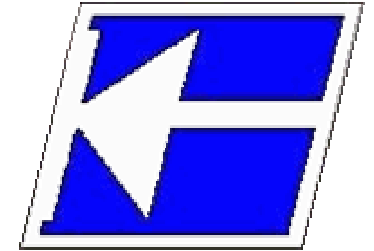


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**  
**Departamento de Eletrônica**



**Retificadores**



# **Fenômenos Eletromagnéticos**

**Clóvis Antônio Petry, professor.**

**Florianópolis, fevereiro de 2007.**

# Bibliografia para esta aula



## Nesta aula

---

### **Seqüência de conteúdos:**

1. Campo magnético;
2. Permeabilidade magnética;
3. Susceptibilidade magnética;
4. Relutância magnética;
5. Fenômenos eletromagnéticos;
6. Campo magnético criado por uma corrente elétrica;
7. Lei de Biot-Savart.

# Campo magnético

## Densidade de campo magnético ou indução magnética:

- Ou densidade de fluxo magnético;
- Mais conhecido como **Campo Magnético**;
- Grandeza vetorial, representado por B;
- Unidade é o Tesla [T] ou Gauss [G].

## **Fluxo magnético:**

- Fluxo magnético ( $\Phi$ ) é o conjunto de todas as linhas de campo que atingem perpendicularmente uma área.
- Unidade é Weber [Wb];
- Um Weber corresponde a  $1 \times 10^8$  linhas de campo.

## **Campo magnético ou vetor indução ou força magnetizante:**

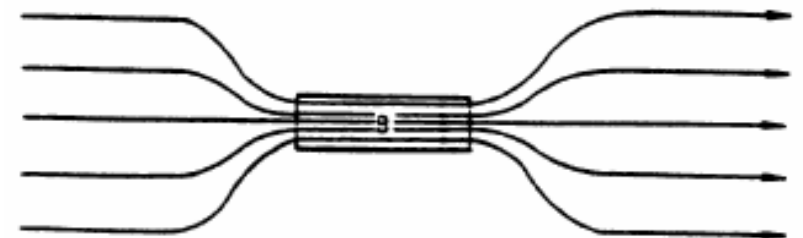
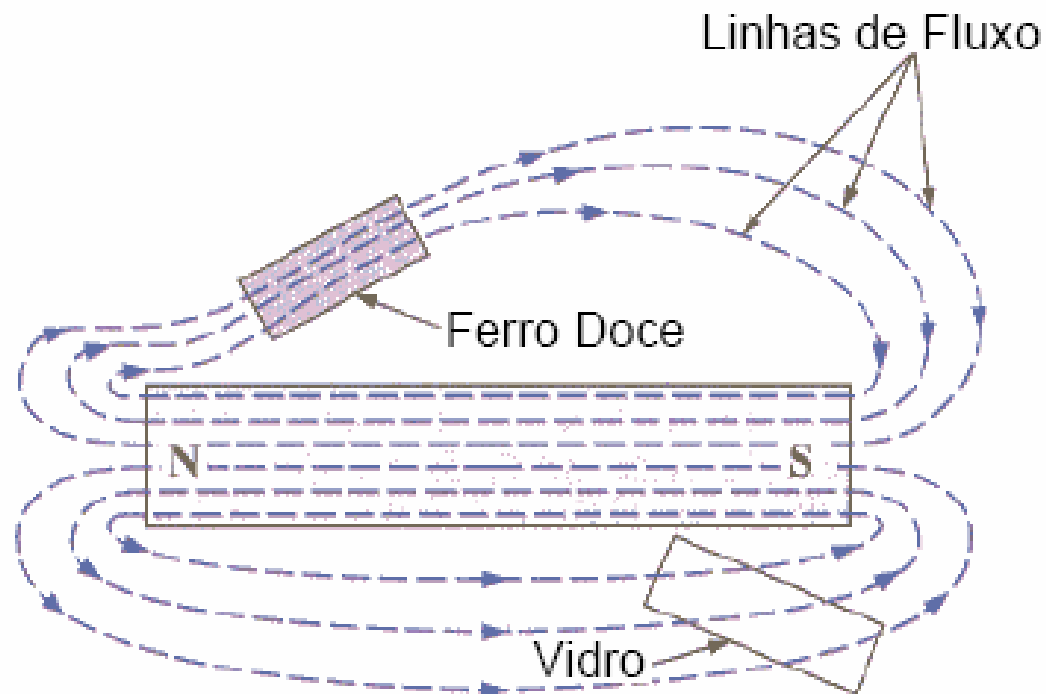
- A existência de um campo magnético H num ponto do espaço pode ser devida á presença de matéria imantada ou á circulação de corrente elétrica.
- Unidade é A/m ou Oersted [Oe];
- Grandeza vetorial.

$$1 \text{ A/m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$$

# Permeabilidade magnética

## Permeabilidade magnética:

- Grau de magnetização de um material em resposta ao campo magnético;
- Facilidade de “conduzir” o fluxo magnético;
- Simbolizado pela letra  $\mu$ .



