

# Tema#8:Campo Magnético <sup>1</sup>

Bartolomeu Joaquim Ubisse

Universidade Eduardo Mondlane  
Faculdade de Ciências - Departamento de Física

(Aulas preparadas para estudantes da Engenharia Informática- UEM)

03/06/2022

---

<sup>1</sup>Alguns exemplos usados neste material foram usados pelo Prof. Luis Chea nas aulas leccionadas na FENG-UEM no período de 2019 a 2021.

## 1 Campo Magnético

# Campo Magnetismo

## Fontes de campo magnético



Figura 1: Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

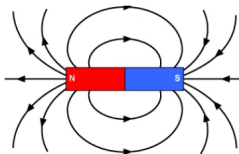


Figura 2:

- **Magnetita** é um ímã permanente que atrai pequenos fragmentos de ferro.

Qual é o ente físico responsável por essa interação e como é que surge?

- $(\vec{B})$  do ímã permanente é devido às correntes microscópicas de electrões que orbitam os núcleos e ao magnetismo intrínseco das partículas fundamentais do material.

Podemos ter polos magnéticos (S e N) separados?

- Monopolos magnéticos ainda não foram descobertos!  $\leadsto \text{div} \vec{B} = 0$  ( $\vec{B}$  tem carácter rotacional!)

# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

A primeira utilização dos fenómenos de magnetismo refere à bússola inventada pelos Chineses, durante a dinastia Qin (200 AC).

Em 1820, Hans Christian Oersted verificou que quando a corrente eléctrica passa pelo condutor, a sua volta cria-se um campo magnético.

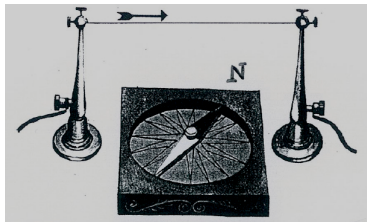


Figura 3: Experiência de Øersted

Campo magnético não interage com cargas eléctrica em repouso. Este facto já tinha sido demonstrado por Gilbert em 1600. Gilbert constatou que varetas metálicas electricamente carregadas não interagem com bússolas, desde que não haja movimento das cargas.

# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

### Força Magnética

---

Campo magnético só age sobre materiais também com propriedades magnéticas ou sobre condutores com cargas em movimento. Assim, considerando cargas em movimento, a força magnética que age sobre elas é:

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

Onde,  $\vec{F}_B$  é força magnética em Newton (N);  $q$  é a carga eléctrica,  $\vec{v}$  é vector velocidade em m/s e  $\vec{B}$  é o vector indução magnética em Tesla (T).

$$1T = \frac{N}{Am}$$

Dado que Tesla é relativamente grande em relação aos campos magnéticos usuais, o Gauss é ainda muito utilizado.

$$1T = 10^{-4}G$$

# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

Tabela 1: Alguns campos magnéticos típicos (Graça, 2012)

local	B(T)
Local magneticamente blindando	$10^{-14}$
Na superfície terrestre	$\sim 50 \times 10^{-6}$
De uma pequena barra de imã	0.01
Necessário para saturar o ferro	2

De notar-se que pelo facto de existir carga eléctrica, existe um campo eléctrico. Assim, a força total que age sobre a carga em movimento é:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B \Rightarrow \vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

Esta força (Eq.2), denomina-se força de Lorentz.

# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

Qual é o efeito do campo magnético sobre uma carga em movimento ?

Primeiro podemos analisar se a força magnética realiza ou não trabalho sobre a carga eléctrica. Para tal, consideremos que a carga tem um deslocamento  $d\vec{\ell}$  durante um tempo  $dt$ , tal que,  $d\vec{\ell} = \vec{v}dt$ . Assim:

$$dW = \vec{F}_B \times d\vec{\ell} \Rightarrow dW = q(\vec{v} \times \vec{B})\vec{v}dt = q\vec{B}(\vec{v} \times \vec{v})dt = 0$$

Deste modo, concluimos que:

- A força magnética não realiza trabalho sobre cargas em movimento;
- A força magnética só muda a direcção do vector velocidade das cargas em movimento

# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

Quando uma carga eléctrica entra num campo magnético constante com velocidade perpendicular ao vector indução magnética ( $\vec{v} \perp \vec{B}$ ), a carga descreve uma trajectória circular (Fig.4). Assim, o raio da trajectória, a velocidade angular e o período são respectivamente dados por:

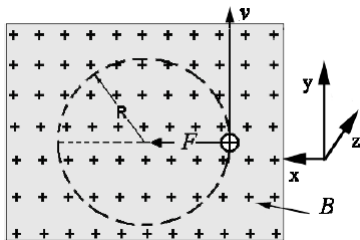


Figura 4:

$$F_B = F_c$$

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B} \quad (3)$$

Sabendo que  $v = \omega R$ , tem-se:

$$R = \frac{m\omega R}{|q|B} \Rightarrow \omega = \frac{|q|}{m}B \quad (4)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{|q|B} \quad (5)$$



# Campo Magnético

## Fontes de campo magnético

Se a velocidade de uma partícula carregada tem uma componente paralela ao campo magnético uniforme, a partícula em causa descreve uma trajetória helicoidal cujo eixo é a direcção do campo. Neste caso, para além de se determinar o raio, será também necessário determinar-se o passo.

