

# 2.1- Descobertas de Oersted

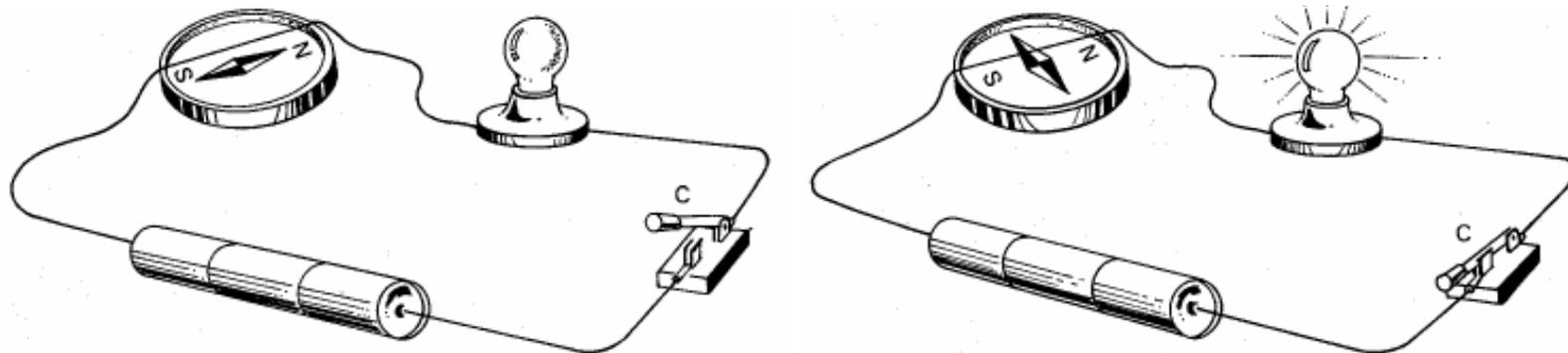
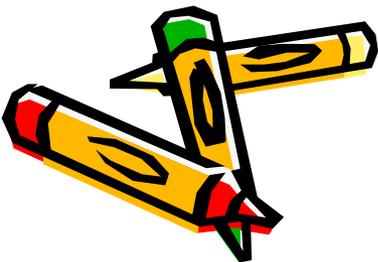


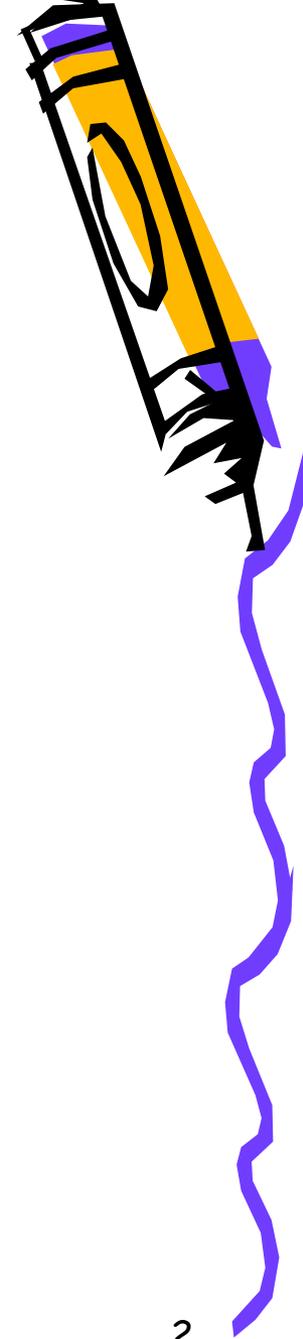
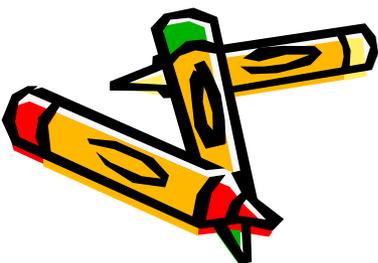
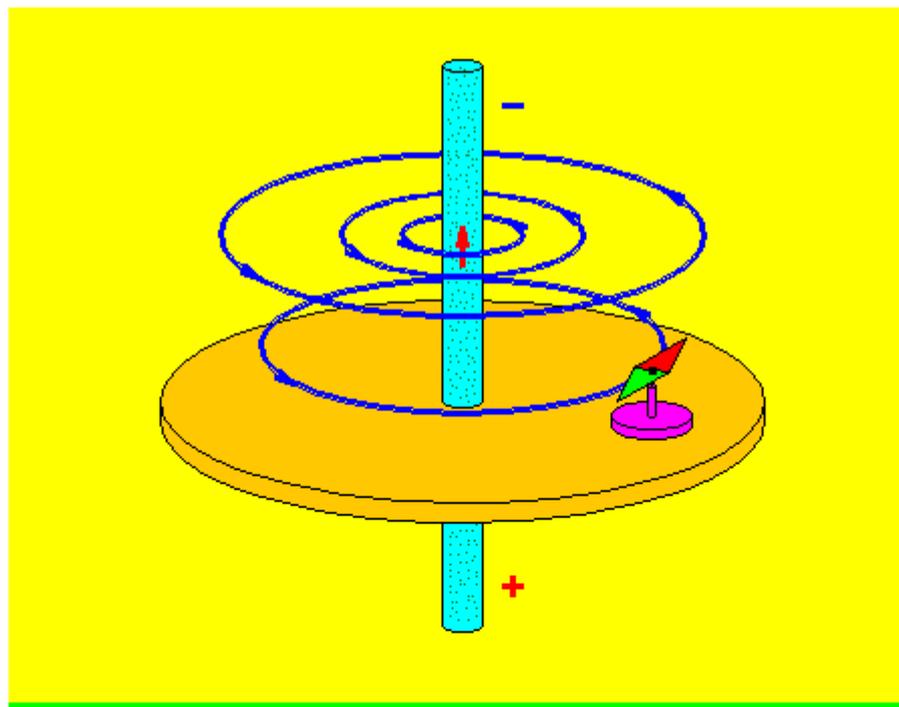
Figura 1.1 - Experiência de Oersted (Fonte: Moretto, V.P.; Eletricidade e Eletromagnetismo, Ed. Érica, 1989).

**Conclusão de Oersted:**

Todo condutor percorrido por corrente elétrica, cria em torno de si um campo eletromagnético.



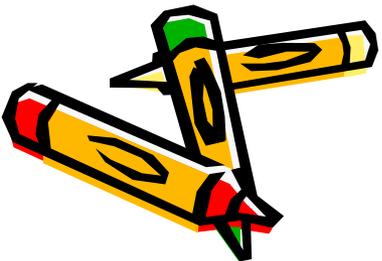
# Campo Magnético de um Fio Linear Transportando uma Corrente



Como conseqüência desta descoberta surge o.....

## ELETROMAGNETISMO:

"o campo **MAGNÉTICO** criado a partir da **ELETRICIDADE**".