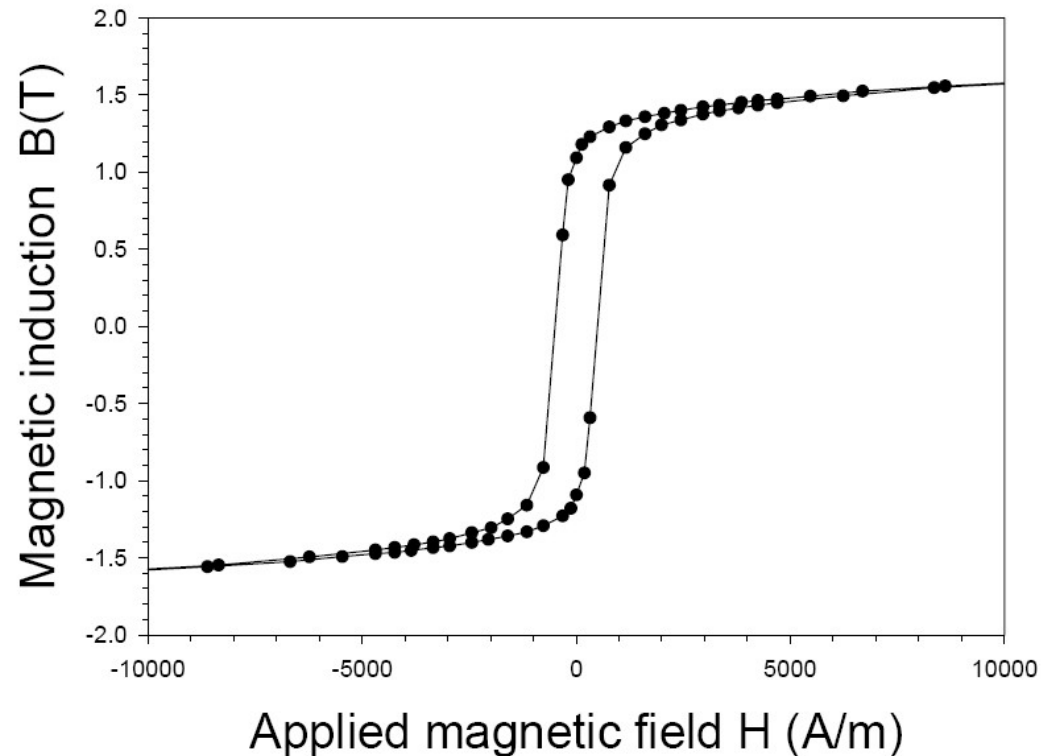
# Permeabilidade magnética

$$\mu = \frac{B}{H} \longrightarrow \text{Permeabilidade absoluta}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \longrightarrow \text{Permeabilidade relativa}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Wb}{A/m}$$

Permeabilidade do vácuo



# Permeabilidade magnética

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

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

# Susceptibilidade magnética

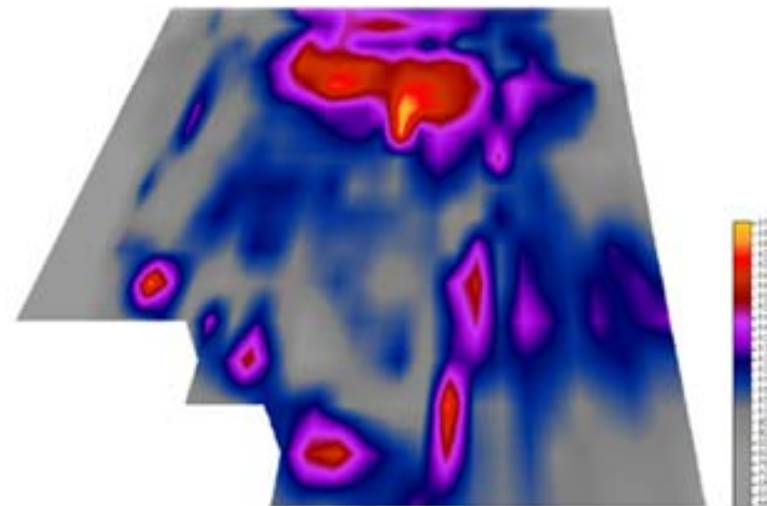
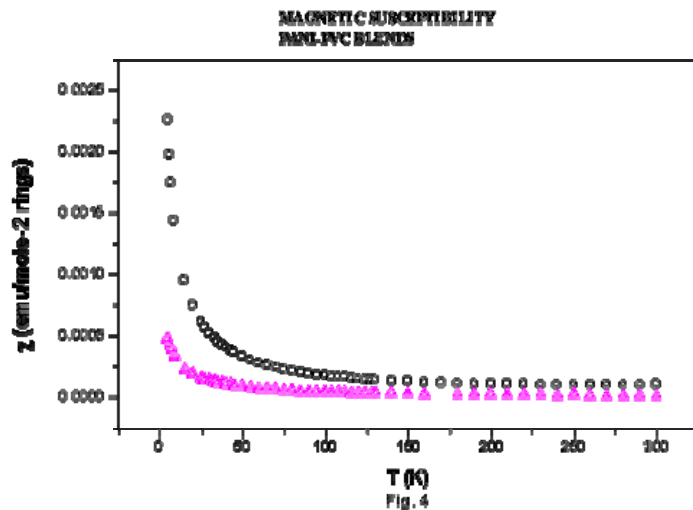
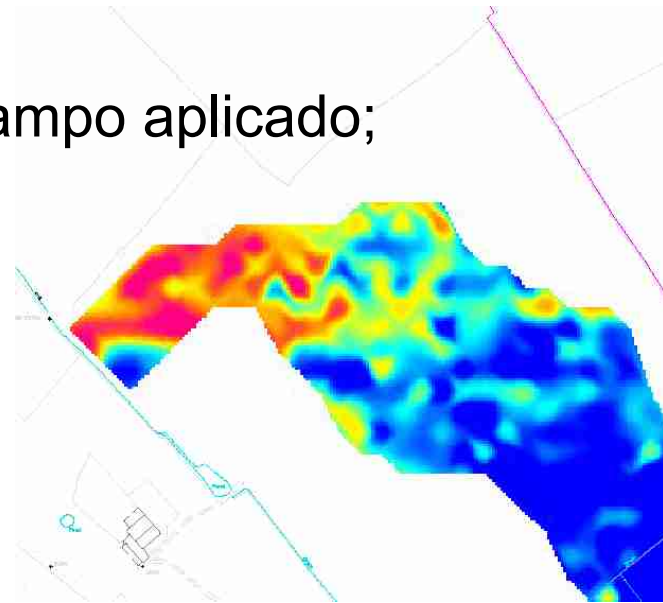
## Susceptibilidade magnética:

