
$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l}$$

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$H = \frac{FMM}{l} \longrightarrow \boxed{FMM = H \cdot I}$$

- FMM em [Ae];
- H [Ae/m];
- l [m].

Força magneto-motriz



$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{H \cdot l}{B \cdot A}$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$\phi = B \cdot A$$

$$\mathfrak{R} = \frac{FMM}{\phi}$$

Força magneto-motriz

Exemplo 4.4.1

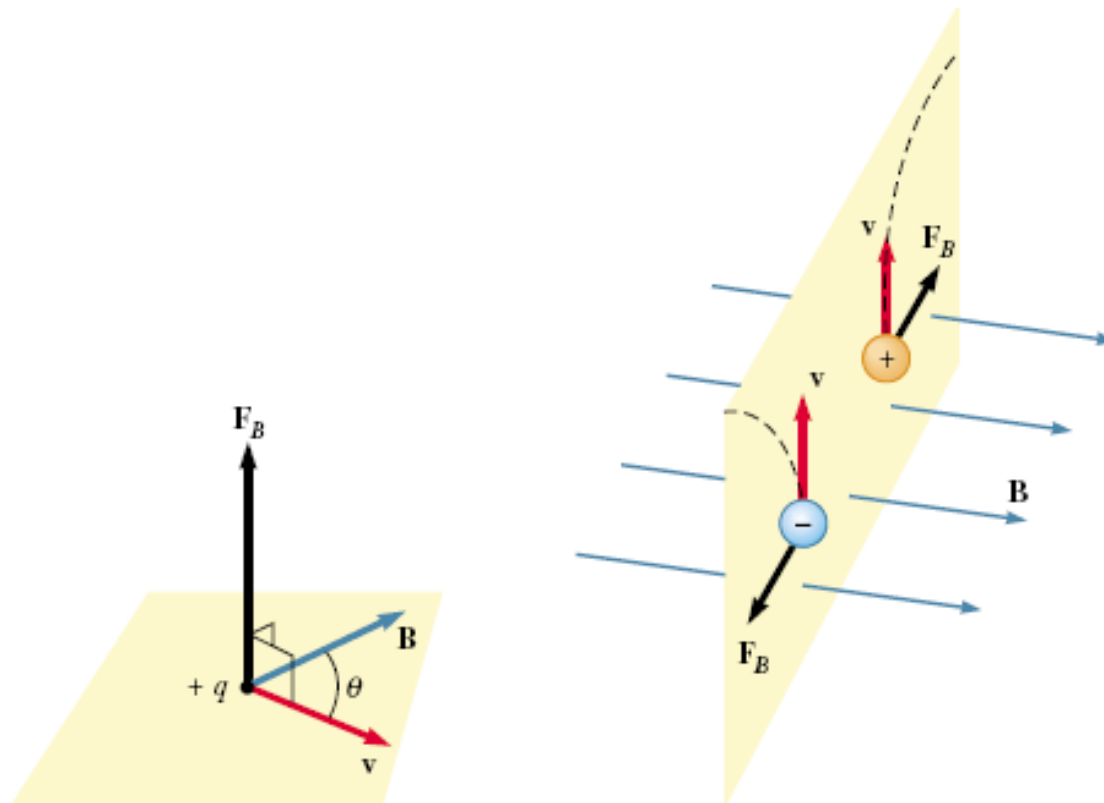
Na figura 4.10 considere que a bobina possui 120 espiras percorridas por uma corrente de 500mA e que o comprimento médio do circuito magnético é $\ell = 0,15\text{m}$. Determine o campo magnético indutor e a força magneto-motriz.

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

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

Força eletromagnética

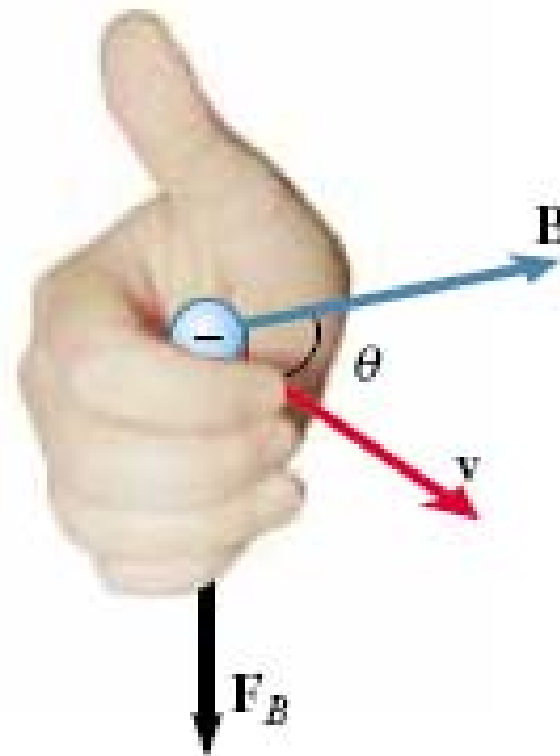
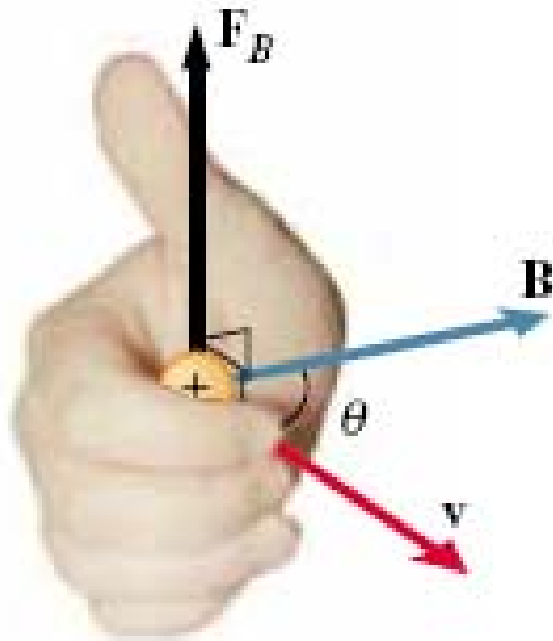
Um condutor percorrido por corrente elétrica, dentro de um campo magnético sofre a ação de uma força eletromagnética.



A força é perpendicular aos vetores v e B .

Força eletromagnética

$$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \rightarrow F_B = |q|vB \sin \theta$$



Força eletromagnética num condutor retilíneo

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \text{sen}\theta$$

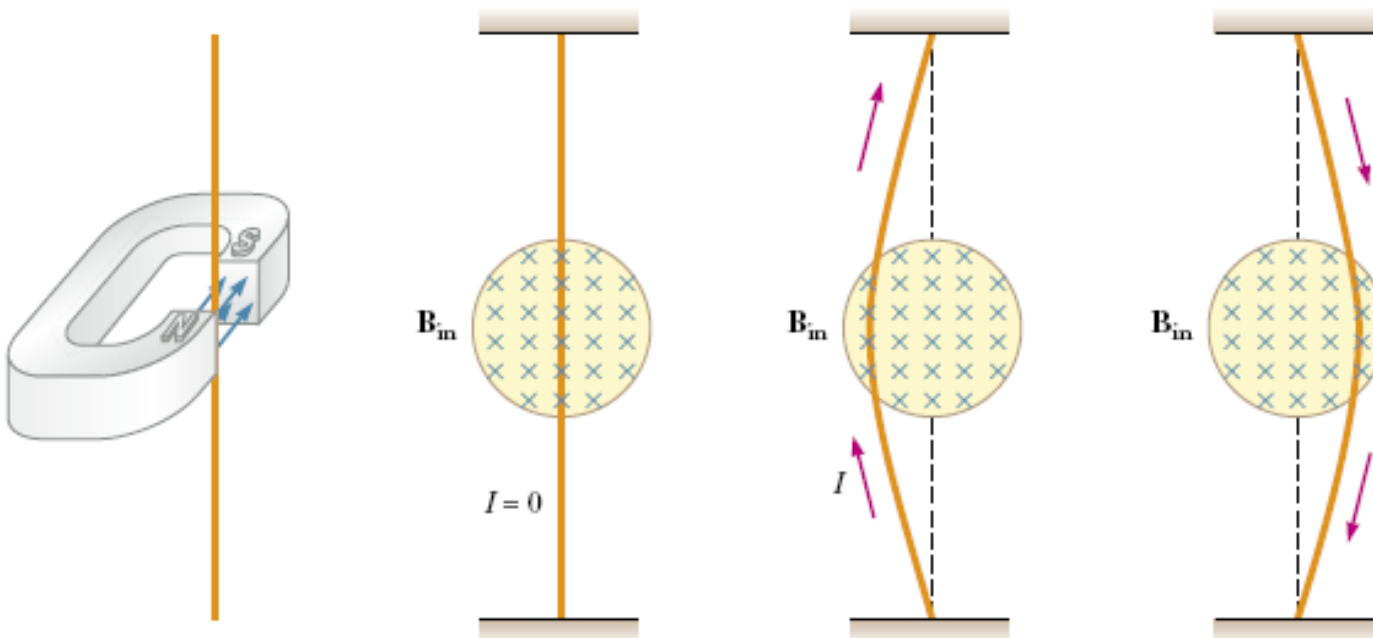
onde:

F - intensidade do vetor força eletromagnética [N];

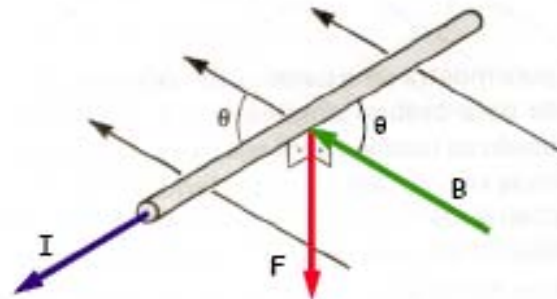
B - densidade de campo magnético ou densidade de fluxo magnético [T];

ℓ - comprimento ativo do condutor sob efeito do campo magnético [m];

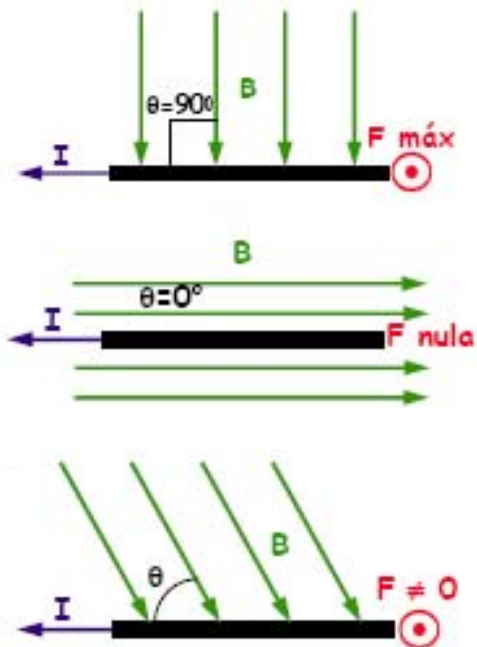
θ - ângulo entre as linhas de campo e a superfície longitudinal do condutor [$^{\circ}$ ou rad]



Força eletromagnética num condutor retilíneo



Força magnética sobre um condutor retilíneo.



