

# F-107 Física para Biologia

## Biomagnetismo

# Motivação

Efeitos físicos-biológicos têm sua origem nas características físicas naturais da Terra

Exemplos...



Radiação eletromagnética  
**Campos magnéticos**  
Campo gravitacional  
Campos elétricos  
Pressão atmosférica

Nas últimas décadas...

- Sinais magnéticos foram observados no coração, cérebro, músculos e nervos
- Medidas de suscetibilidade magnética mostram o efeito de inalação de poeira nos pulmões. E também, quando estas medidas são feitas no fígado, nos fornecem indícios sobre o acúmulo de ferro no organismo
- Bactérias parecem usar partículas magnetizadas para orientação
- Há indícios de que o magnetismo é utilizado por pássaros e outros animais para orientação

# Campo magnético

## Introdução

Há mais de 2000 anos, os gregos sabiam da existência de um certo tipo de pedra (hoje chamada de **magnetita**) **que atraía pedaços de ferro (limalhas)** .

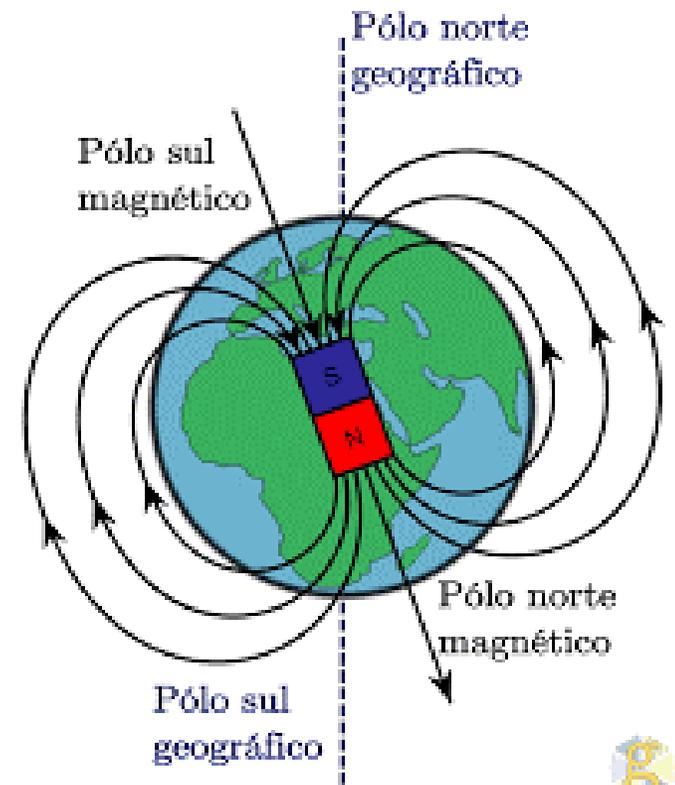
Em 1269, Pierre de Maricourt descobriu que uma agulha liberada em vários pontos sobre um ímã natural esférico orientava-se ao longo de linhas que passavam através de pontos nas extremidades diametralmente opostas da esfera. Ele chamou esses pontos de **polos do ímã**.

Em seguida, vários experimentos verificaram que todos os ímãs de qualquer forma possuíam **dois polos**, chamados de polos (arbitrariamente) **norte e sul**. Foi observado também que **polos iguais** de dois ímãs **se repelem** e **polos diferentes se atraem mutuamente**.

# Campo magnético

Em 1600, William Gilbert descobriu que a **Terra era um ímã natural** com **polos magnéticos próximos aos polos norte e sul geográficos**. Uma vez que o polo norte de uma agulha imantada de uma bússola aponta na direção do polo sul de um ímã, o que é denominado **polo norte da Terra**, é na realidade, **um polo sul magnético**.

Embora as cargas elétricas e os polos magnéticos sejam similares em vários aspectos, existe uma importante diferença entre eles: **os polos magnéticos sempre ocorrem aos pares**. Quando um ímã é dividido ao meio, **polos iguais e opostos aparecem em cada lado do ponto de quebra**. Isso resulta em dois ímãs, cada um com um polo norte e um polo sul.