- É a resposta do material a um campo aplicado;
- Simbolizado pela letra  $\chi$ .

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

SI  $\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi)$

CGS  $\mu = 1 + 4\pi \cdot \chi$



# Resumo das principais grandezas

Grandeza	SI	CGS	Relação
$\Phi$	weber (Wb)	maxwell	1 Wb = $10^8$ maxwells
$B$	tesla (T) = Wb/m <sup>2</sup>	gauss (G)	1 T = $10^4$ G
$H$	A/m	oersted (Oe)	1 A/m = $4\pi \times 10^{-3}$ Oe
$M$	A/m	emu/cm <sup>3</sup>	1 A/m = $10^{-3}$ emu/cm <sup>3</sup>
$\mu$	N/A <sup>2</sup>	adimensional	
$\chi$	adimensional	adimensional	

# Relutância magnética

## Relutância magnética:

- É uma medida da oposição que um meio oferece ao estabelecimento e concentração das linhas de campo magnético.

$$\mathfrak{R} = \frac{\ell}{\mu \cdot A} \longleftrightarrow R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

onde:

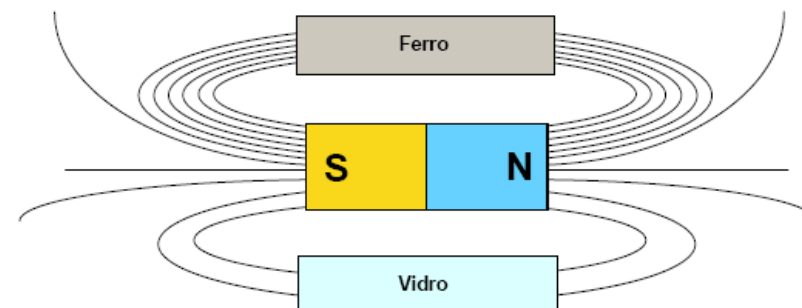
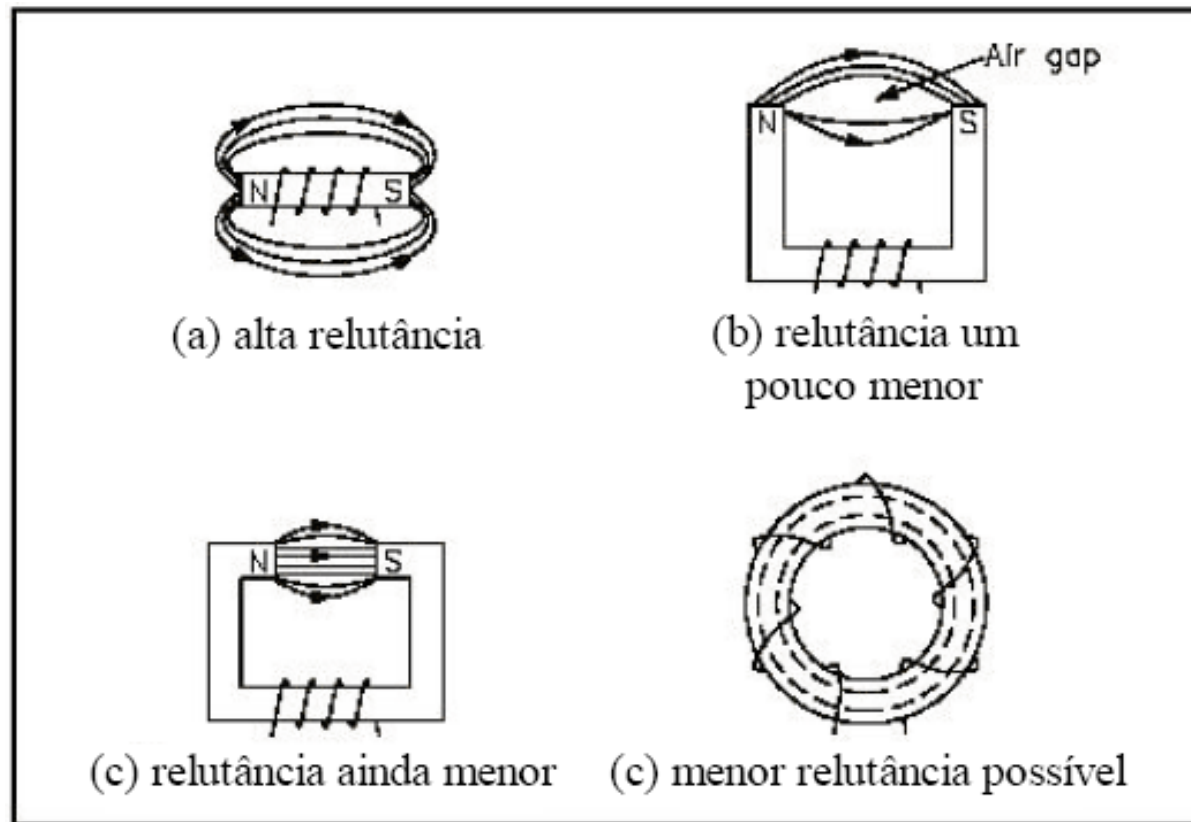
$\mathfrak{R}$  - relutância magnética, *rel/s* ou *Ae/Wb* (Ampéres-espiras<sup>3</sup> por Weber);

$\ell$  - comprimento médio do caminho magnético das linhas de campo no meio, m;

$\mu$  - permeabilidade magnética do meio, *Wb/Am*;

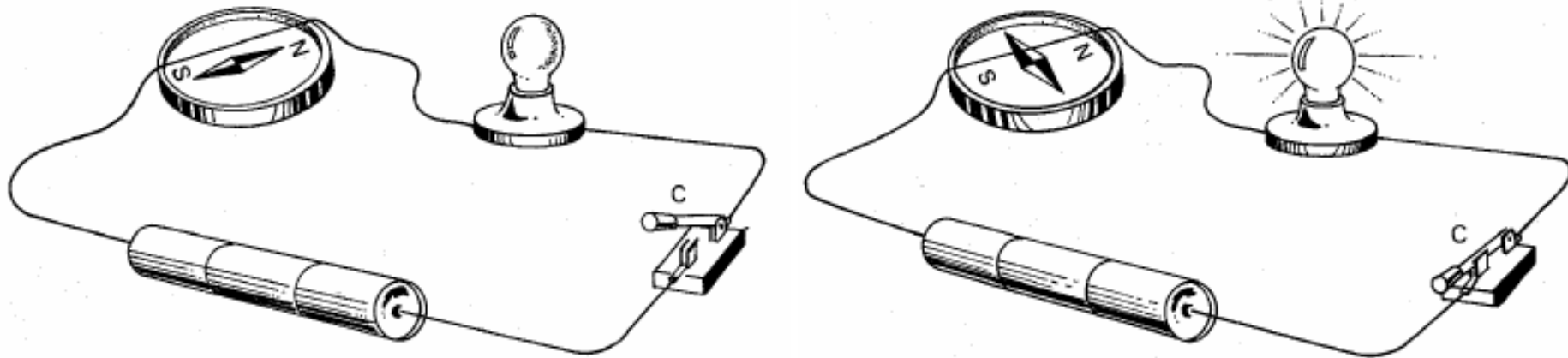
$A$  - área da seção transversal, *m<sup>2</sup>*.