Força magnética depende do ângulo de incidência do campo magnético.

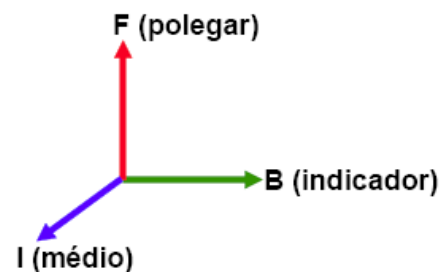
Força eletromagnética num condutor retilíneo

Regra da mão esquerda – ação motriz:

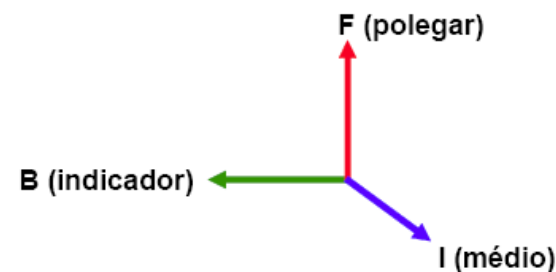
- o dedo polegar indica o sentido da força magnética, F .
- o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético, B .
- o dedo médio indica o sentido do corrente, I .

Regra de Fleming:

- **Ação Motriz - Regra da Mão Esquerda:** quando resulta uma força:
 - o dedo polegar indica o sentido da força magnética, F .
 - o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético, B .
 - o dedo médio indica o sentido do corrente, I .
- **Ação Geradora - Regra da Mão Direita:** quando resulta uma corrente gerada:
 - o dedo polegar indica o sentido da força magnética, F .
 - o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético, B .
 - o dedo médio indica o sentido do corrente, I .

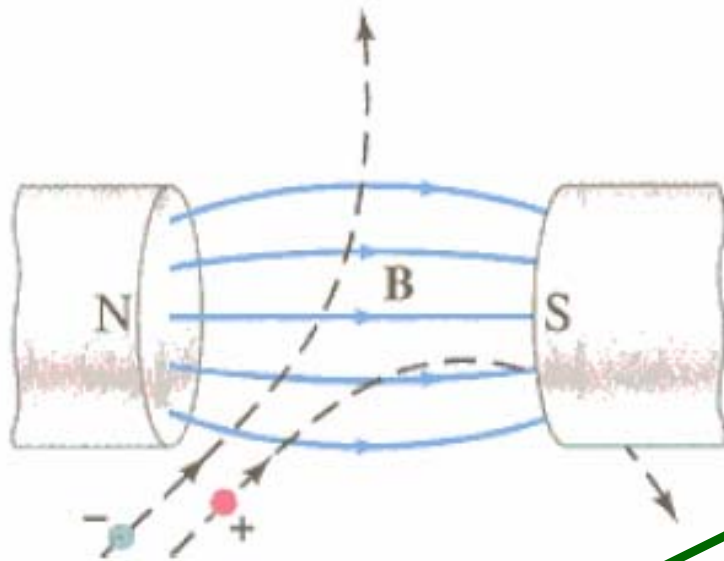


Ação Motriz: mão esquerda



Ação Geradora: mão direita

Força eletromagnética sobre uma partícula



$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \text{sen}\theta$$

$$I = \frac{q}{t}$$

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \text{sen}\theta$$

$$F = B \cdot \frac{q}{t} \cdot v \cdot t \cdot \text{sen}\theta$$

F - módulo do vetor força magnética resultante sobre a partícula carregada [N];

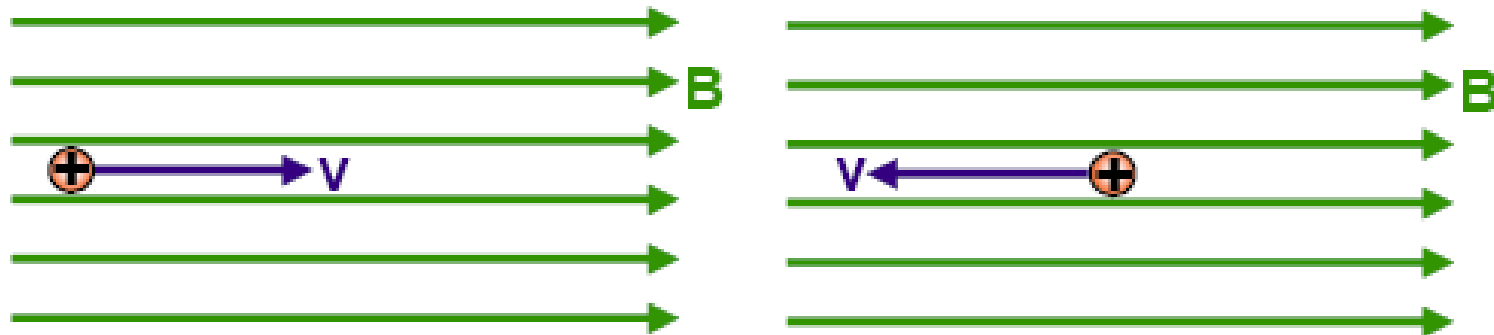
B - módulo da densidade de campo magnético ou densidade de fluxo [T];

q - quantidade de carga elétrica da partícula [C];

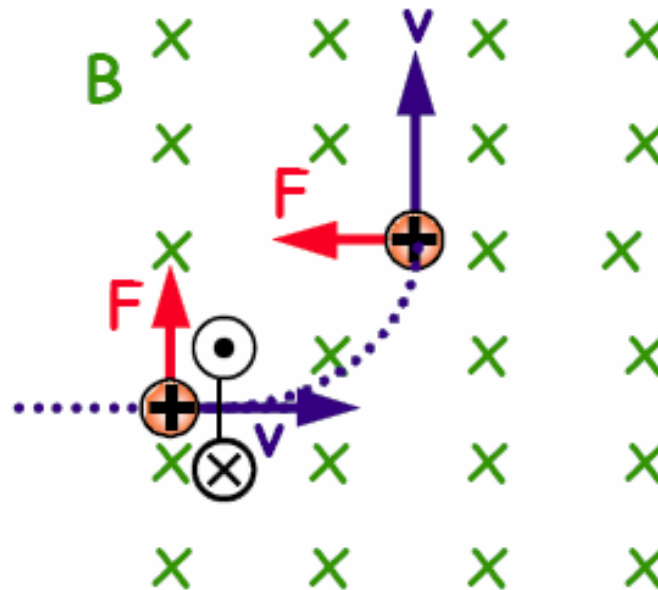
v - velocidade de deslocamento [m/s]

θ - ângulo entre a direção de deslocamento e as linhas de campo [° ou rad]

Força eletromagnética sobre uma partícula

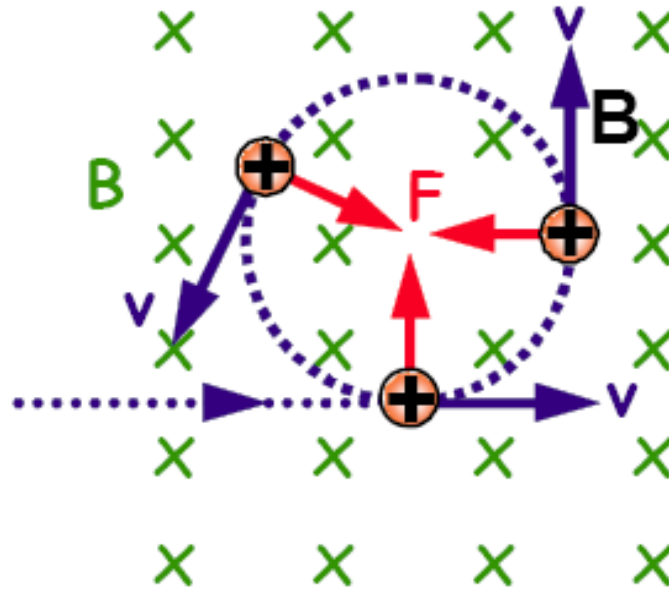


partícula positiva em movimento retilíneo uniforme na mesma direção do campo.



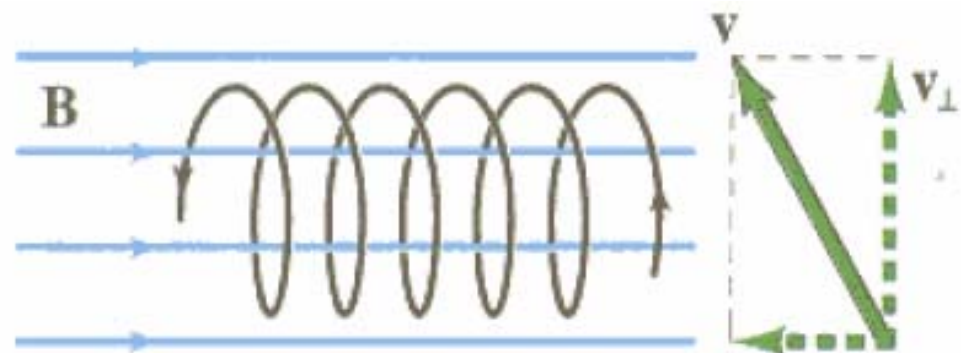
Força exercida sobre uma partícula em deslocamento transversal à direção do campo.