# Força exercida por um campo magnético

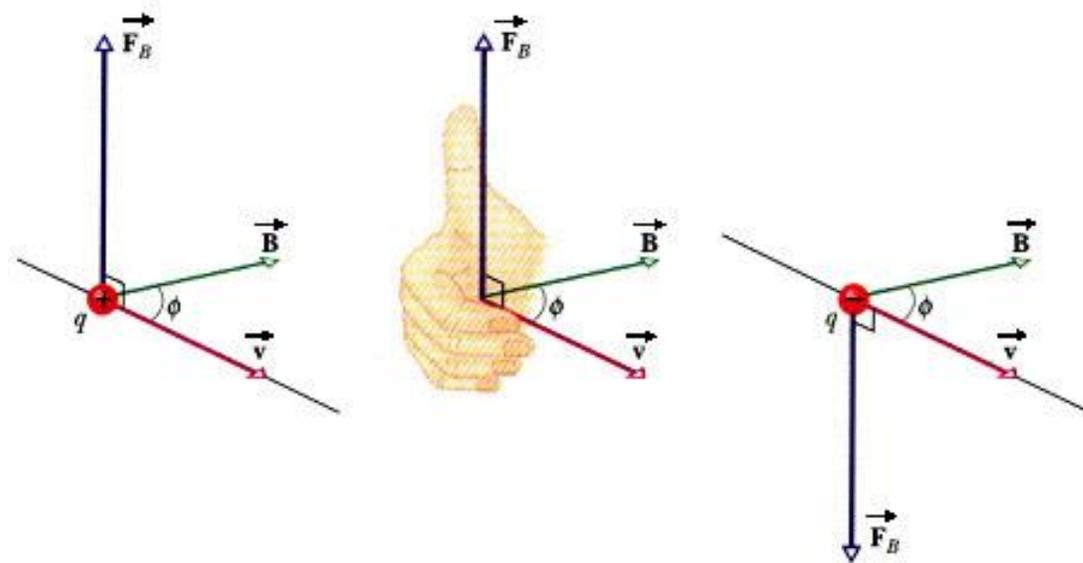
## Definição do vetor indução magnética $\vec{B}$

A existência de um campo magnético em uma dada região pode ser demonstrada com uma agulha de bússola. Esta se alinhará na direção do campo. Por outro lado, quando uma partícula carregada com carga  $q$  e velocidade  $\vec{v}$  entra em uma região onde existe um campo magnético  $\vec{B}$ , esta partícula é desviada transversalmente de sua trajetória sob ação de uma força magnética que é proporcional à carga da partícula, à velocidade, à intensidade do campo magnético e ao seno do ângulo entre a velocidade e a direção do campo.

Esta força é perpendicular tanto à velocidade quanto ao campo magnético

# Força exercida por um campo magnético

A força de Lorentz  $F = qvB \sin \theta \Rightarrow \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  (1)



A partir da equação (1), define-se o *vetor Indução Magnética*  $\vec{B}$

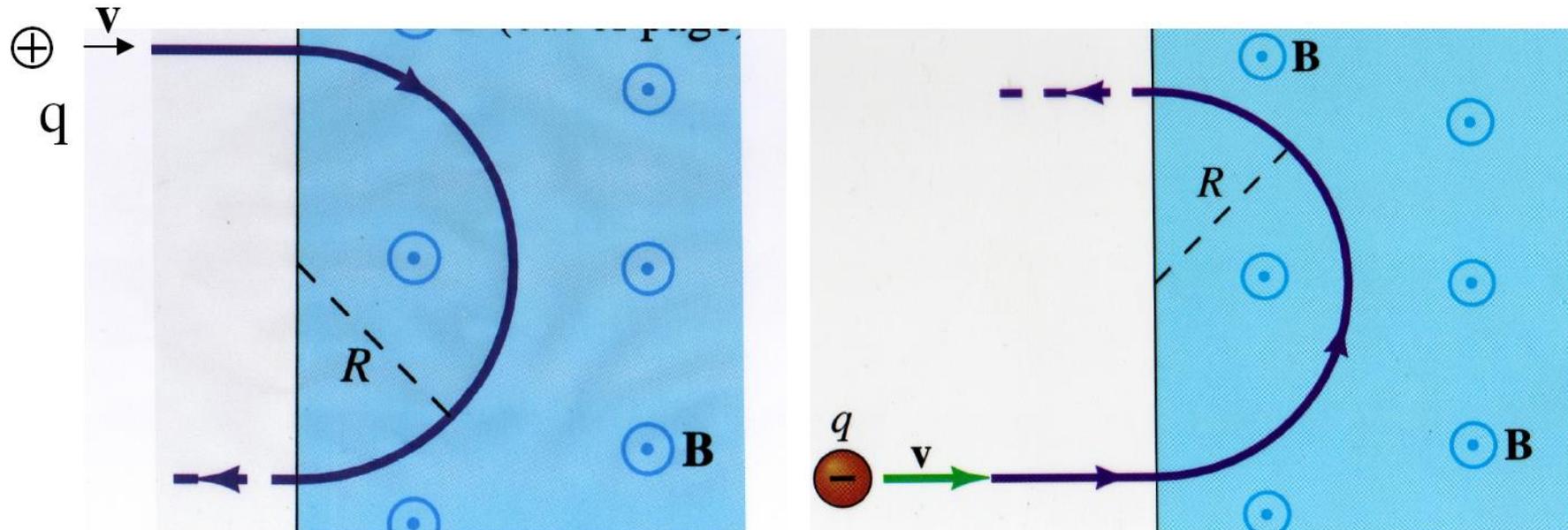
$$B = \frac{F_{mag}}{|q| v \sin \theta} \Rightarrow \frac{\text{N.s}}{\text{C.m}} = \frac{\text{N}}{\text{A.m}} \equiv \text{T (Tesla)}$$