# Relutância magnética



# Eletrromagnetismo

## Descobertas de Oersted:



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

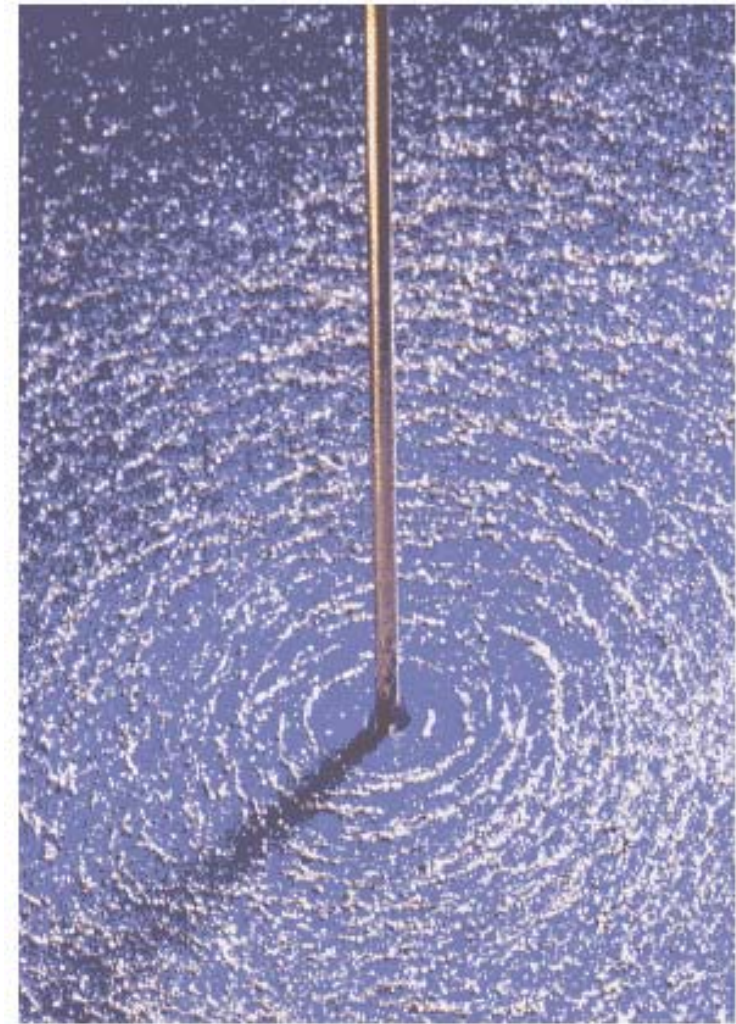
Quando duas cargas elétricas estão em movimento manifesta-se entre elas uma força magnética além da força elétrica (ou força eletrostática).

# Fenômenos do Eletromagnetismo

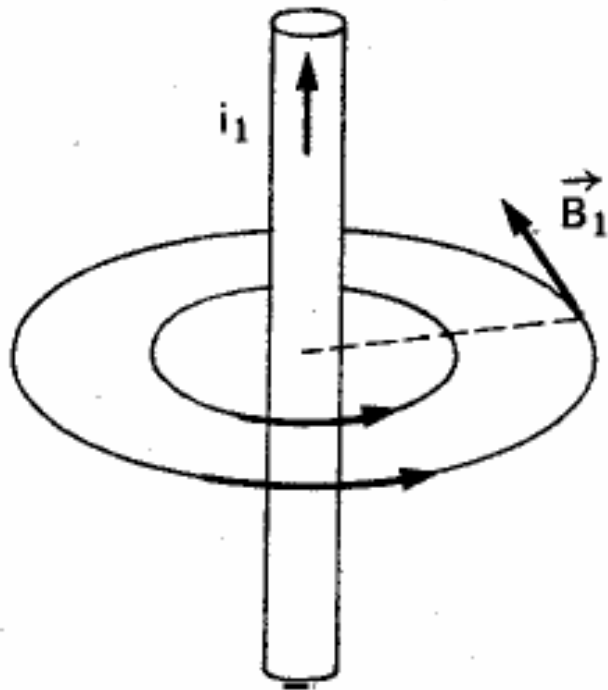
**São 3 os principais fenômenos eletromagnéticos:**

1. Condutor percorrido por corrente elétrica produz um campo magnético;
2. Campo magnético provoca ação de uma força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica;
3. Fluxo magnético variante sobre um condutor gera (induz) corrente elétrica.

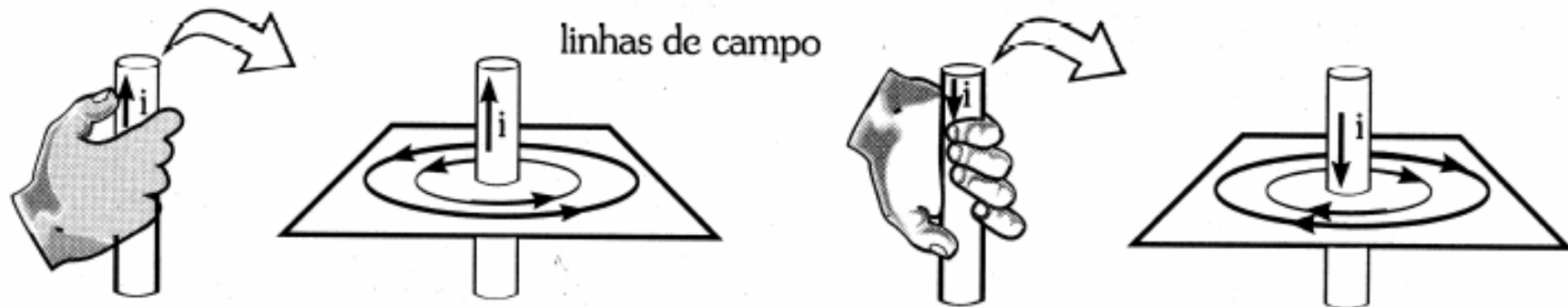
# Campo magnético criado por uma corrente elétrica