Força eletromagnética sobre uma partícula

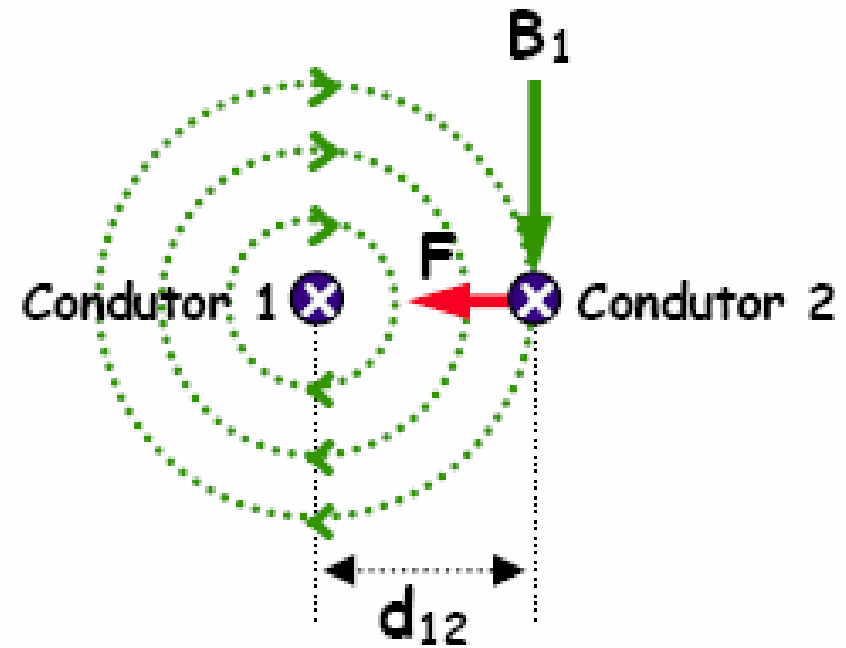
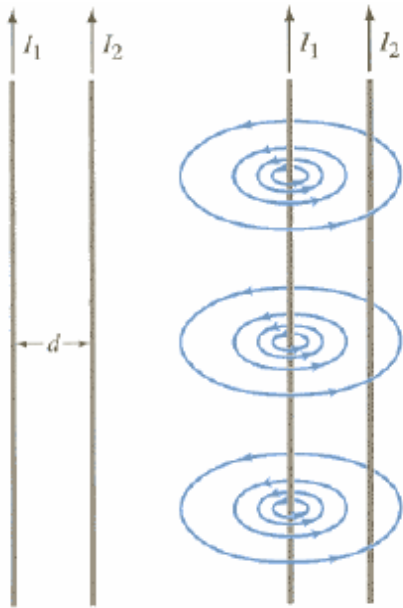


Partícula em Movimento Circular Uniforme (MCU)

Partícula em movimento helicoidal →



Força eletromagnética entre condutores paralelos



Campo num condutor:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Ação da corrente I_1 no condutor 2:

$$B_1 = \frac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

$$F_{12} = B_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2 \cdot \text{sen}90^\circ$$

$$F_{12} = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

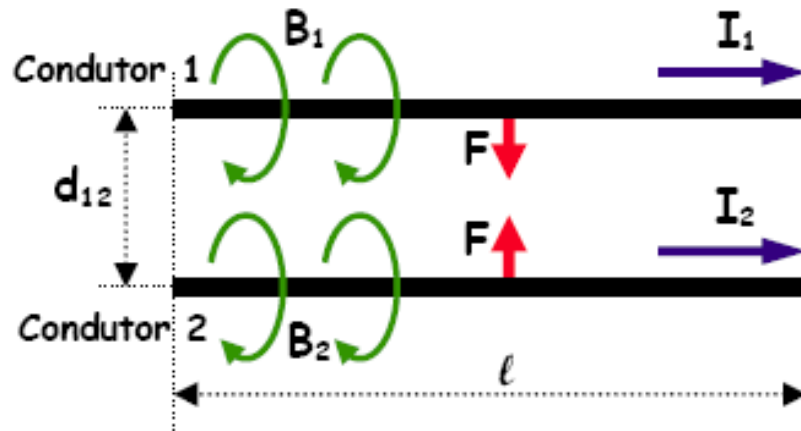
$$F_{12} = F_{21} = F$$

$$F = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

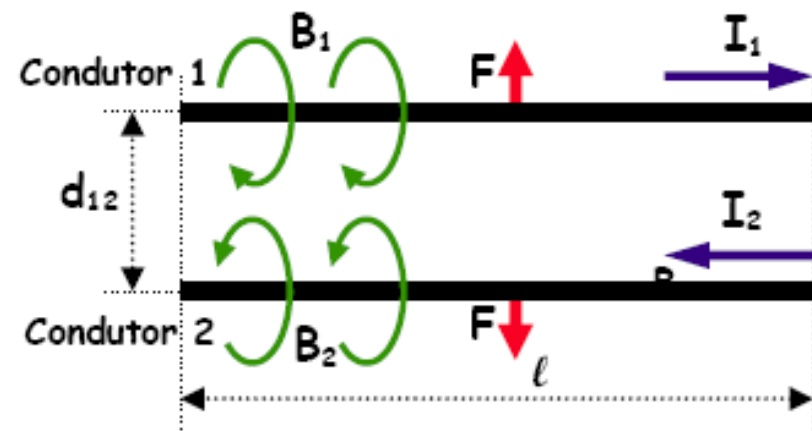
Força eletromagnética entre condutores paralelos

Expressando a força em N/m: \longrightarrow

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

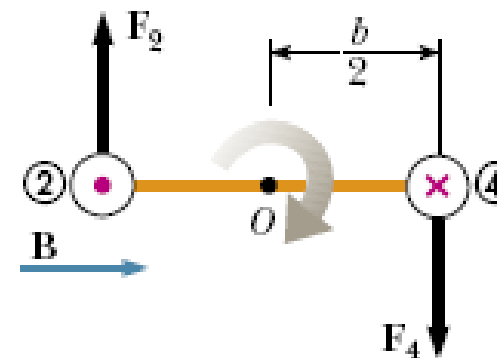
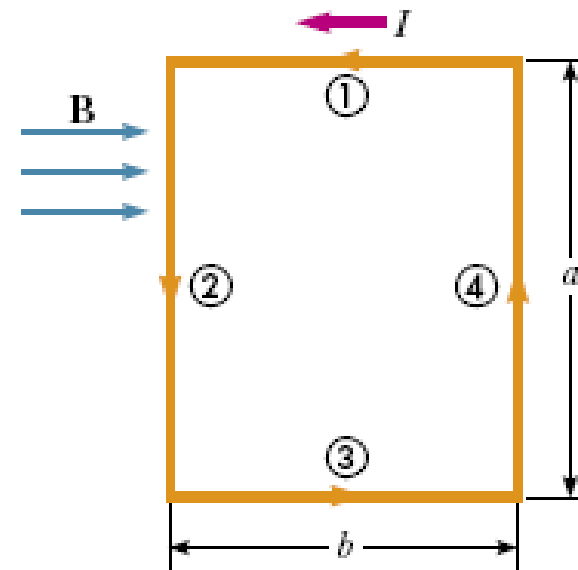
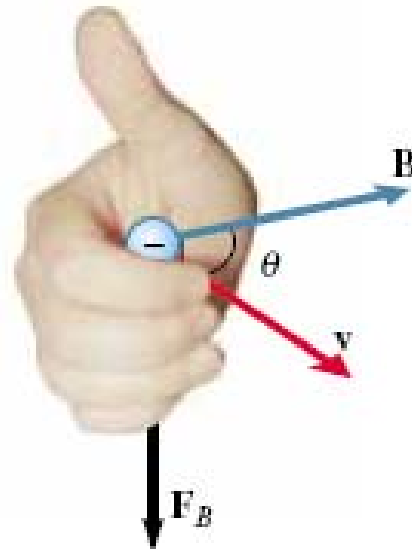
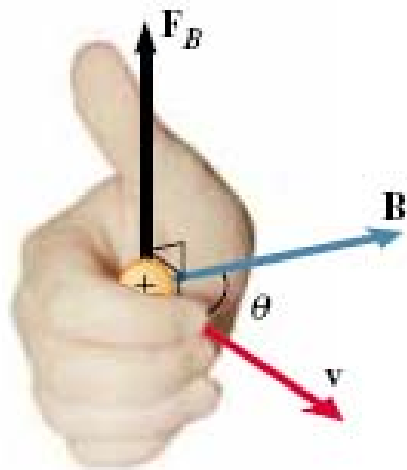


Atração

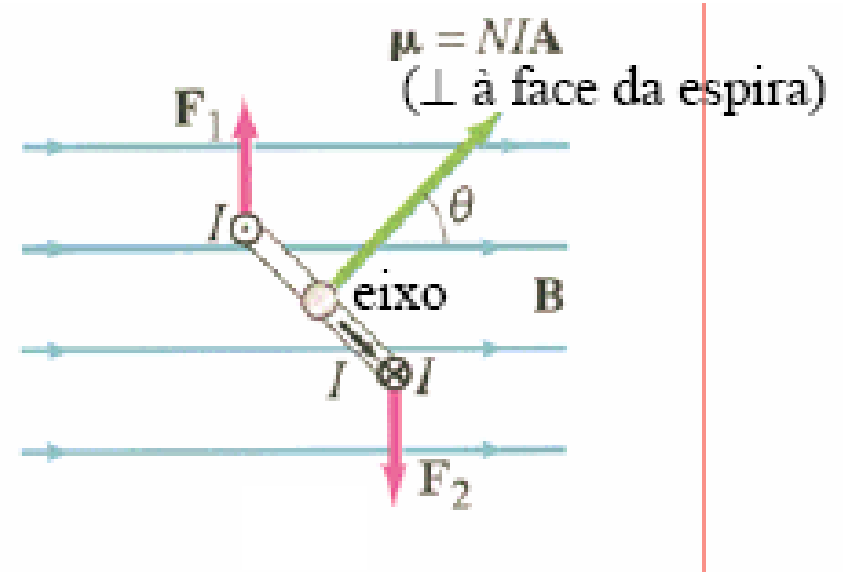
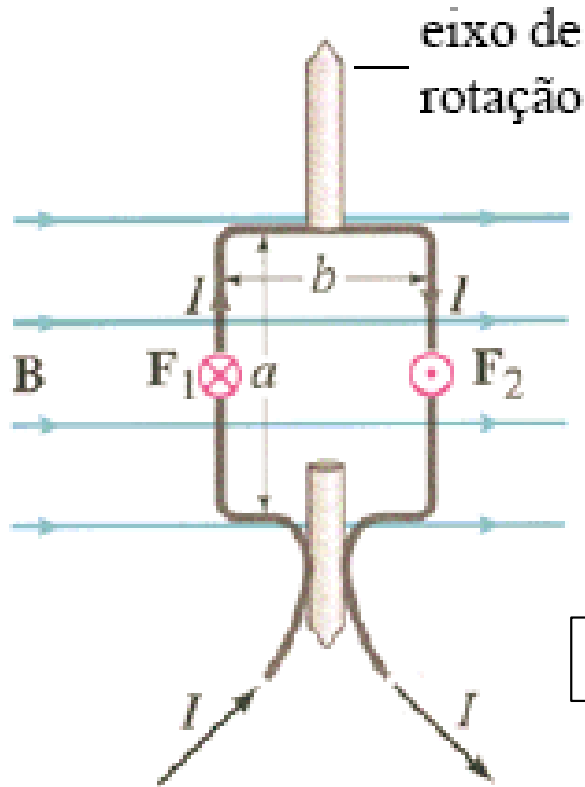