# 2.2- Fenômenos do Eletromagnetismo



São três os principais fenômenos eletromagnéticos e que regem todas as **aplicações** tecnológicas do eletromagnetismo:

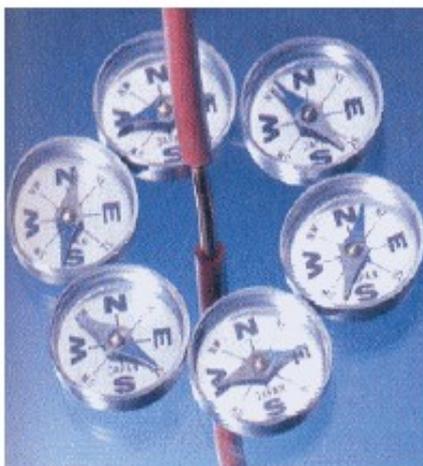
A. **Condutor** percorrido por **corrente elétrica** produz **campo magnético**; (applet Campo Magnético de um Fio Linear Transportando uma Corrente)

B. Campo **magnético** provoca ação de uma **força magnética** sobre um **condutor percorrido por corrente elétrica**. (applet Força Lorentz)

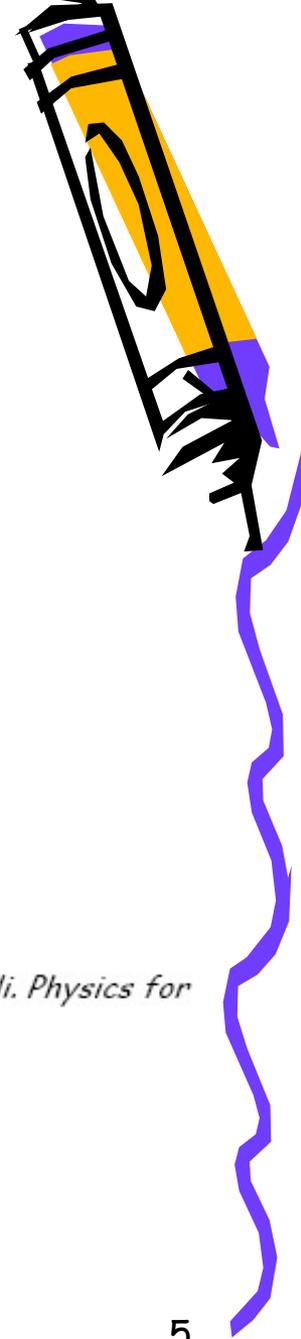
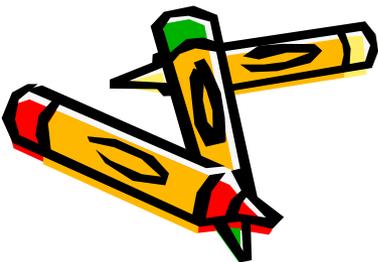
C. **Fluxo Magnético variante** sobre um **condutor** gera (**induz**) **corrente elétrica**. (applet indução magnética 1 e 2, Lei de Lenz)

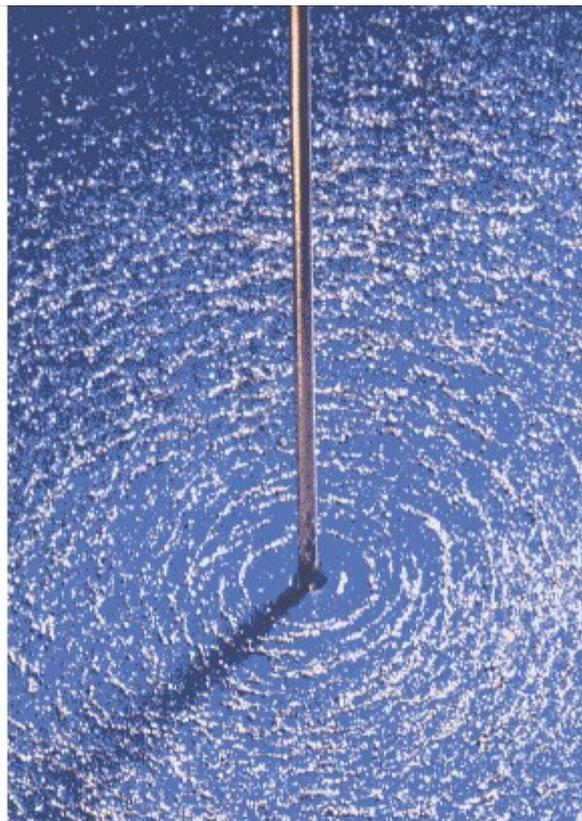


# A. Campo Magnético criado por Corrente Elétrica

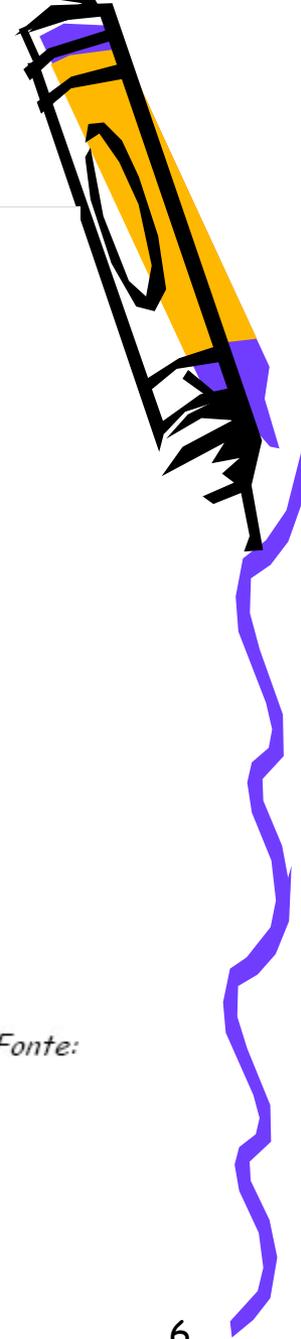
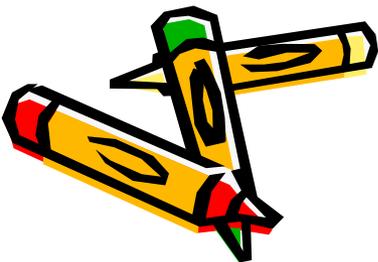


*Figura 3.1 - Orientação da bússola em torno de um condutor percorrido por corrente (Fonte: Giancoli. Physics for engineers and scientists)*





*Figura 3.2 - Visualização das linhas de campo produzidas por um condutor percorrido por corrente (Fonte: Giancoli, Physics for engineers and scientists)*