**Unidade de uso frequente : gauss (G) ; 1 G = 10<sup>-4</sup> T**

# Força exercida por um campo magnético

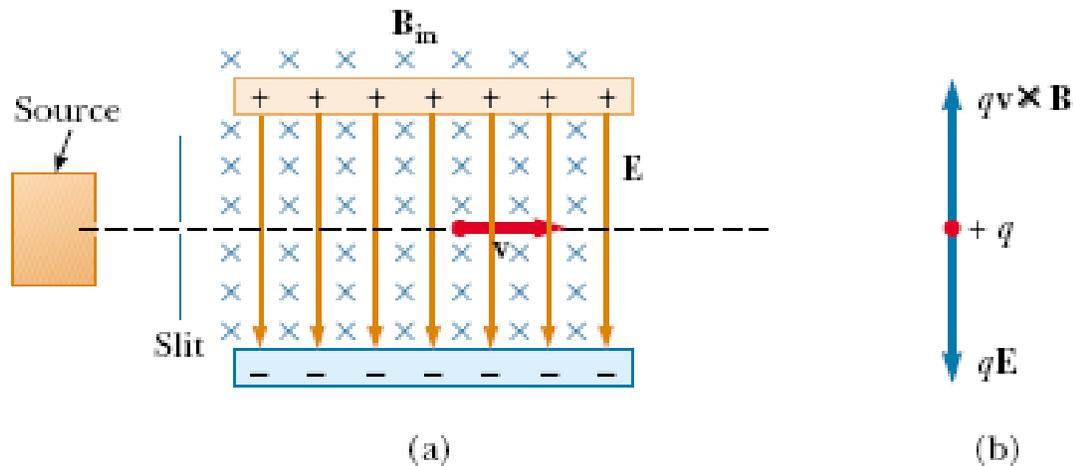
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow F = |q|vB \sin \theta = |q|vB$$

⊗ **B** entrando  
 ⊙ **B** saindo



# Movimento de uma partícula carregada

## Filtro de velocidades/Campos cruzados



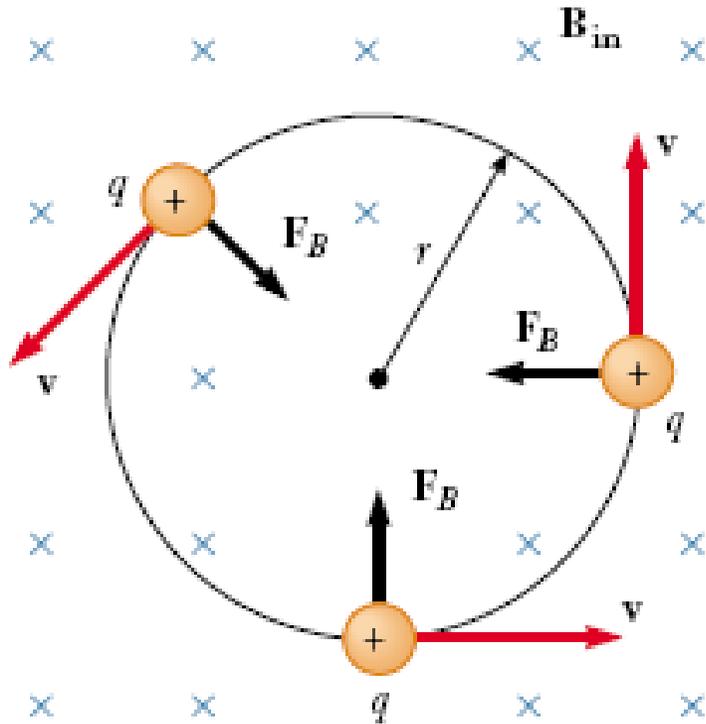
Uma partícula de carga  $q$  entra numa região do espaço entre as placas de um capacitor onde existem um campo elétrico e um campo magnético perpendicular (como o produzido por um ímã). A força total sobre a partícula é:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