Repulsão

Torque em uma espira

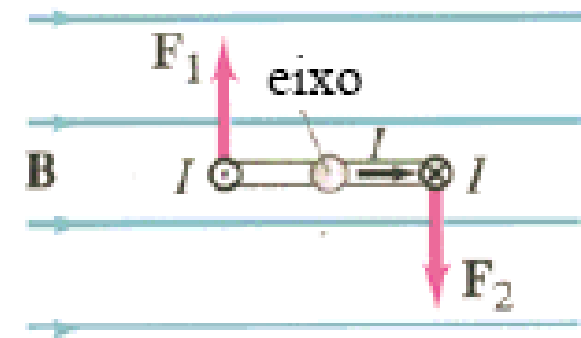


Torque em uma espira



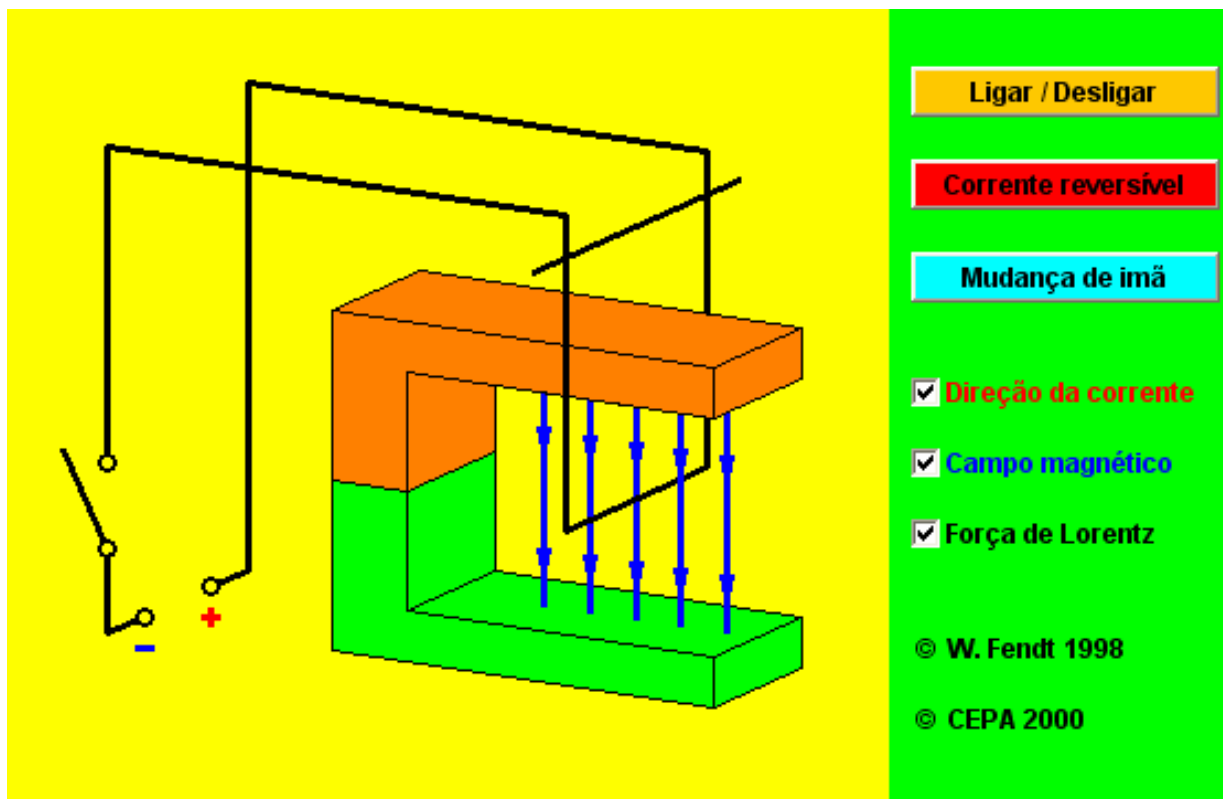
$$\tau = N \cdot B \cdot I \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

- τ - 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^2];
- θ - ângulo da face da espira com a direção das linhas de campo [$^\circ$ ou rad].



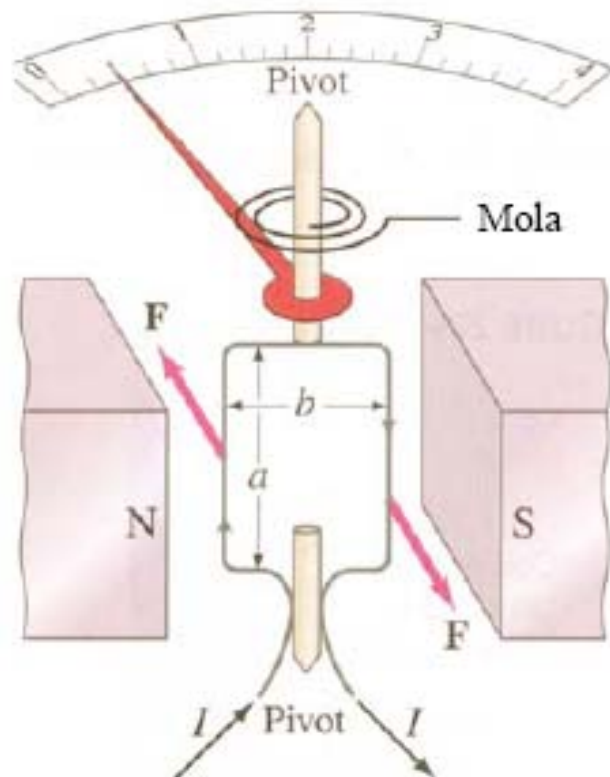
Torque em uma espira

Applets em java →

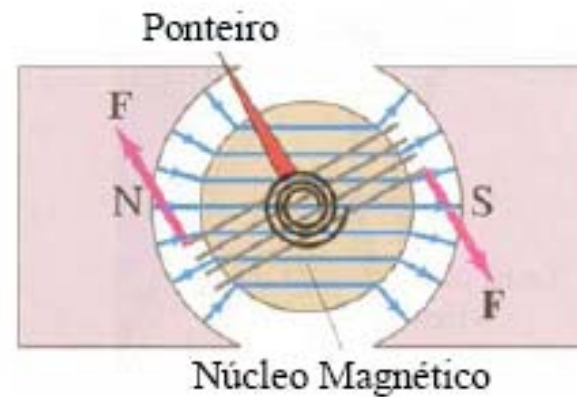


The diagram illustrates a current-carrying loop placed between the poles of a U-shaped magnet. The magnet's top pole is orange and the bottom pole is green. Blue arrows indicate a uniform magnetic field pointing downwards. The current loop is connected to a circuit on the left, which includes a switch and terminals labeled with a minus sign (-) and a plus sign (+). To the right of the diagram is a control panel with a green background. It features three buttons: an orange button labeled 'Ligar / Desligar', a red button labeled 'Corrente reversível', and a light blue button labeled 'Mudança de ímã'. Below these buttons are three checked checkboxes: 'Direção da corrente' (red text), 'Campo magnético' (blue text), and 'Força de Lorentz' (black text). At the bottom of the panel, there are two copyright notices: '© W. Fendt 1998' and '© CEPA 2000'.

Aplicações – Amperímetro



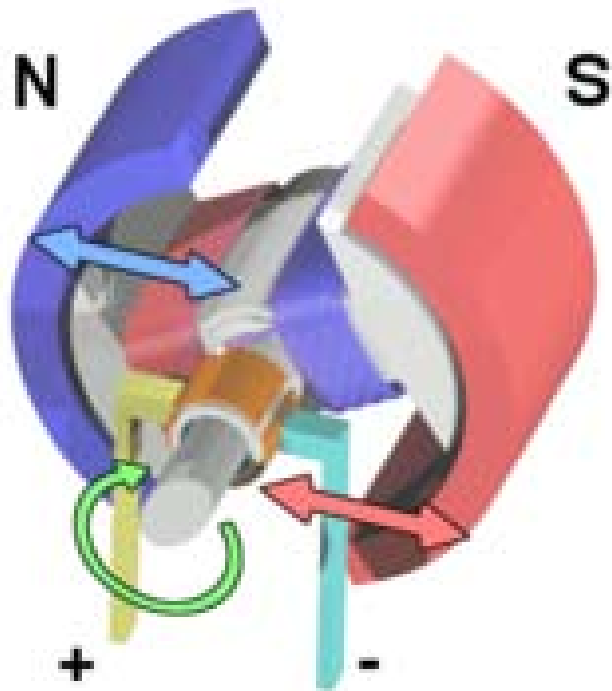
(a)