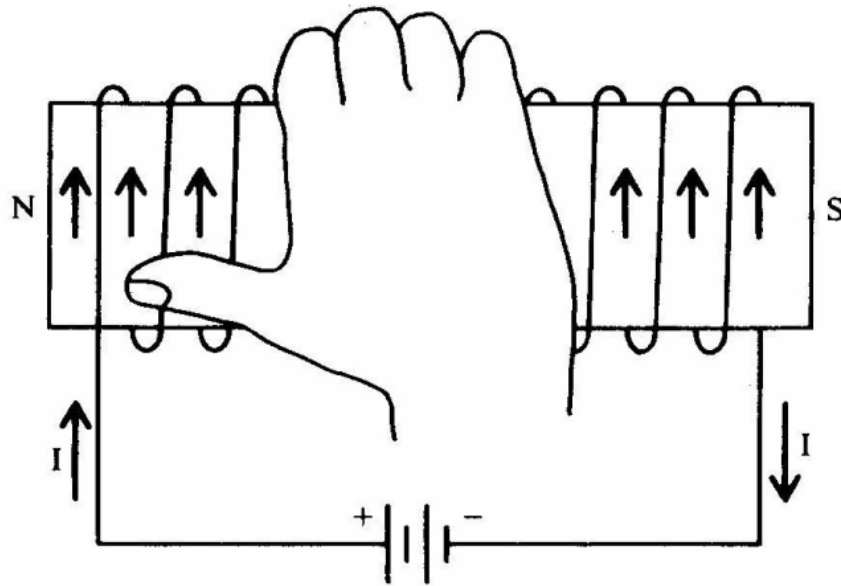
# Campo magnético criado por uma corrente elétrica



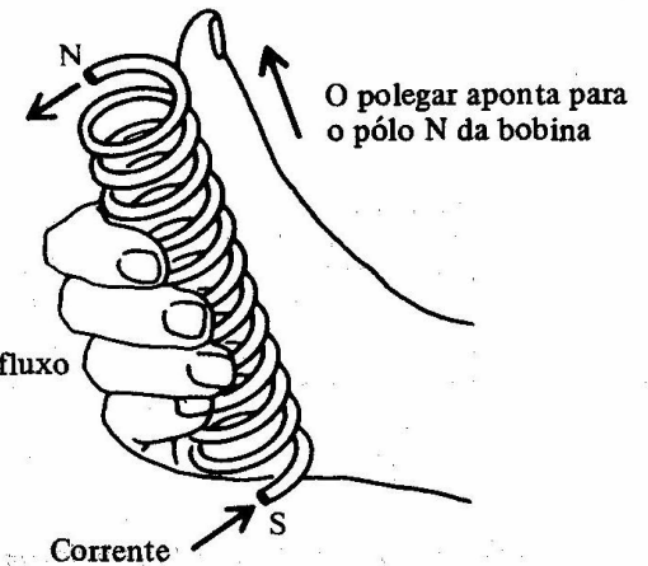
**Regra de Ampère ou Regra da mão direita:**  
Mão direita envolvendo o condutor com o polegar apontando para o sentido convencional da corrente elétrica, os demais dedos indicam o sentido das linhas de campo que envolvem o condutor.