As forças elétrica e magnética são invertidas, sendo que elas se equilibram (e, portanto, a partícula não sofre desvio) se  $qE = qvB$ , ou:

$$v = \frac{E}{B} \quad (\text{filtro de velocidades})$$

# Movimento de uma partícula carregada



$$F_B = ma \Rightarrow qvB = m \frac{v^2}{r} \quad \longrightarrow \quad r = \frac{mv}{qB}$$

O período do movimento circular é o tempo que a partícula leva para se deslocar uma vez ao longo do perímetro do círculo:

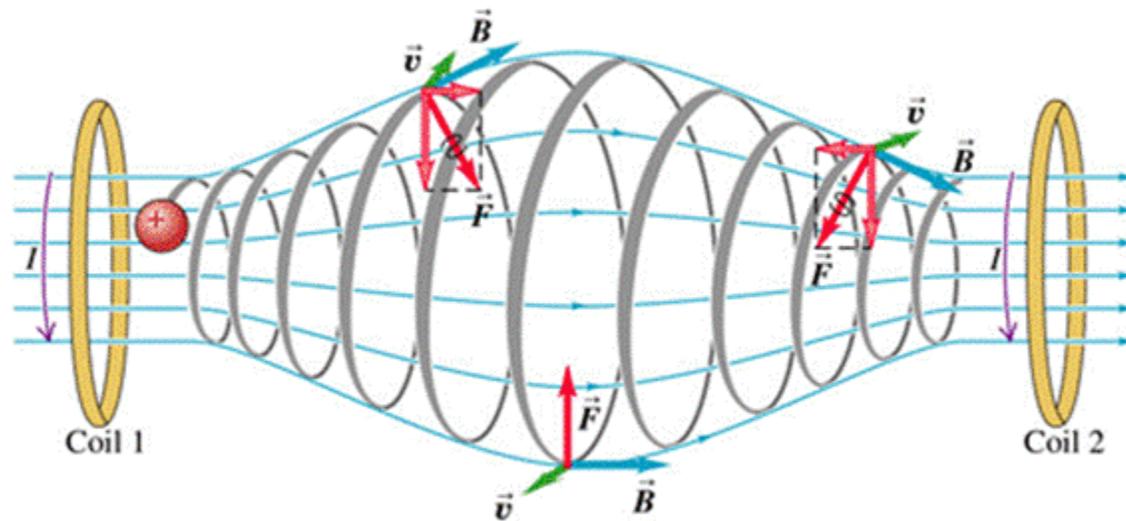
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m v}{v q B} = \frac{2\pi m}{q B}$$

A frequência do movimento circular, chamada de **frequência de ciclotron**, é o inverso do período:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \quad \longrightarrow \quad \omega = 2\pi f = \frac{qB}{m}$$