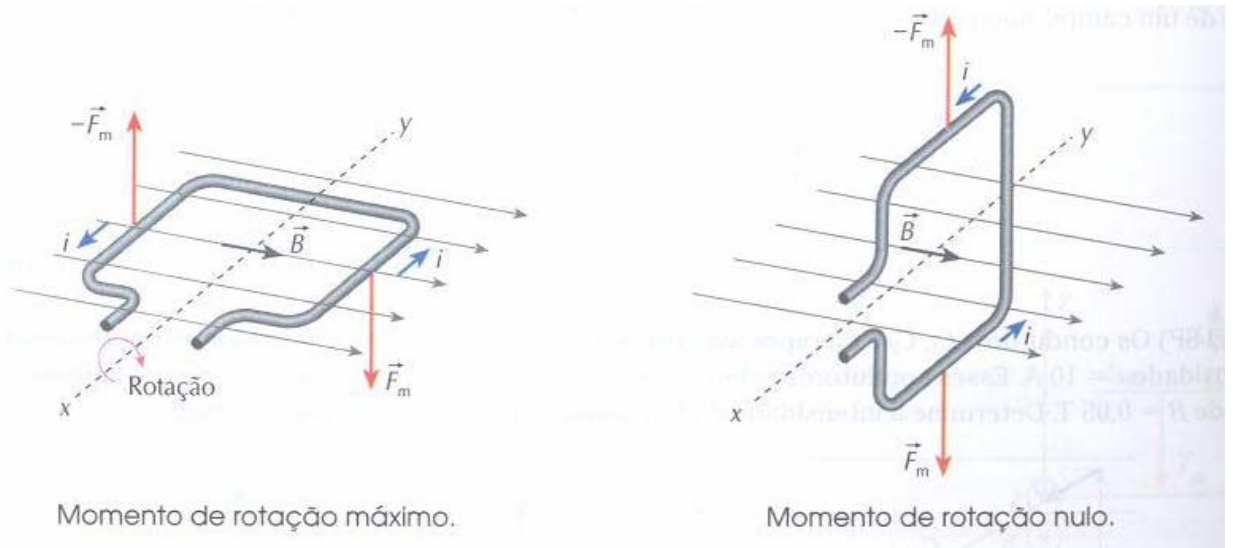
(b)

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

Aplicações – Motor CC



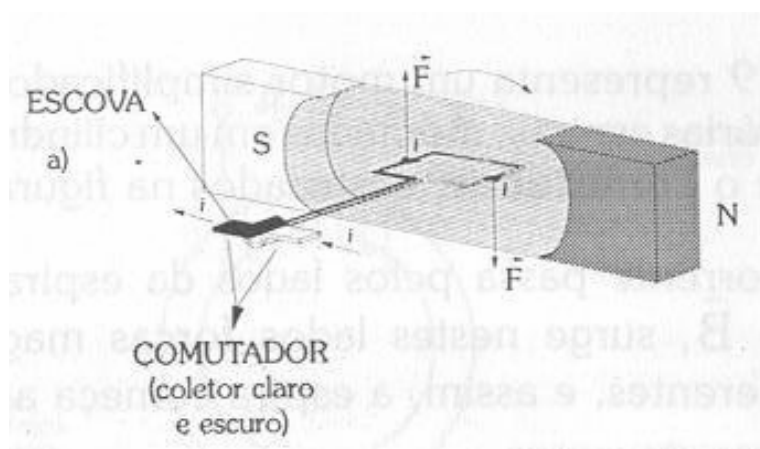
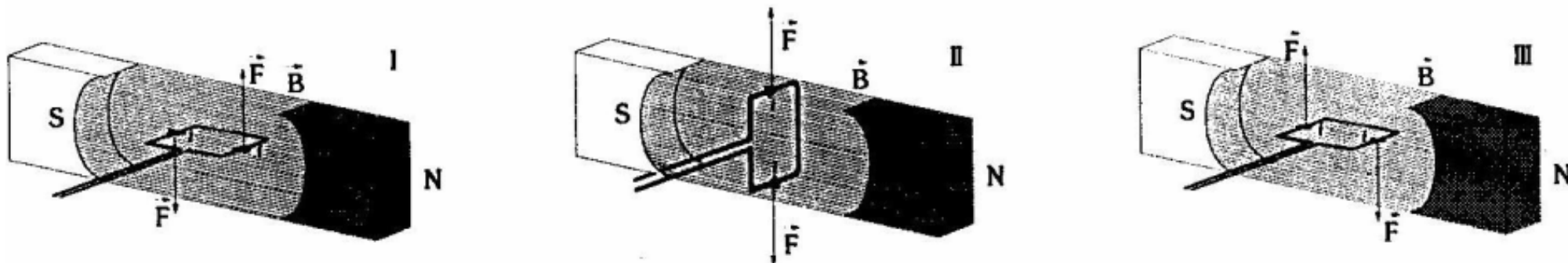
Construção de um motor CC



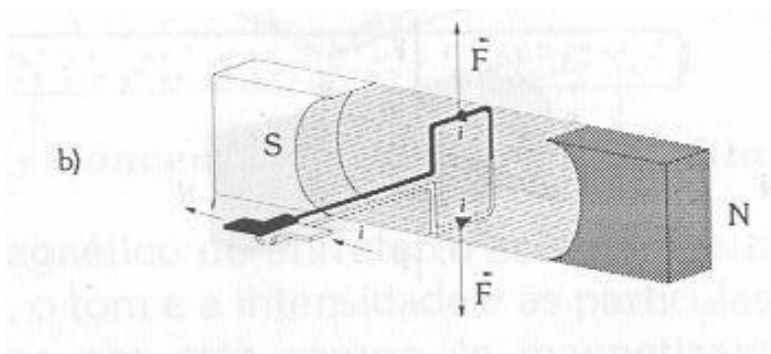
Funcionamento dos motores de CC

Aplicações – Motor CC

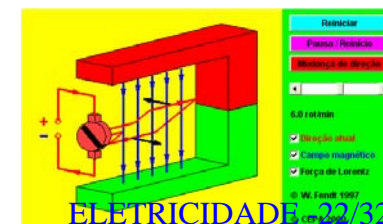
Forças num motor de CC



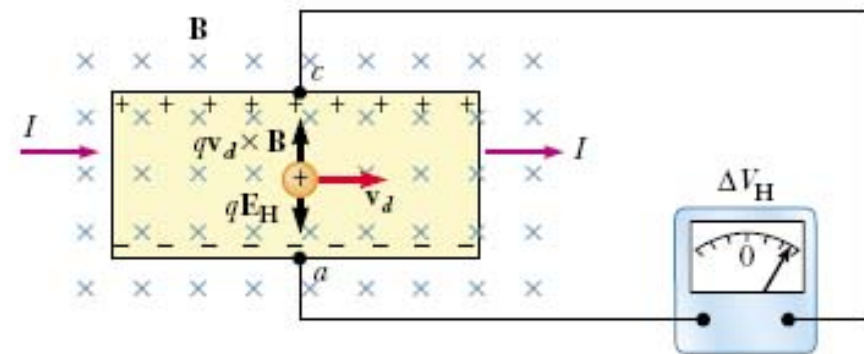
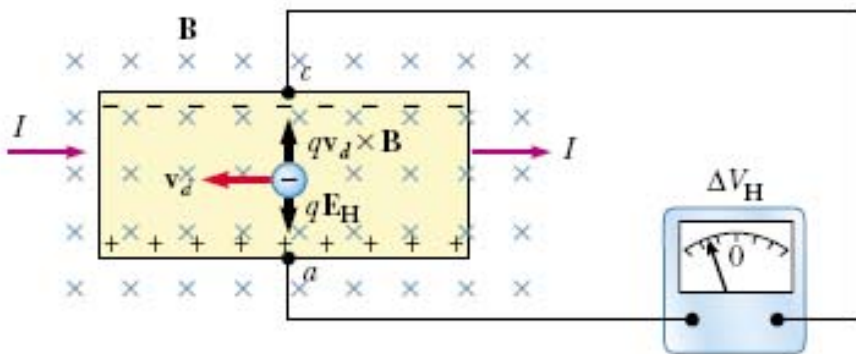
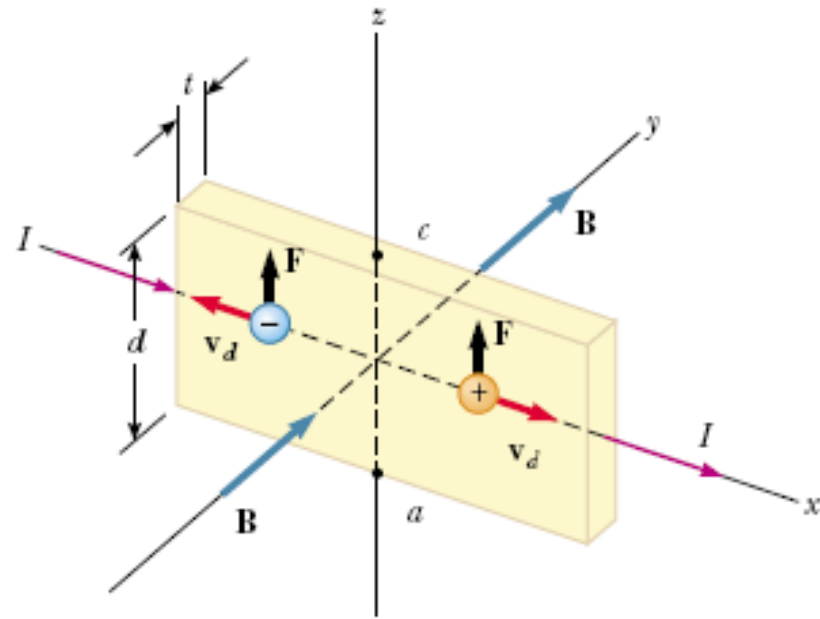
Funcionamento do motor CC