# Campo magnético criado por uma corrente elétrica



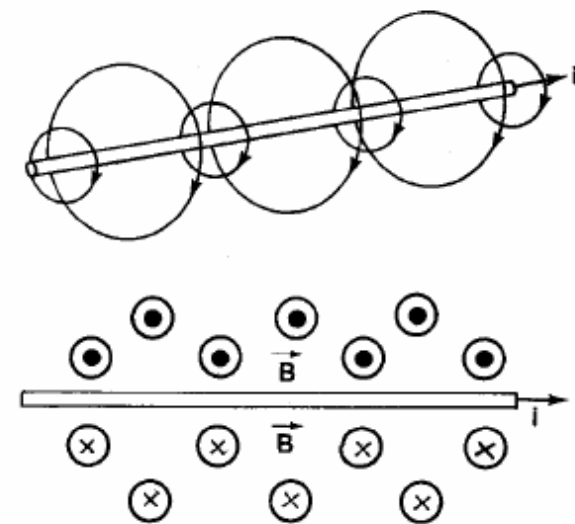
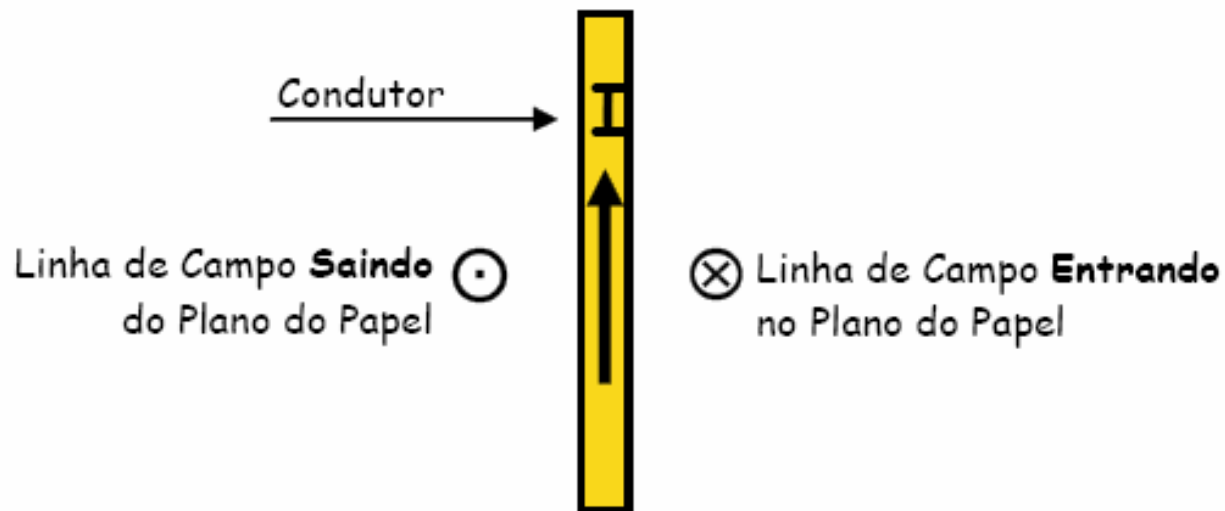
Os dedos indicam o sentido do fluxo da corrente através da bobina



# Campo magnético criado por uma corrente elétrica

⊙ → direção perpendicular → sentido de saída

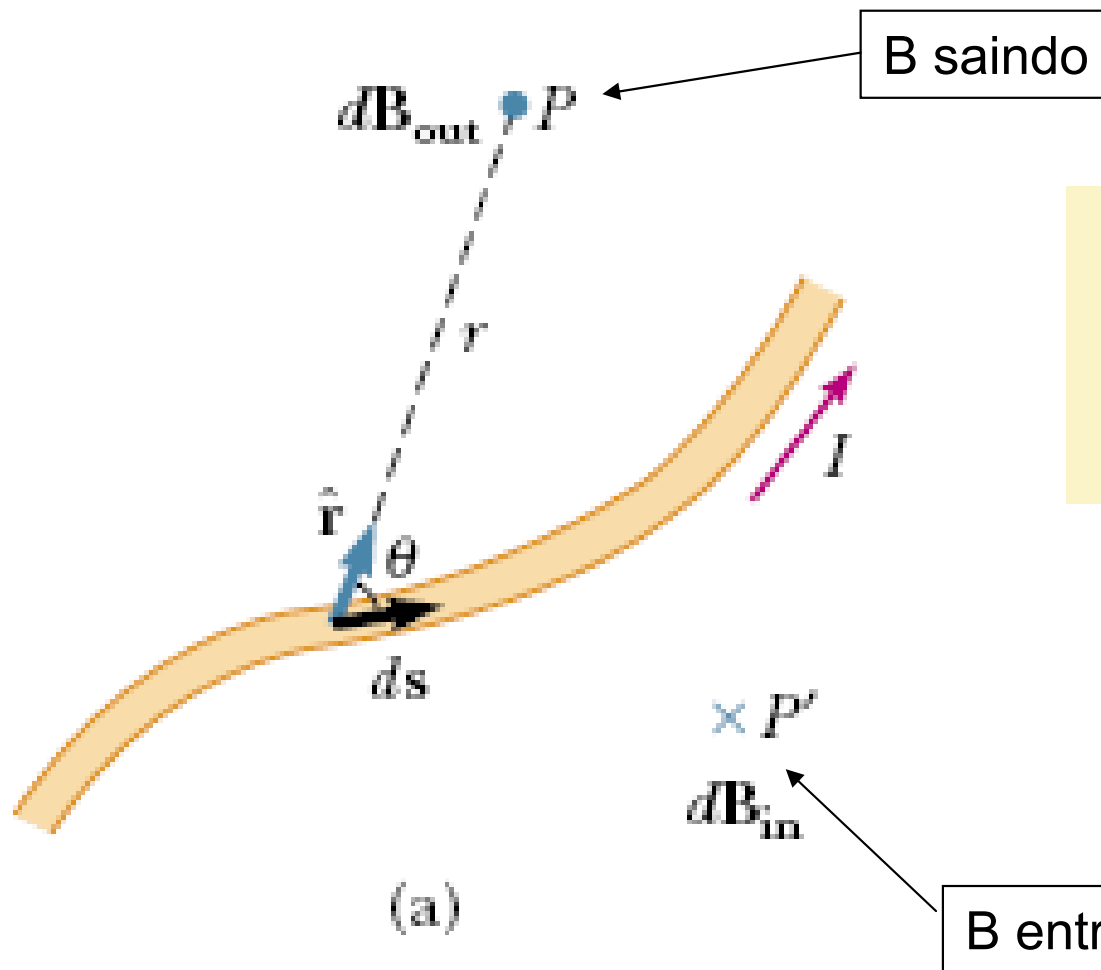
⊗ → direção perpendicular → sentido de entrada



# Lei de Biot-Savart

O campo magnético  $d\mathbf{B}$  num ponto  $P$  devido à corrente  $I$  em um elemento de comprimento  $d\mathbf{s}$  é dado pela lei de Biot-Savart.