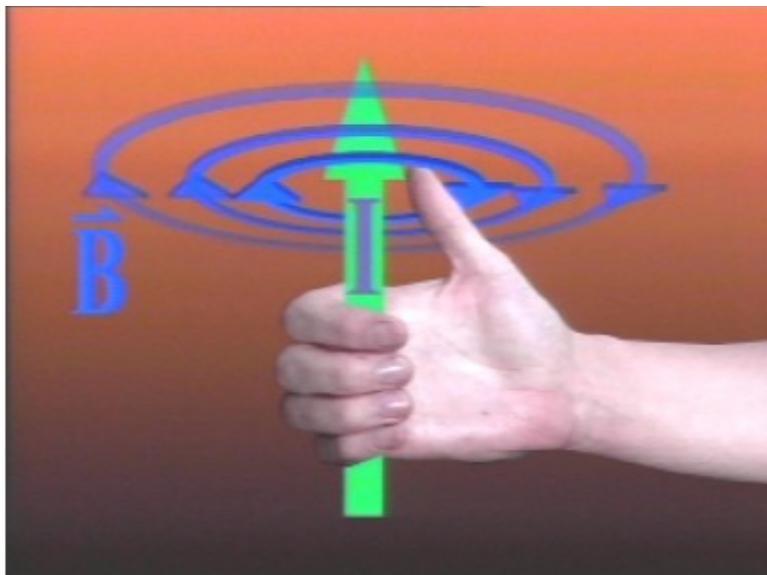
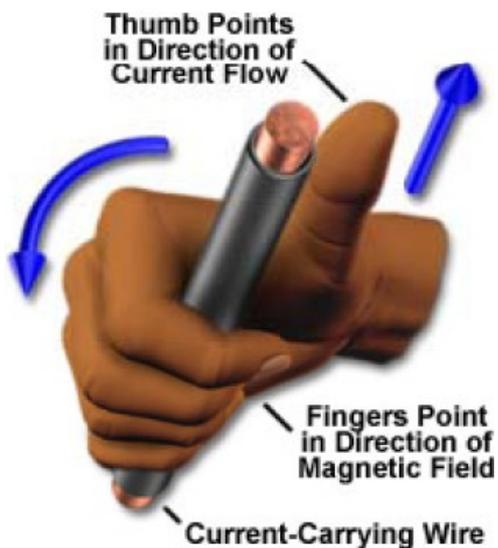
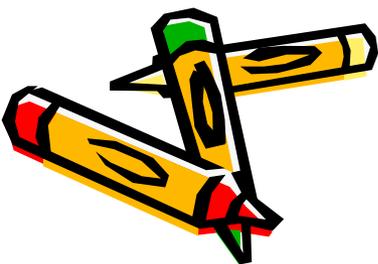


Figura 3.3 - As linhas de campo magnético criado por uma corrente elétrica são concêntricas.

## Regra de Ampère - Regra da Mão Direita

Mão **direita** envolvendo o condutor com o **polegar** apontando para o sentido **convencional** da corrente elétrica, os demais **dedos** indicam o sentido das linhas de **campo** que envolvem o condutor.



# Descubra o sentido do campo magnético!

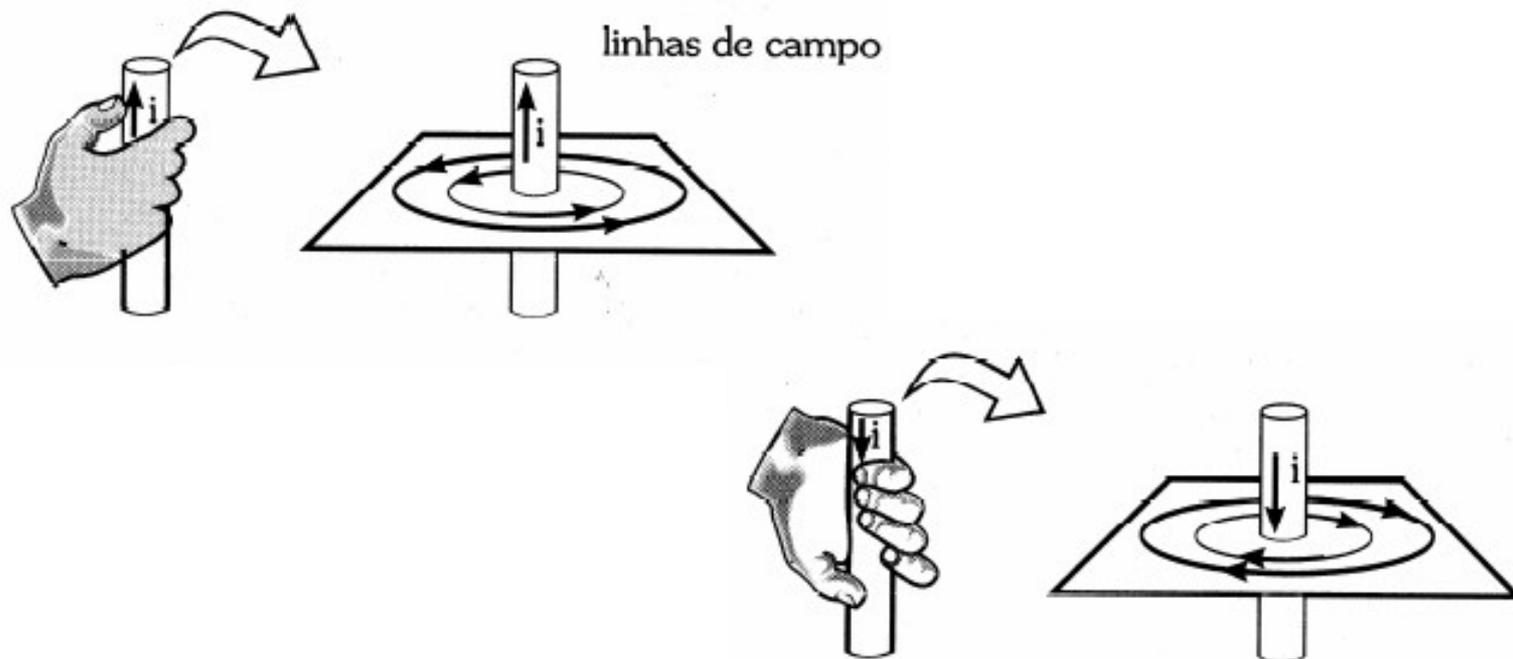
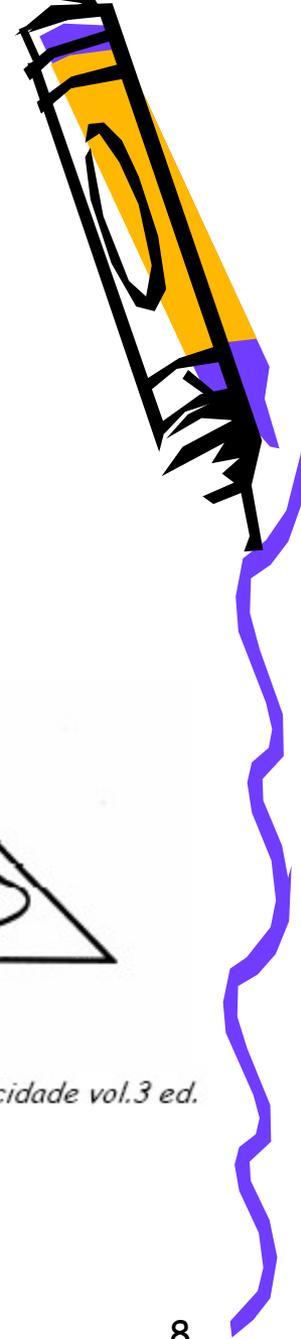
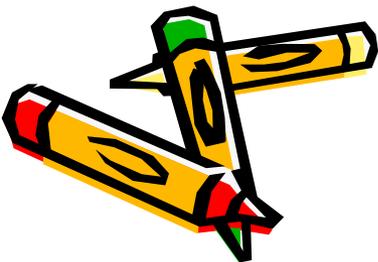


Figura 3.4 - Lei de Ampère e regra da mão direita (Fonte: Chiquetto e Parada; Física Eletricidade vol.3 ed. Scipione, 1992).