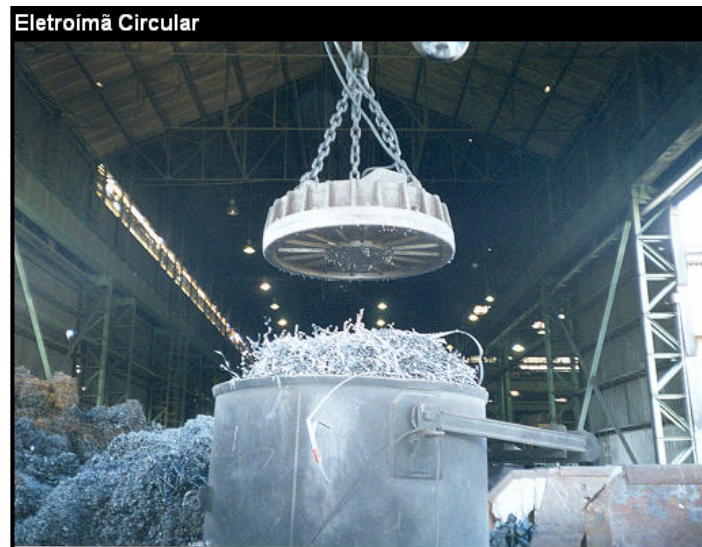
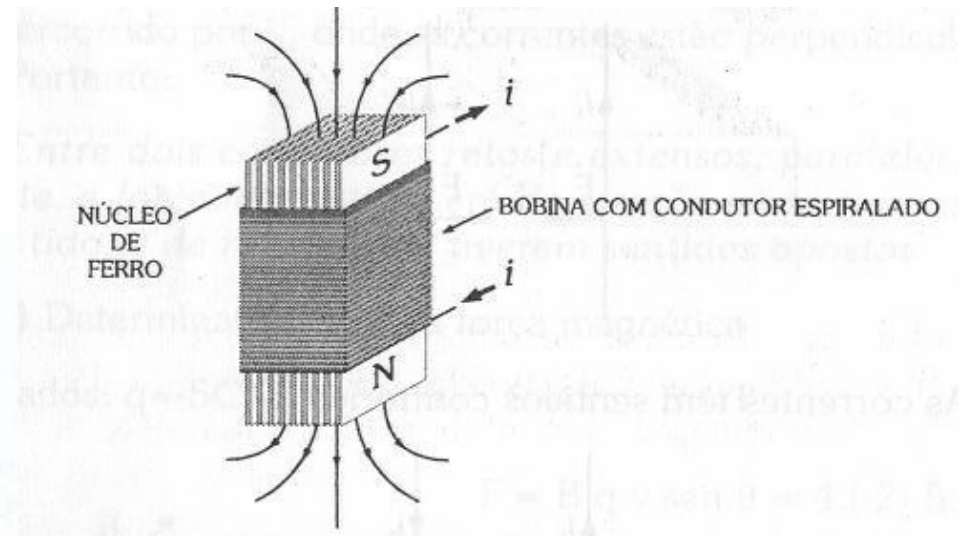
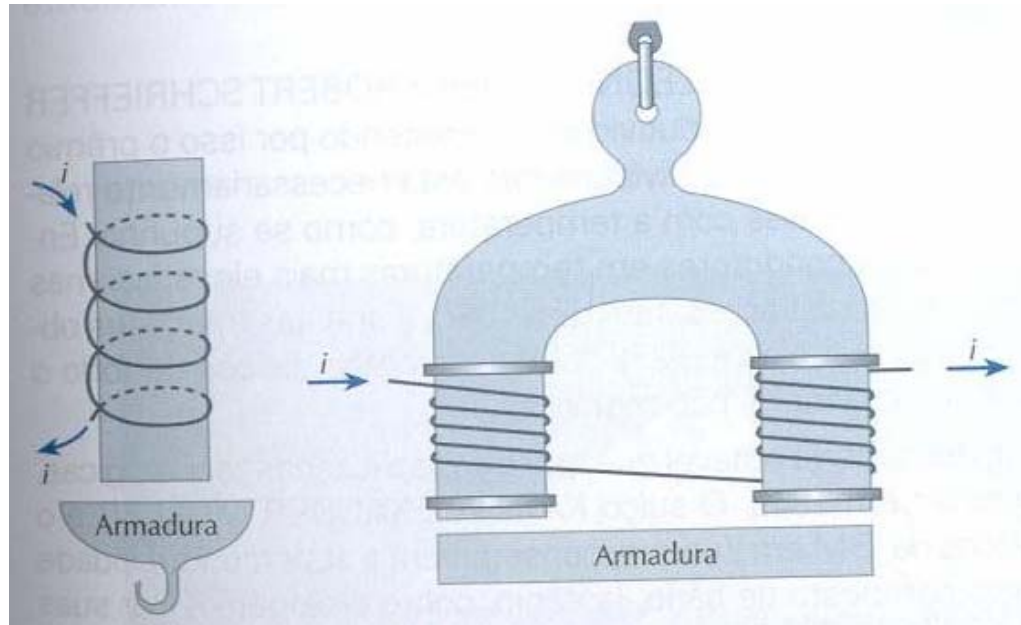
Applets em java →



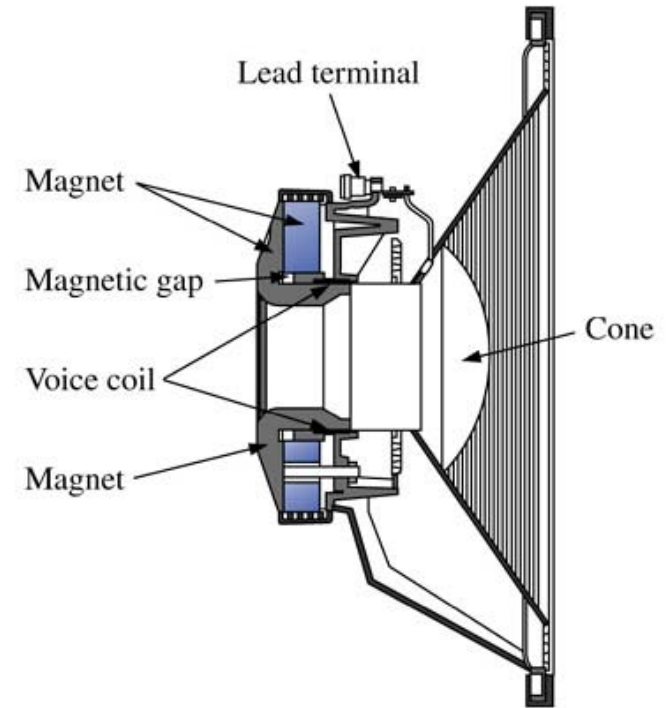
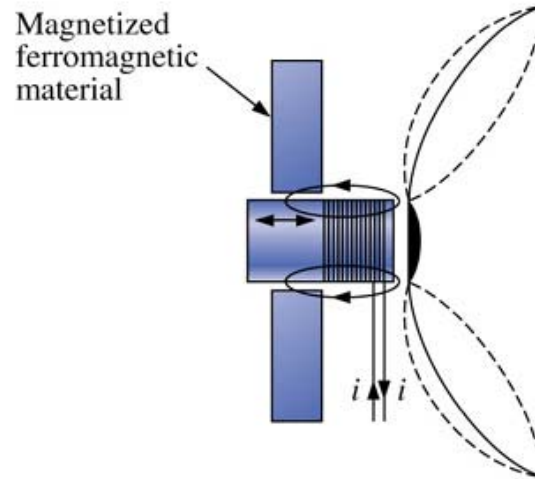
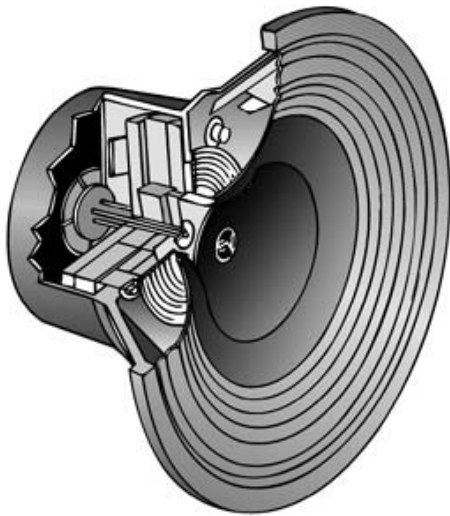
Aplicações - Efeito Hall