# Movimento de uma partícula carregada

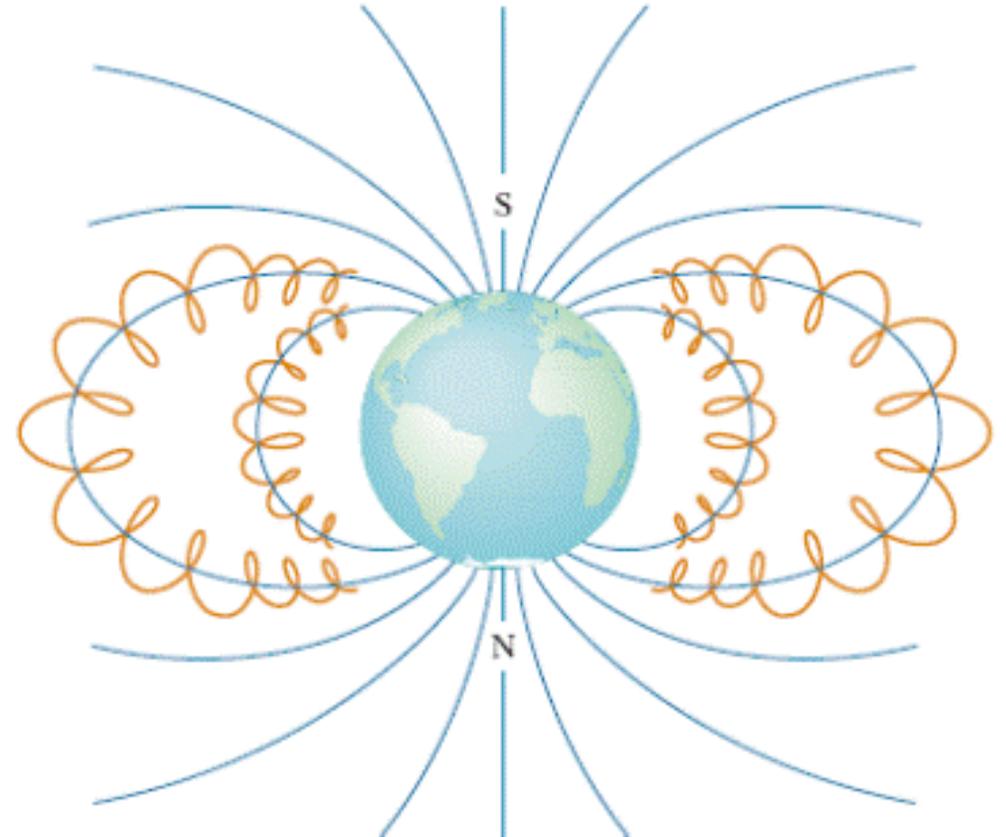
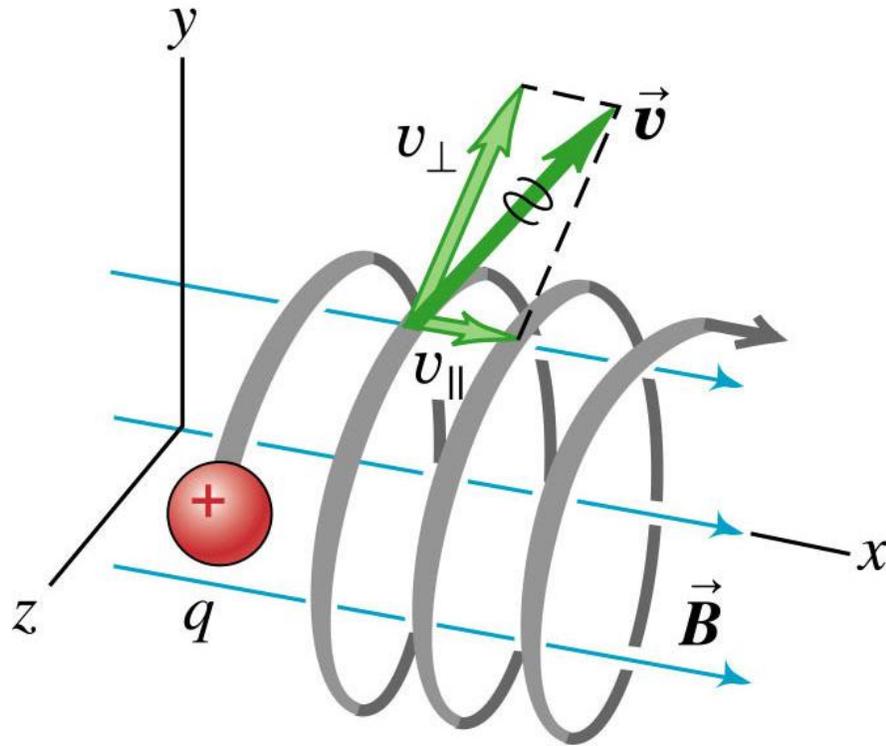
## O que é uma Garrafa Magnética?



Quando uma partícula carregada se move em um campo magnético não uniforme, que é forte em ambas as extremidades e fraco no meio, ela fica aprisionada e se desloca para frente e para trás em uma trajetória espiral em torno das linhas de campo. Desta maneira, elétrons e prótons ficam aprisionados pelo campo magnético terrestre não-uniforme, formando as *cinturões de radiação de Van Allen*.

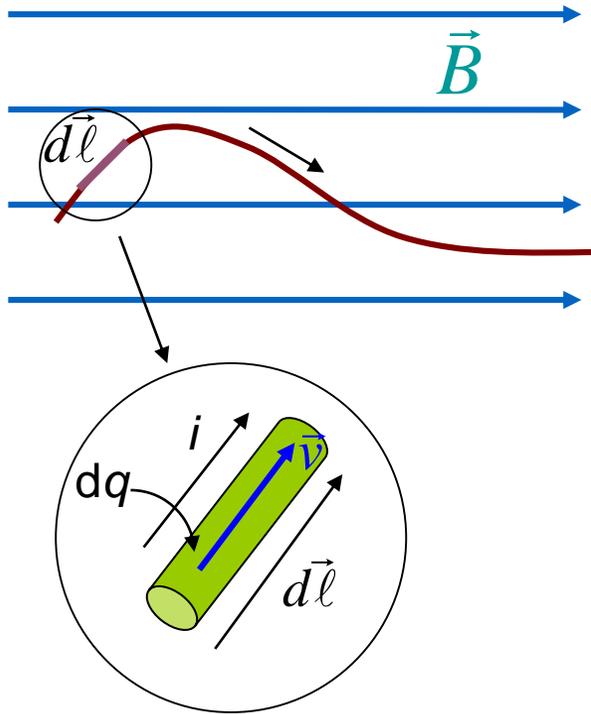
# Movimento de uma partícula carregada

O que é uma Garrafa Magnética?