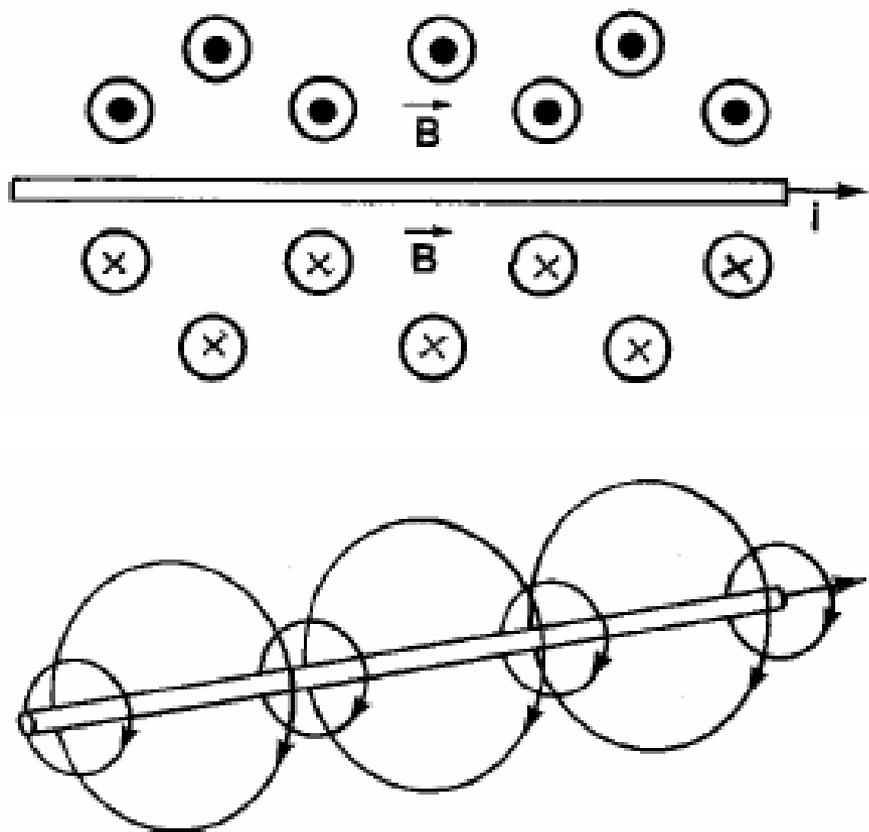
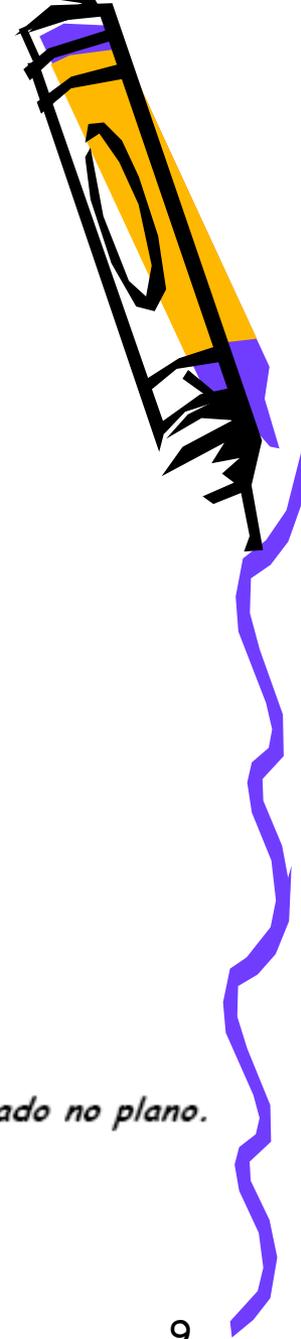
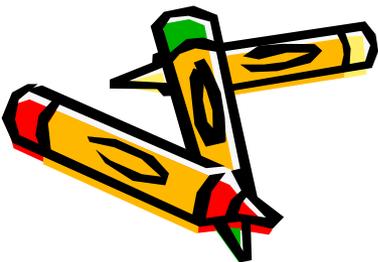


Figura 3.6 - Campo Eletromagnético produzido por um condutor; a) em perspectiva; b) indicado no plano.



# 2.3- Fontes do Campo Eletromagnético

## A. Campo Eletromagnético gerado em torno de um Condutor Retilíneo

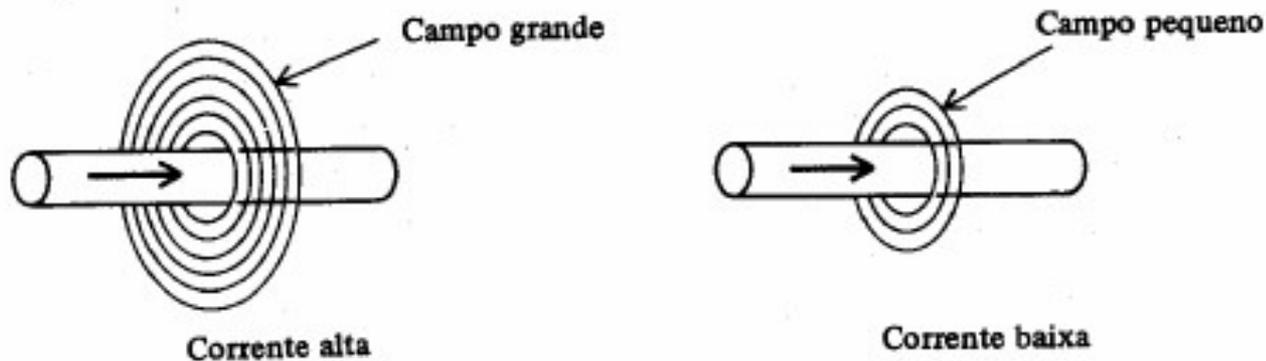
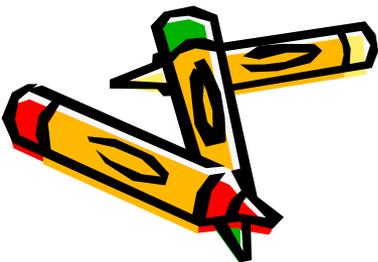


Figura 4.1 - Representação do campo magnético em função da intensidade da corrente



# Tabela de permeabilidade



Tabela 6.1 - Materiais quanto à Permeabilidade Relativa

Permeabilidade Relativa, $\mu_R$	Tipo de Material
$\gg 1$	Ferromagnéticos
$\cong 1$	Paramagnéticos
$< 1$	Diamagnéticos

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Tabela 6.2 - Permeabilidade Relativa de Materiais Ferromagnéticos

Tipo de Material	Permeabilidade Relativa, $\mu_R$
Ferro Comercial	9.000
Ferro Purificado	200.000
Ferro Silício	55.000
Permalloy	$1 \times 10^6$
Supermalloy	$1 \times 10^7$
Permendur	5.000
Ferrite	2.000

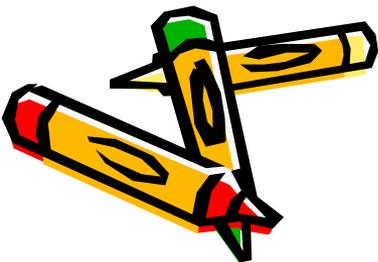
$\mu_r$  – permeabilidade relativa

$\mu$  – permeabilidade absoluta

$\mu_0$  – permeabilidade no vácuo

Tabela 2: Permeabilidade relativa.