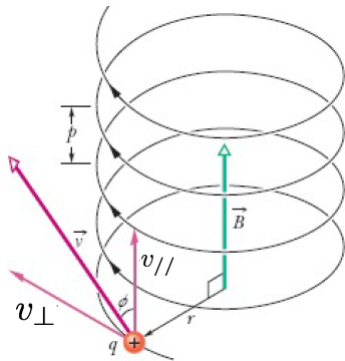


Figura 5:

O passo é determinado pela componente paralela:

$$p = v_{//}T \Rightarrow p = v \cos \phi \frac{2\pi m}{|q|B} \quad (6)$$

O raio é determinada pela componente perpendicular

$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} \Rightarrow R = \frac{mv \sin \phi}{|q|B} \quad (7)$$

# Campo Magnético

## Campo magnético criado por correntes eléctricas - Lei de Biot-Savart

Já abordamos que quando a corrente passa através de um condutor, a volta cria-se um campo magnético. O sentido desse campo pode ser determinado com base na regra da mão direita ou regra de sacarroalha de parafuso direito.

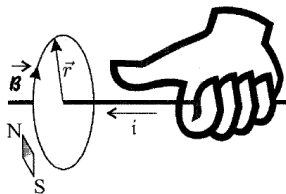


Figura 6: Determinação do sentido de  $\vec{B}$  usando a regra da mão direita

Os físicos franceses, Jean Baptiste Biot e Félix Savart, baseando-se nas observações de Oersted, desenvolveram uma expressão matemática para determinar a magnitude do campo magnético (*a lei de Biot-Savart*)

# Campo Magnético

## Campo magnético criado por correntes eléctricas - Lei de Biot-Savart

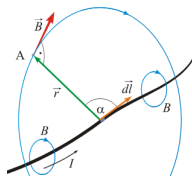


Figura 7:

- Lei de Biot-Savart

$$\vec{B}(r) = \frac{\mu_o}{4\pi} \oint_{\ell} \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \quad (8)$$

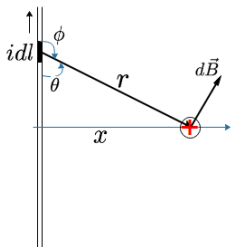
Onde,  $\mu_o$  é a permeabilidade magnética no vácuo ( $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ), e  $\hat{r}$  é o vector unitário do  $Id\vec{\ell}$  até ao ponto de medição do  $\vec{B}$ . ( $1\text{H/m} = 1\text{N/A}^2$ )

# Campo Magnético

Campo magnético criado por correntes eléctricas - Lei de Biot-Savart

## Exemplo 1

Determine a indução magnética a uma distância  $x$  de um fio condutor infinito que através dele passa uma corrente eléctrica  $I$ .



$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \oint \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \Rightarrow B_z = \frac{\mu_o}{4\pi} \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{Idy \sin\phi}{r^2}$$
$$B_z = \frac{\mu_o I}{2\pi x} \frac{\ell}{\sqrt{4x^2 + \ell^2}}$$

Para um fio muito longo ( $\ell \rightarrow \infty$ ):

$$B_z = \frac{\mu_o I}{2\pi x}$$

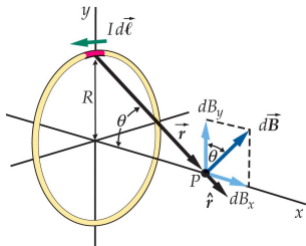
Sabe-se que  $\sin(180 - \gamma) = \sin\gamma$  e  $\int \frac{d\xi}{(\xi^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{\xi}{a^2 \sqrt{\xi^2 + a^2}}$

# Campo Magnético

Campo magnético criado por correntes eléctricas - Lei de Biot-Savart

## Exemplo 2

Determine a indução magnética no centro de uma espira circular que através dela passa uma corrente eléctrica  $I$ .



$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \oint_{\ell} \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_o}{4\pi} \oint_{\ell} \frac{Id\ell \sin\theta}{r^2} \vec{i}$$

$$B_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \int_0^{2\pi R} \frac{RI d\ell}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$B_x = \frac{\mu_o}{2} \frac{R^2 I}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

No centro da espira ( $x = 0$ ):

$$B = \frac{\mu_o}{2} \frac{I}{R}$$

# Campo Magnético

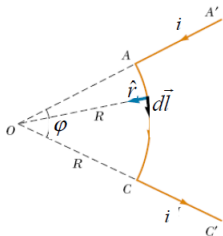
Campo magnético criado por correntes eléctricas - Lei de Biot-Savart

Com base no resultado do Exemplo 2 para  $x = 0$  (centro da espira), a magnitude do campo criado por muitas espiras ( $N$  espiras) é:

$$B = \frac{\mu_o}{2} \frac{NI}{R} \quad (9)$$

## Exemplo 3

Determine o campo magnético no centro de um arco de uma circunferência de raio  $R$



- Os segmentos  $AA'$  e  $CC'$  não contribuem para o campo no ponto  $O$ , visto que  $d\vec{\ell} \times \vec{r} = 0$  ( $d\vec{\ell} // \vec{r}$ )

$$B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \int_c \frac{d\ell}{R^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_o i}{4\pi} \int_0^\phi \frac{R d\phi}{R^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_o i}{4\pi R} \phi$$