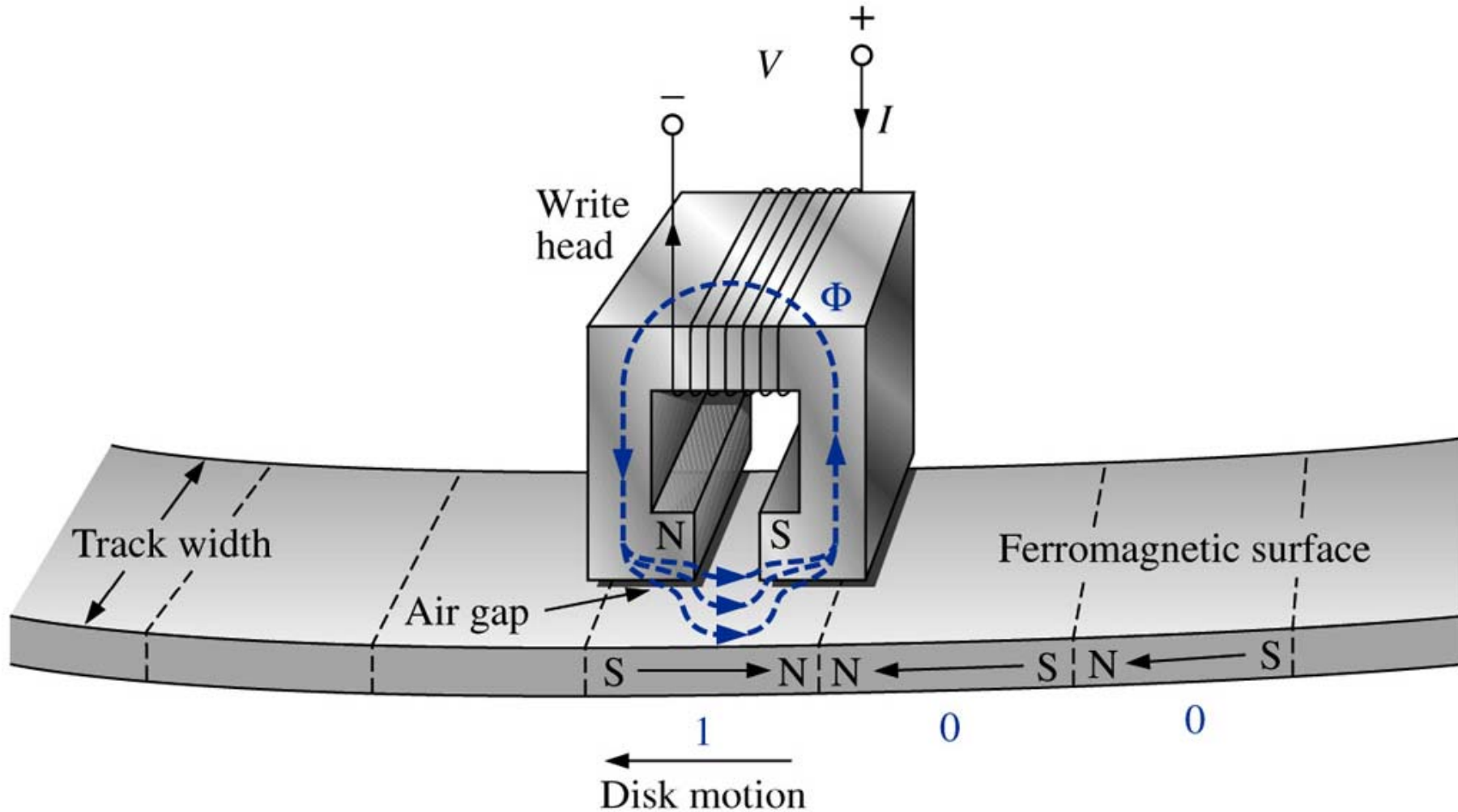
Aplicações - Eletroímã



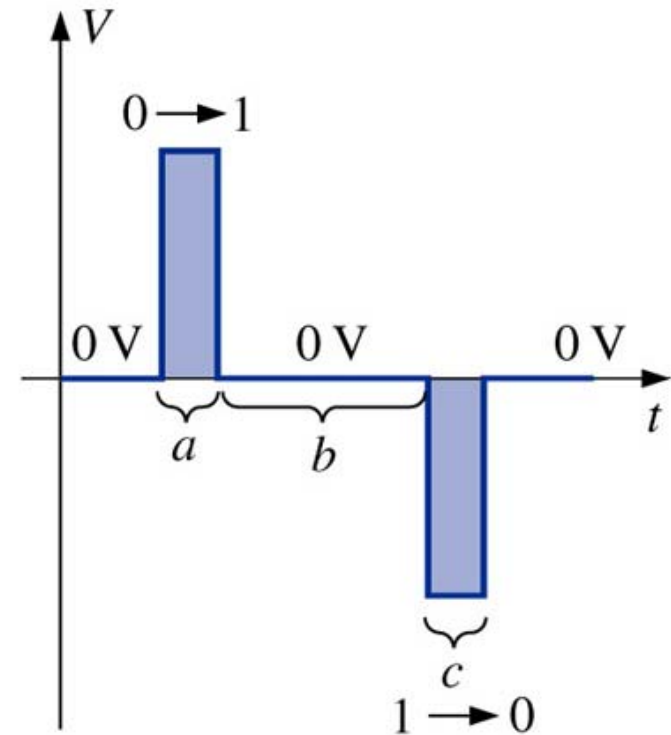
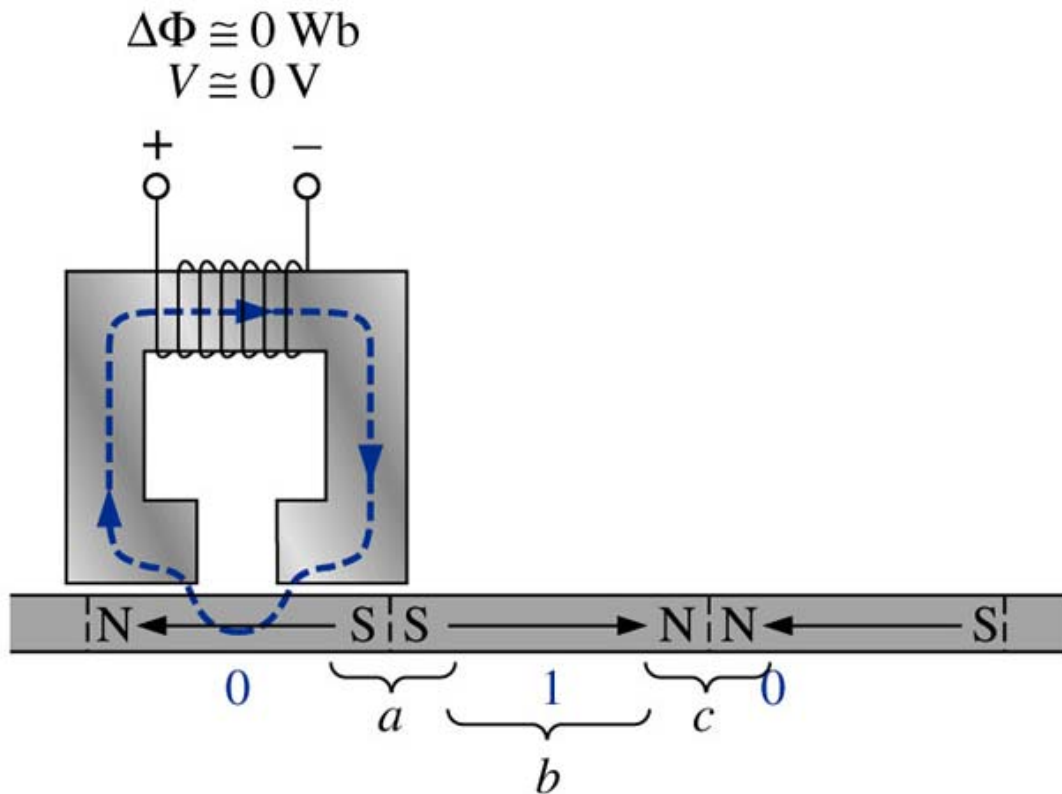
Aplicações - Alto-falante