Material	Permeabilidade relativa
Ar	1
Chapa para gerador (liga Fe, Si)	5.000 a 8.000
Mumetal (liga de Ni, Fe, Cu, Cr)	45.000
Liga 1040 (liga de Ni, Fe, Cu, Mo)	100.000



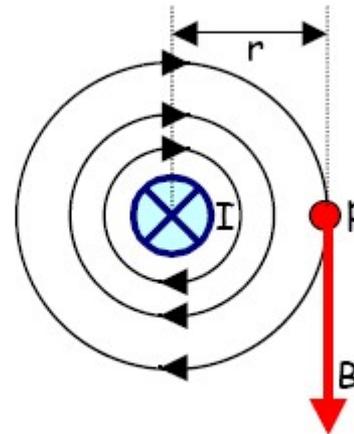
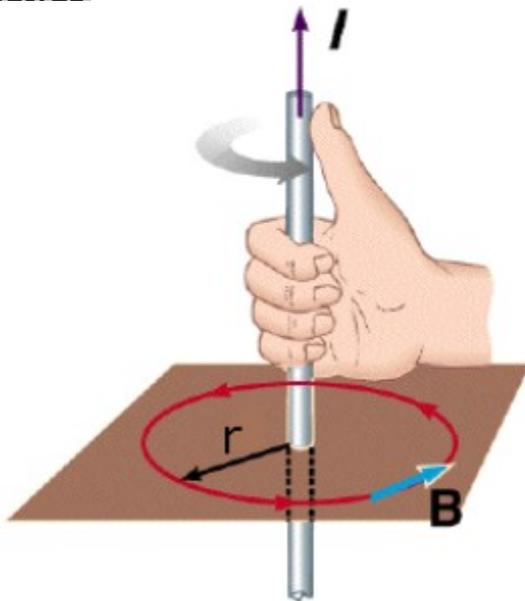


Figura 4.2 - Vetor Campo magnético tangente às linhas de campo.

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

onde:

B = Densidade de campo Magnético (ou Densidade de Fluxo Magnético) num ponto p [T, Tesla];

r = distância entre o centro do condutor e o ponto p considerado [m];

I = intensidade de corrente no condutor [A].

$\mu$  = permeabilidade magnética do meio [T.m/A]

Permeabilidade Magnética do Vácuo:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  (T.m/A)

Esta equação é válida para **condutores longos**, ou seja, quando a distância r for bem menor que o comprimento do condutor ( $r \ll \ell$ ).

## B. Campo Eletromagnético gerado no centro de uma Espira Circular.

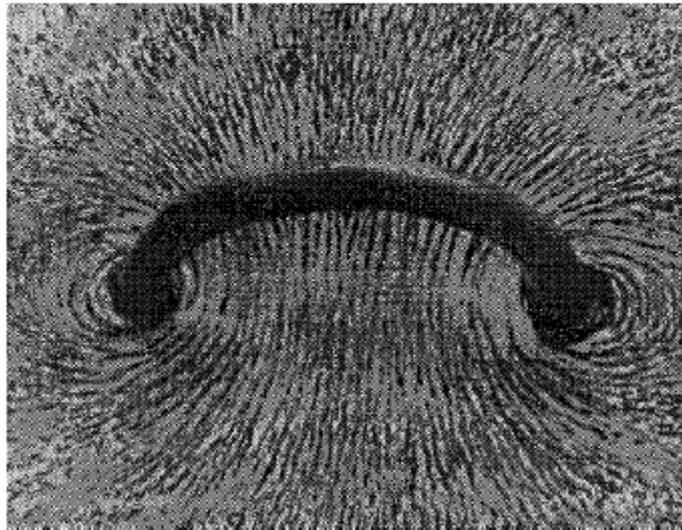


Figura 4.3 - Visualização do Campo magnético no centro de uma espira circular (Fonte: Gozzi, Giuseppe G. M., Circuitos Magnéticos, Coleção Estude e Use, Ed. Érica, 1996).

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot R}$$

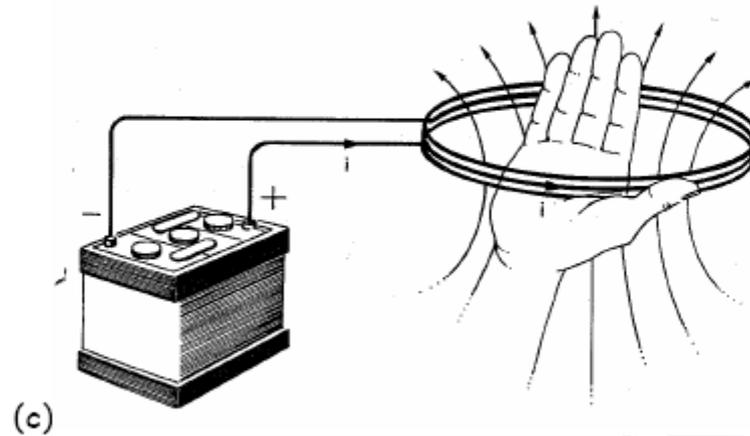
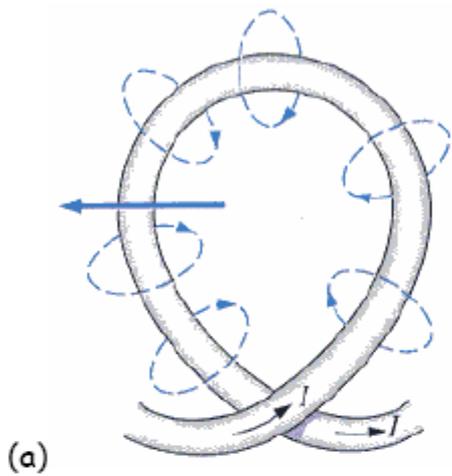
Onde:

B = é a densidade de campo magnético no centro da espira circular [T, Tesla];

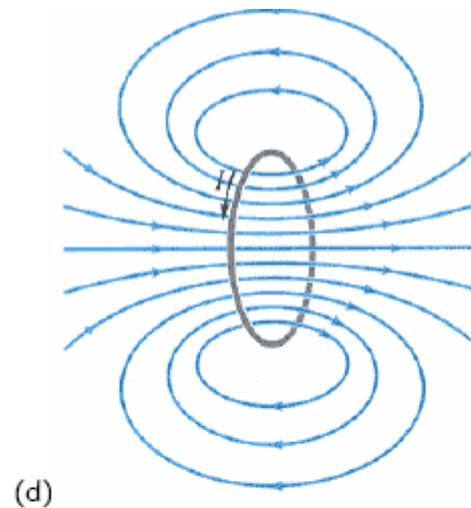
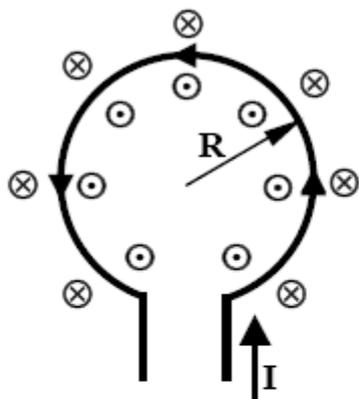
R = raio da espira [m];

I = intensidade de corrente na espira circular [A].