# Força magnética sobre um fio com corrente



$$d\vec{F} = dq \vec{v} \times \vec{B} = (idt) \left( \frac{d\vec{\ell}}{dt} \times \vec{B} \right) \Rightarrow d\vec{F} = i d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

A força infinitesimal pode ser escrita como:

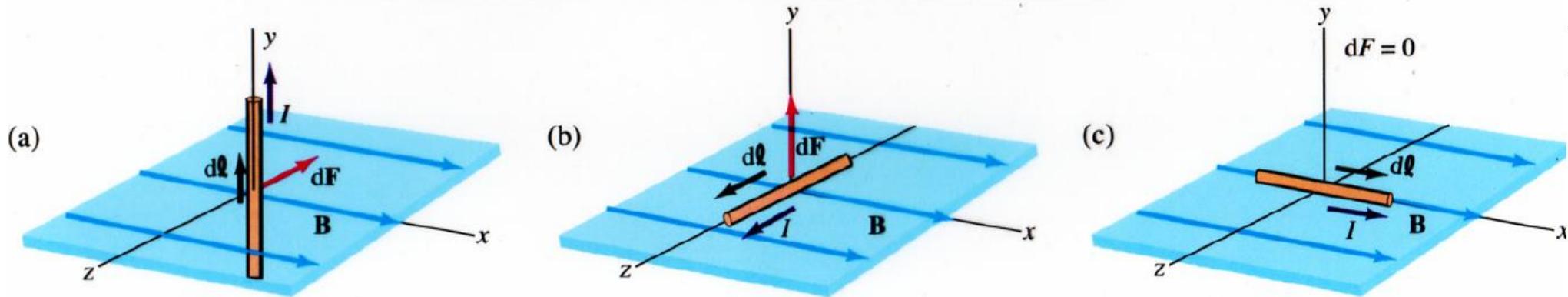
$$dF = i dl B \sin \theta$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre a direção do segmento do fio (direção da corrente) e a direção do campo magnético. A força sobre o fio é:

$$\vec{F} = \int_{\text{fio}} d\vec{F} = \int_{\text{fio}} i d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

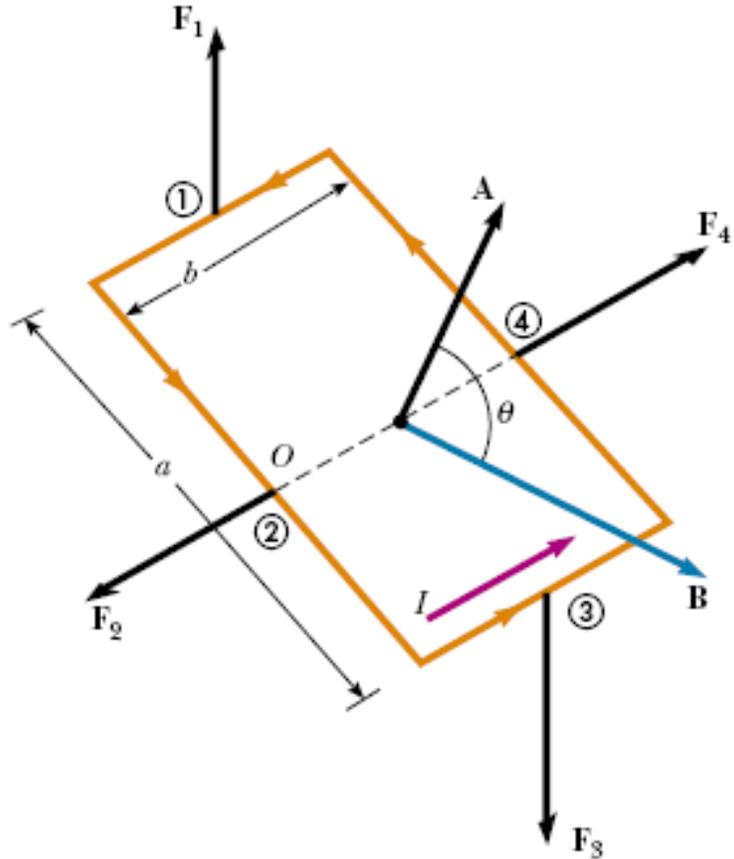
# Força magnética sobre um fio com corrente