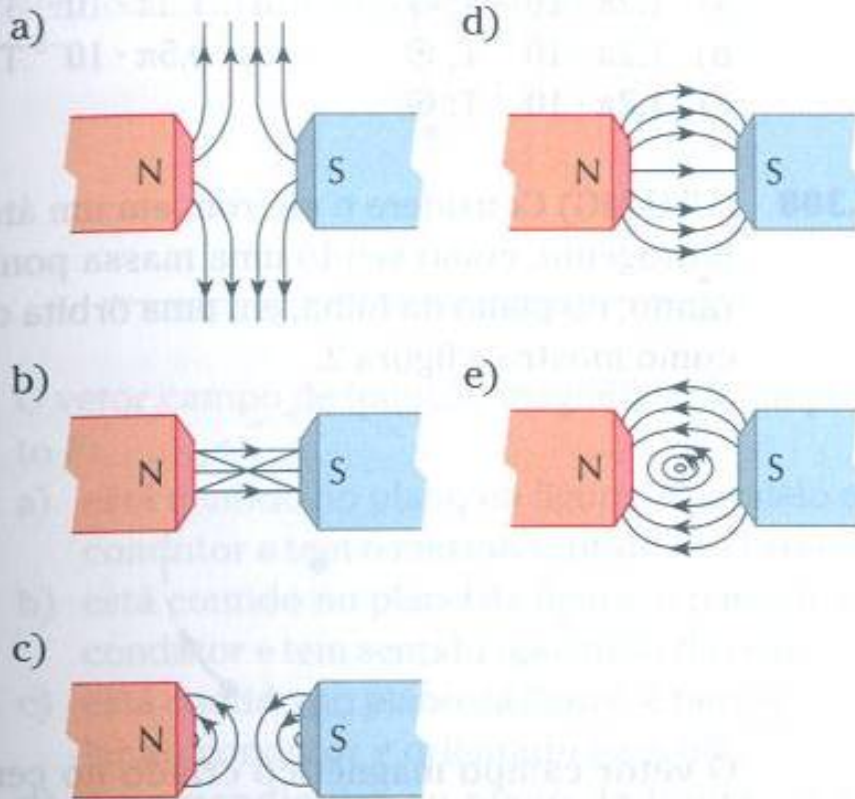
A direção do vetor indução é perpendicular à corrente  $i$ .



$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

# Exercício

**T.293** (UFV-MG) Assinale o diagrama que melhor representa as linhas de indução magnética criadas entre os ímãs.



**T.297** (PUC-SP) Na experiência de Oersted, o fio de um circuito passa sobre a agulha de uma bússola. Com a chave C aberta, a agulha alinha-se como mostra a figura 1. Fechando-se a chave C, a agulha da bússola assume nova posição (figura 2).

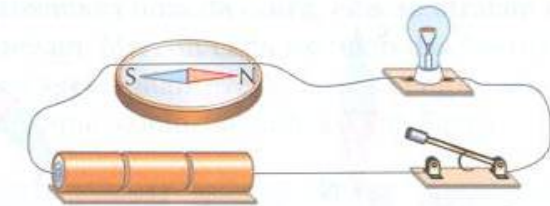


Figura 1

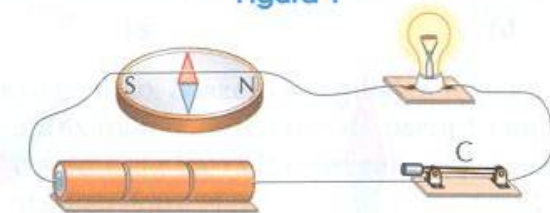


Figura 2

A partir desse experimento, Oersted concluiu que a corrente elétrica estabelecida no circuito:

- gerou um campo elétrico numa direção perpendicular à da corrente.
- gerou um campo magnético numa direção perpendicular à da corrente.
- gerou um campo elétrico numa direção paralela à da corrente.
- gerou um campo magnético numa direção paralela à da corrente.
- não interfere na nova posição assumida pela agulha da bússola, que foi causada pela energia térmica produzida pela lâmpada.

# Na próxima aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Fontes de campo magnético;
2. Campo magnético num condutor retilíneo;
3. Campo magnético numa espira circular;
4. Campo magnético numa bobina longa;
5. Campo magnético gerado por um toróide.