$\mu$  = permeabilidade magnética do meio [T.m/A]



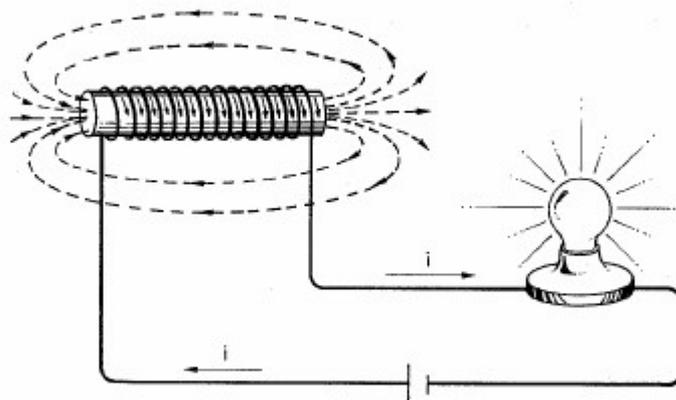
Fonte: Boylestad, R.L., *Introductory Circuit Analysis*, Prentice Hall, 2003.



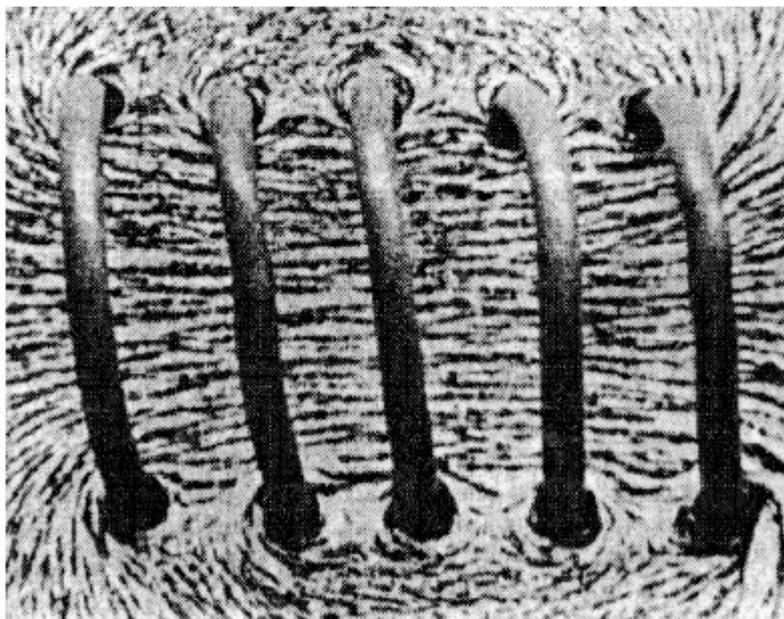
Giancoli. *Physics for engineers and scientists*  
 Figura 4.4 - Representação do Campo Magnético gerado por uma espira circular percorrida por corrente.



## C. Campo Eletromagnético gerado no centro de uma Bobina Longa ou Solenóide.



*Figura 4.5 - Linhas do Campo Eletromagnético criado por uma bobina percorrida por corrente*



*Figura 4.6 - Concentração das Linhas Campo Magnético no interior de uma bobina percorrida por corrente*  
(Fonte: Gozzi, Giuseppe G. M., Circuitos Magnéticos, Coleção Estude e Use, Ed. Érica, 1996).

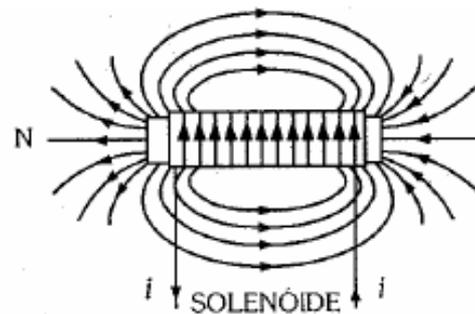
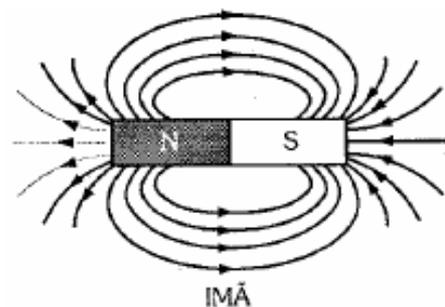


Figura 4.7. Campo Magnético de um ímã em barra e de um solenóide são semelhantes (Fonte: Gozzi, Giuseppe G. M., Circuitos Magnéticos, Coleção Estude e Use, Ed. Érica, 1996).

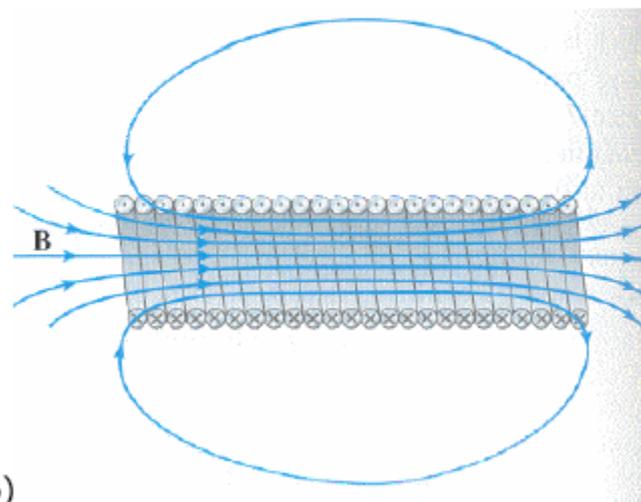
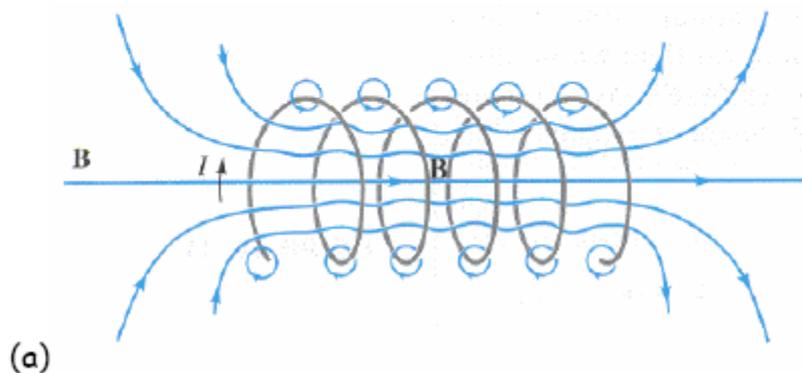


Figura 4.8 - Campo magnético no solenóide: (a) espiras separadas; (b) espiras justapostas (Fonte: Giancoli).

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

onde:

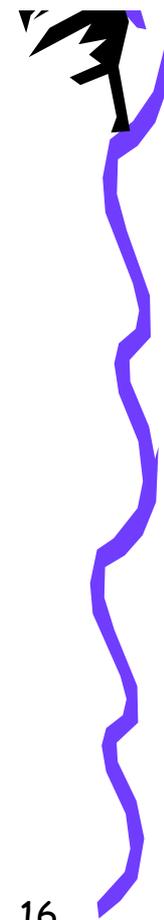
B = é a densidade de campo magnético no centro do solenóide [T, Tesla];

N = número de espiras do solenóide;

I = é a intensidade de corrente elétrica que percorre o solenóide [A];

$\ell$  = comprimento longitudinal do solenóide [m].