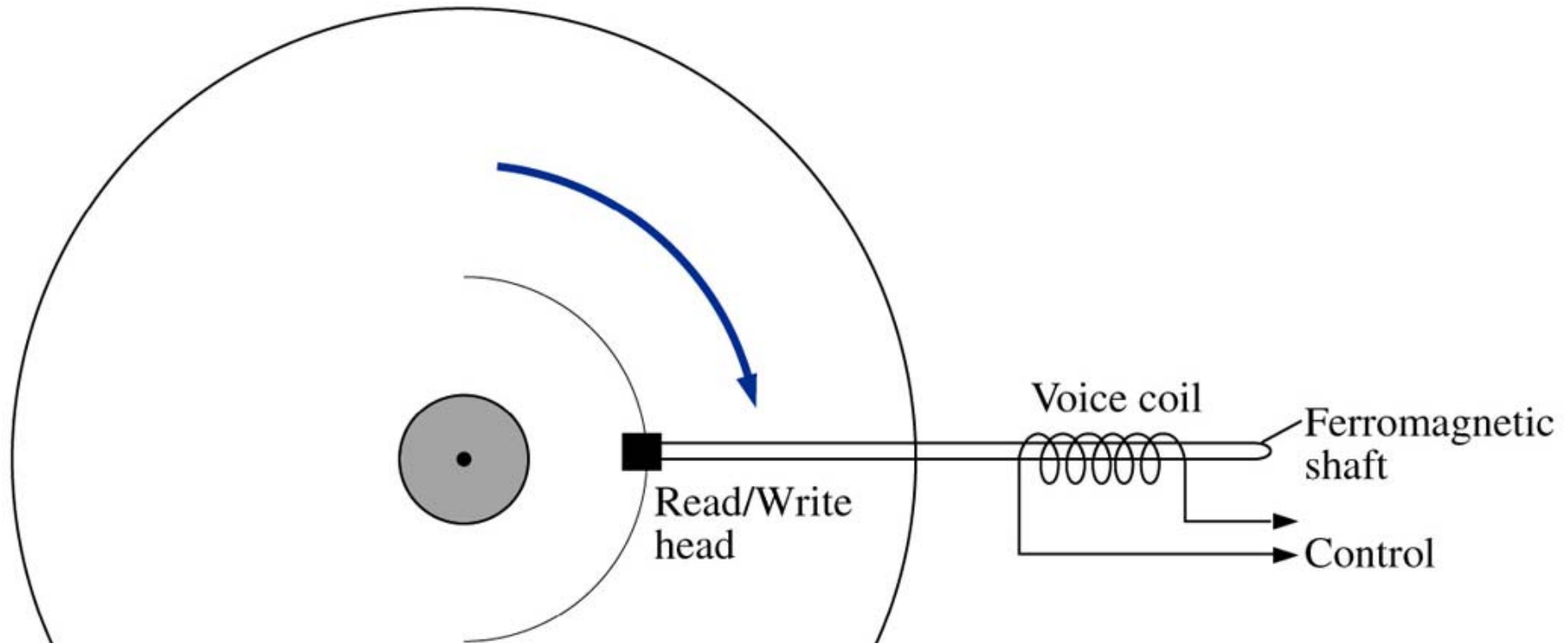
Aplicações – Gravação magnética



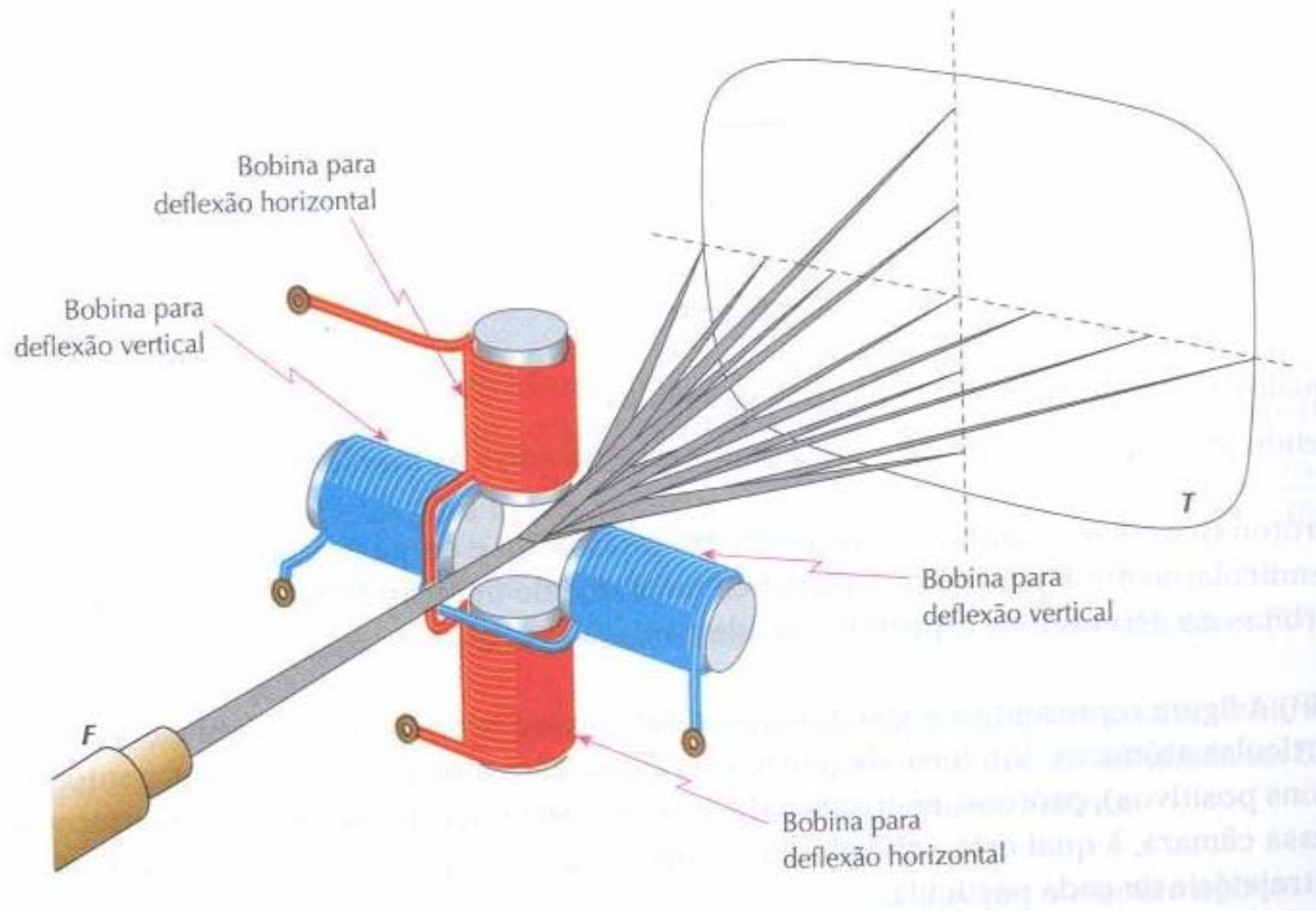
Aplicações – Gravação magnética



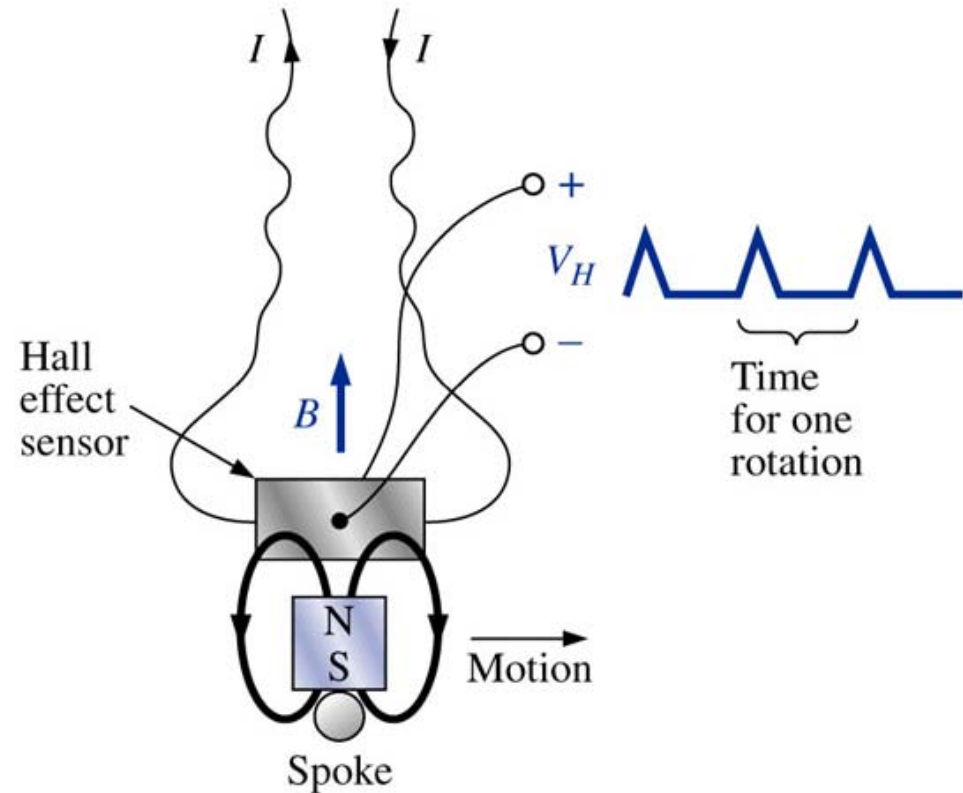
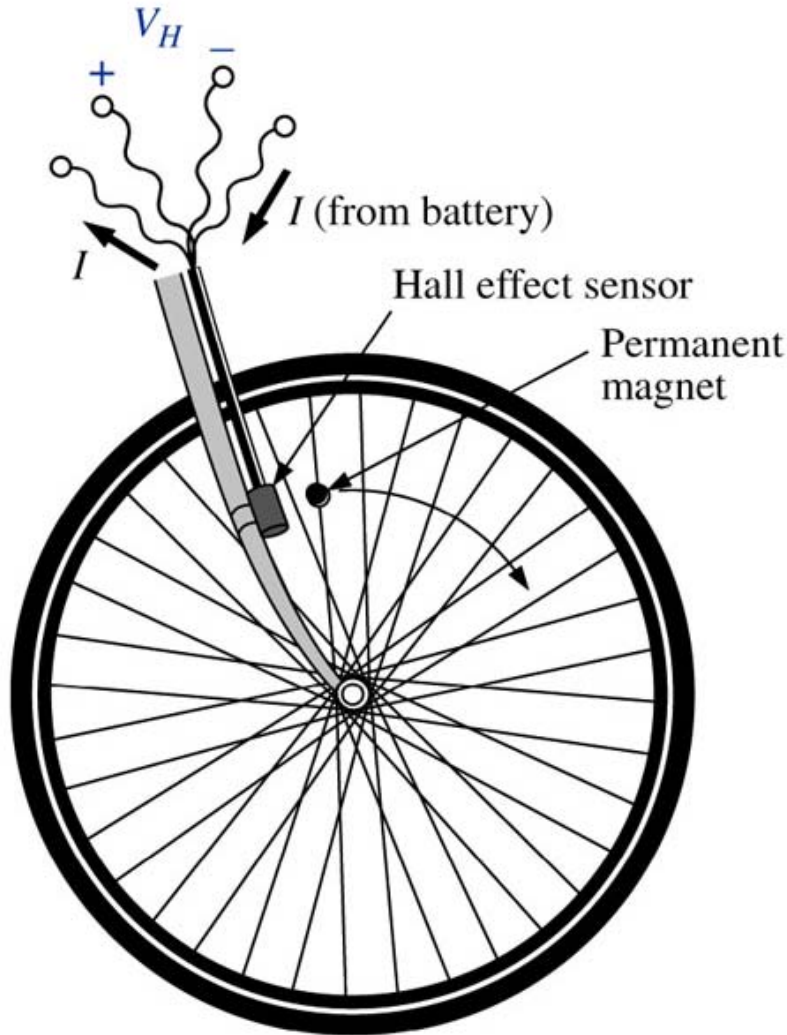
Aplicações – Gravação magnética



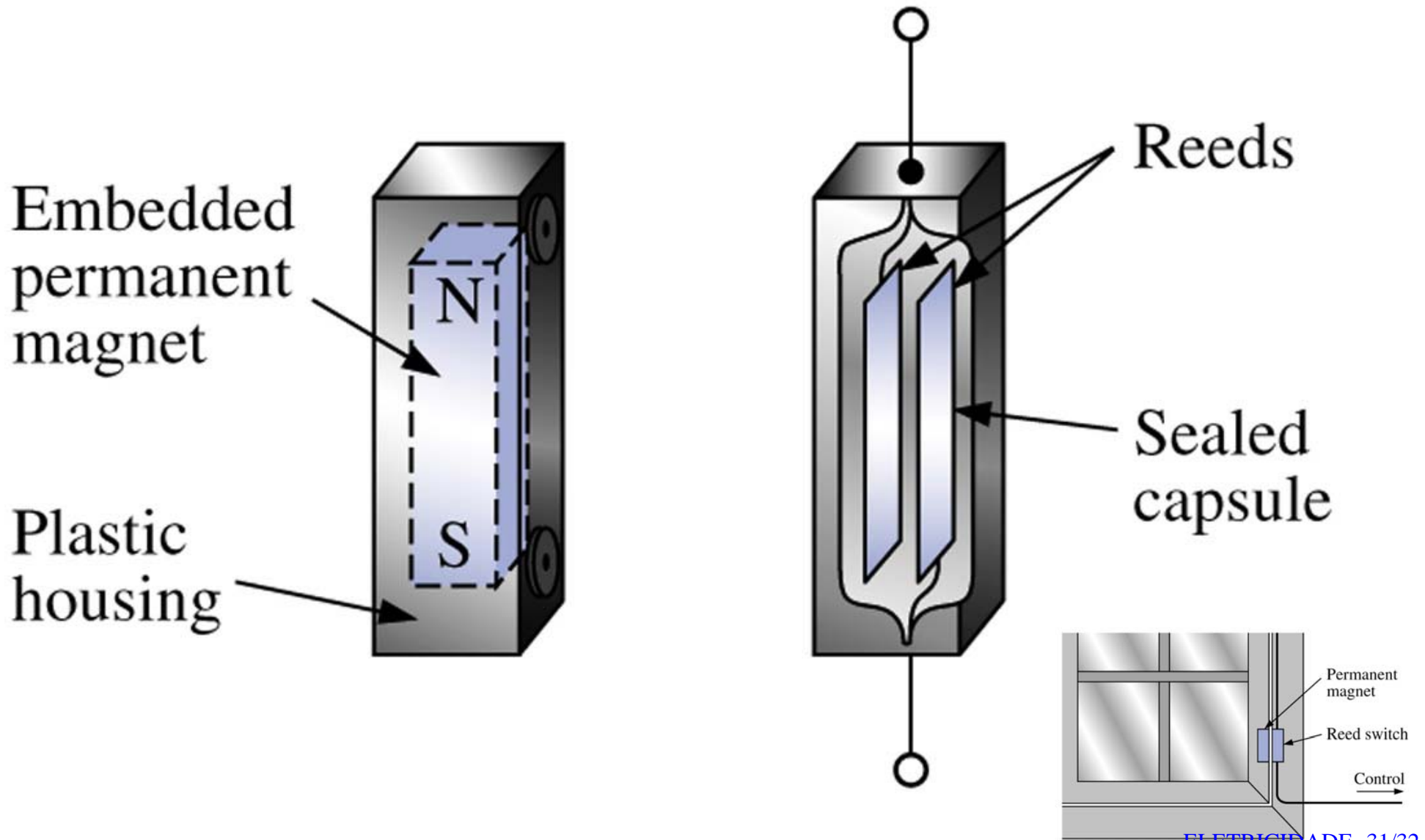
Aplicações – Tubo de raios catódicos



Aplicações – Indicador de velocidade



Aplicações – Sensor magnético



Aplicações – Sensor magnético