As figuras abaixo mostram três configurações de fios conduzindo correntes



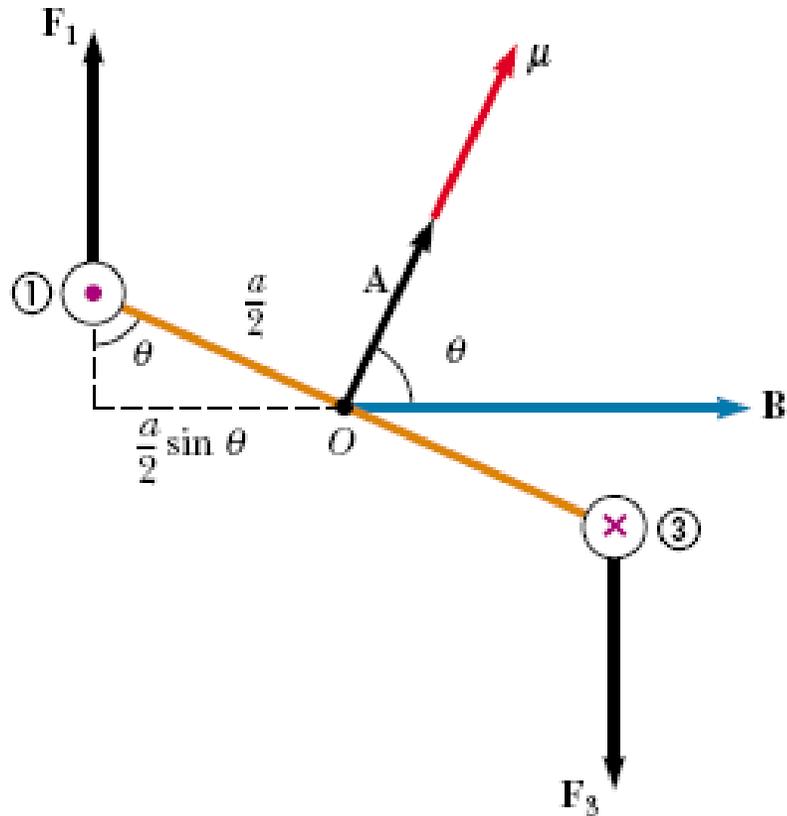
Para fios finitos devemos ter: 
$$\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$$

# Torque em espira com corrente



Uma espira transportando uma corrente **não sofre força líquida** em um **campo magnético uniforme**, mas sim um **torque** que tende a girá-la. As figuras abaixo mostram as forças exercidas por um campo magnético uniforme sobre uma espira retangular cujo vetor unitário  $\mathbf{n}$  faz um ângulo  $\theta$  com o vetor indução magnética  $\mathbf{B}$ . **A força líquida sobre a espira é nula**. As forças  $\mathbf{F}_1$  e  $\mathbf{F}_2$  possuem mesmo módulo. Estas formam um **binário**, de tal modo que **o torque é o mesmo em torno de qualquer ponto**.

# Torque em espira com corrente



$$F_1 = F_3 = ibB$$

Torque em relação ao ponto O:

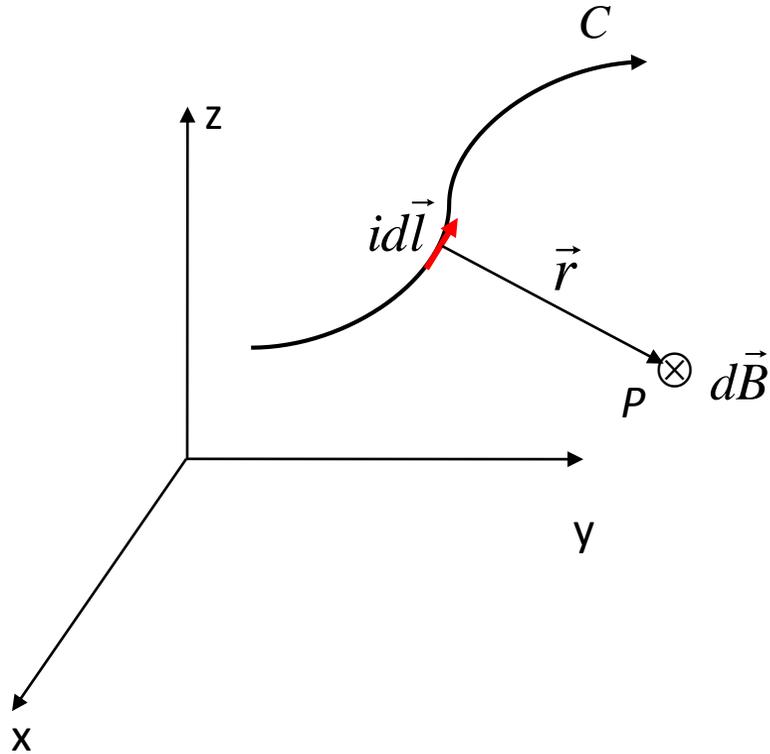
$$\tau = 2F_1 \frac{a}{2} \sin \theta = iaBb \sin \theta = iAB \sin \theta$$

$$A = ab \Rightarrow \tau = NiAB \sin \theta$$

Vetor momento de dipolo magnético da espira

$$\vec{\mu} = NiA\hat{n} \Rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

# Campo num ponto $P$ qualquer...



Lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B} = \int_C \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