$\mu$  = permeabilidade magnética do meio (núcleo do solenóide) [T.m/A]



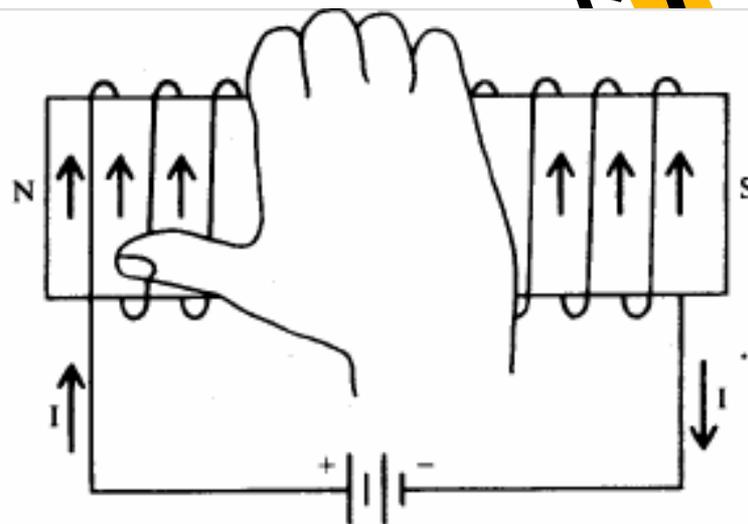
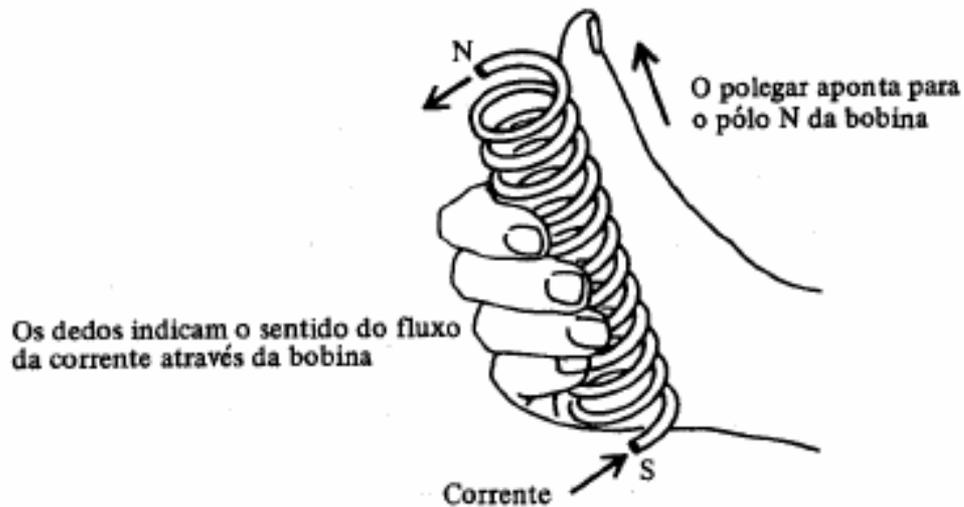
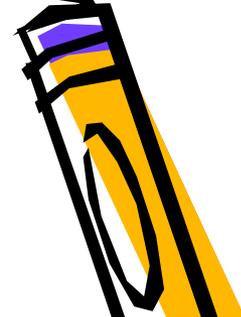
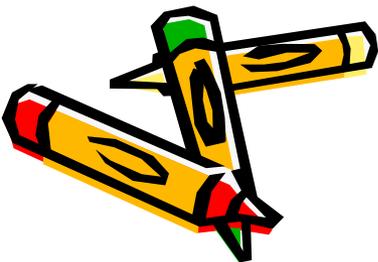


Figura 4.9 - Regra da mão direita aplicada a uma bobina.



# D. Campo Eletromagnético gerado por um Toróide.

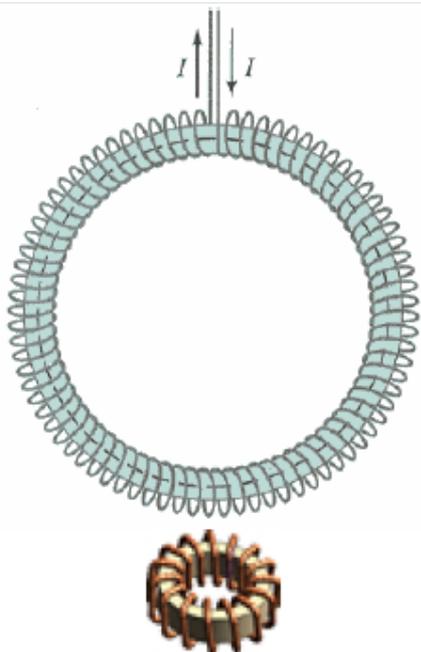
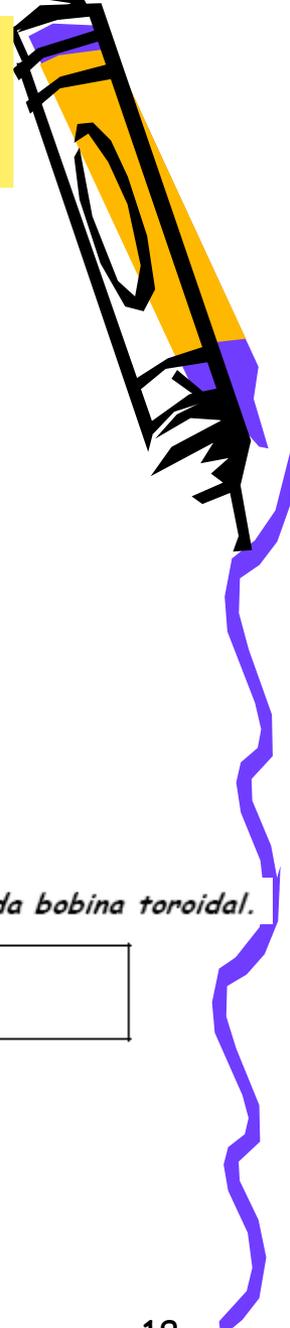


Figura 4.11 - Aspecto de um Toróide (Fonte: Giancoli).

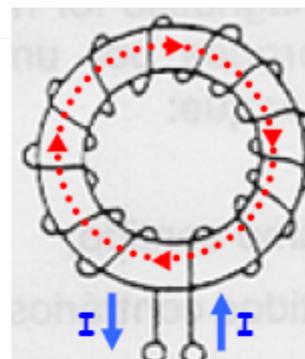
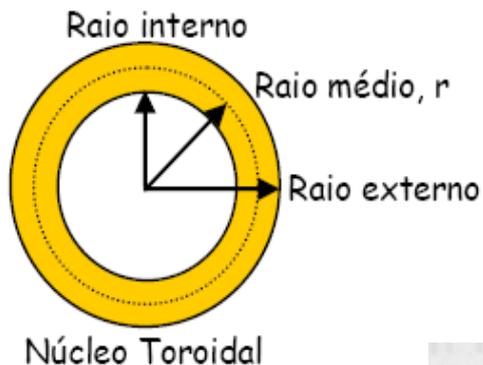


Figura 4.13 - Sentido das linhas de campo no núcleo da bobina toroidal.

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

Onde:

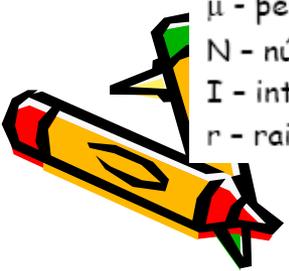
B - densidade de campo magnético no interior do núcleo do toróide, [T];

$\mu$  - permeabilidade magnética do meio no interior das espiras do toróide (núcleo);

N - número de espiras da bobina toroidal;

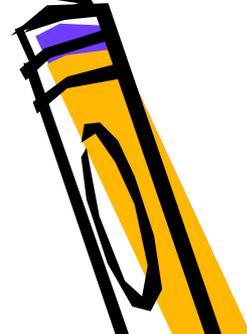
I - intensidade de corrente no condutor da bobina, [A];

r - raio médio do toróide, [m].

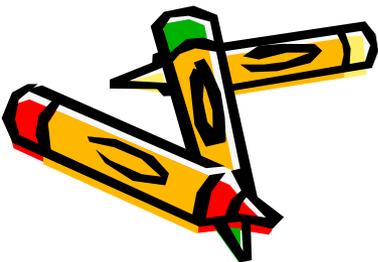


# Exercícios sobre solenóides:

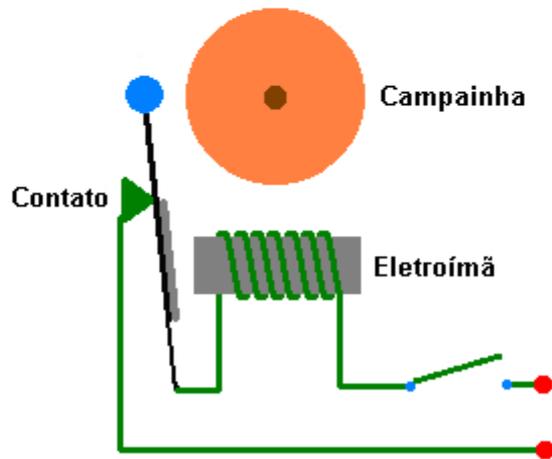
<http://br.geocities.com/saladefisica8/eletromagnetismo/solenoides.htm>



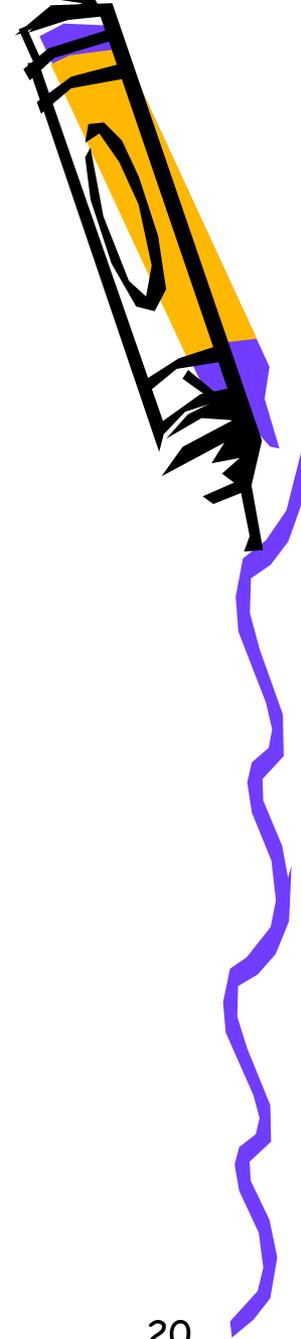
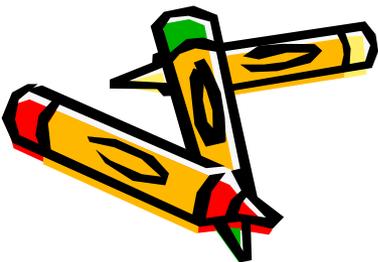
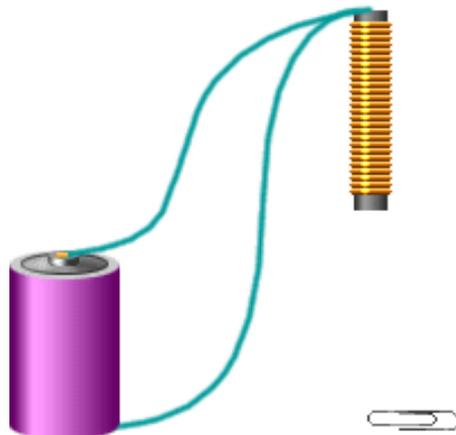
- Um solenóide de 1 metro de comprimento contém 500 espiras e é percorrido por uma corrente de 2A. Determinar a intensidade do vetor campo magnético no interior do solenóide. Adote  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$
- No interior de um solenóide de comprimento 0,16m, registra-se um campo magnético de intensidade  $5\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$ , quando ele é percorrido por uma corrente de 8A. Quantas espiras tem esse solenóide? Adote  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$
- Considere um solenóide de 0,16m de comprimento com 50 espiras. Sabendo que o solenóide é percorrido por uma corrente de 20A, determine a intensidade do campo magnético no seu interior.
- Um solenóide de 1 metro de comprimento contém 1000 espiras e é percorrido por uma corrente de  $i$ . Sabendo que o vetor campo magnético no seu interior vale  $8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$ , determine  $i$ . O solenóide está no vácuo.



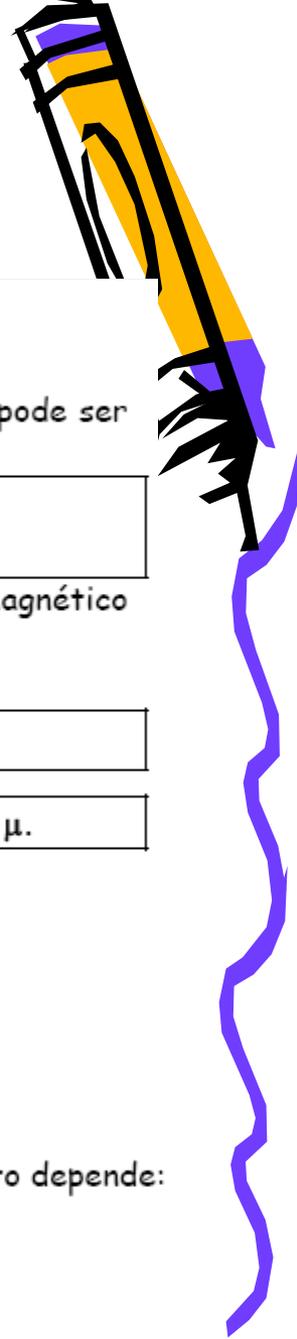
5. Explique o princípio de funcionamento de uma campainha.



6. O que é um eletroímã? Como funciona?



# 2.4- Vetor Campo Magnético Indutor



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

O módulo do vetor campo magnético indutor ou vetor força magnetizante  $H$  numa bobina pode ser dado por:

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

Podemos, portanto, concluir que os vetores Densidade de Campo Magnético e Campo Magnético Indutor se relacionam pela equação:

$$B = \mu \cdot H$$

**A Densidade de Fluxo Magnético  $B$  é o efeito da Força Magnetizante  $H$  num dado meio  $\mu$ .**

- Para um condutor retilíneo:  $H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$
- Para uma espira circular:  $H = \frac{I}{2 \cdot R}$
- Para uma bobina toroidal:  $H = \frac{N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$

**Conclusão:** genericamente falando, o campo eletromagnético resultante num dado ponto depende:

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