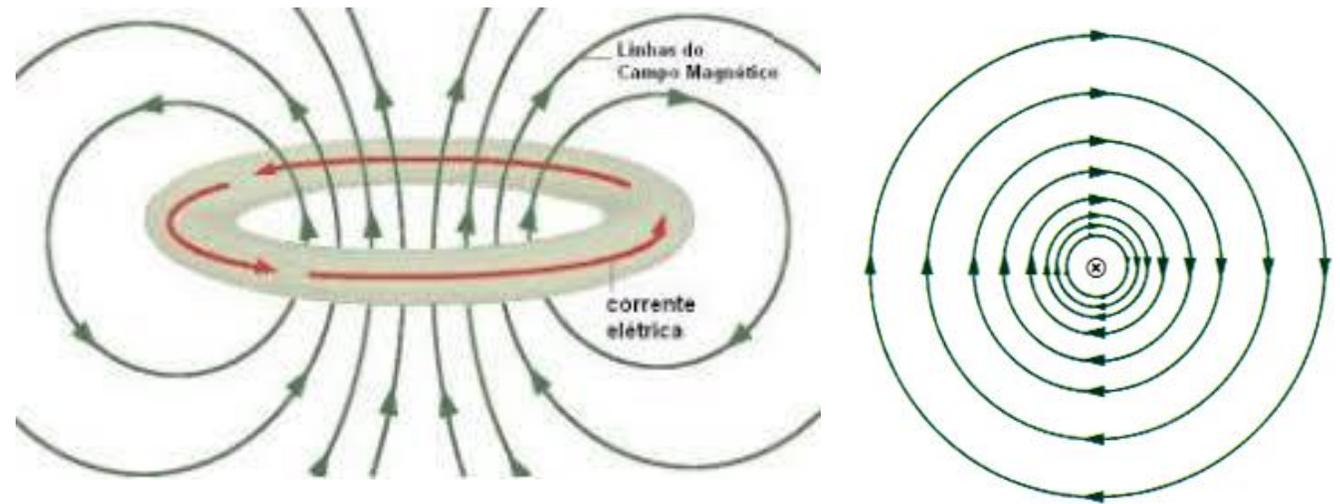
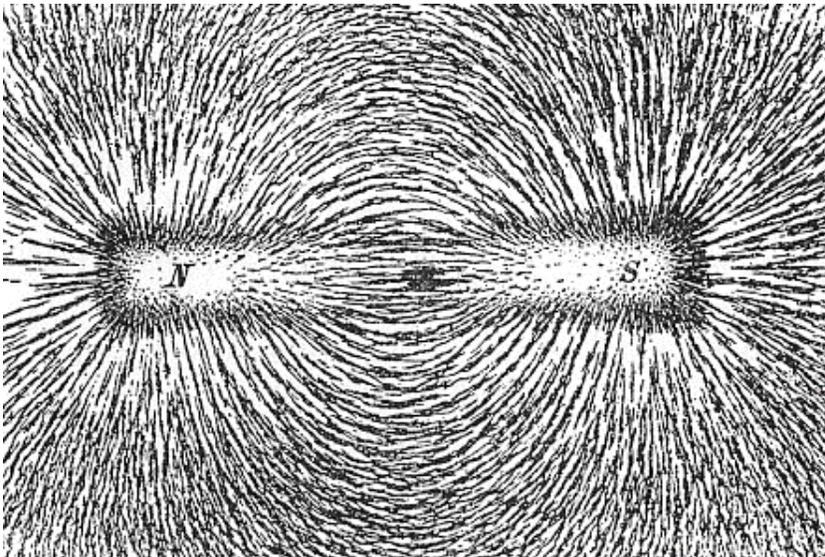
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$



Permeabilidade do vácuo

# Linhas de Campo Magnético

As *linhas de campo magnético* são linhas a partir das quais pode-se **visualizar a configuração do campo magnético** de uma dada distribuição de correntes no espaço. No entorno de um fio longo transportando uma corrente, elas são da forma:

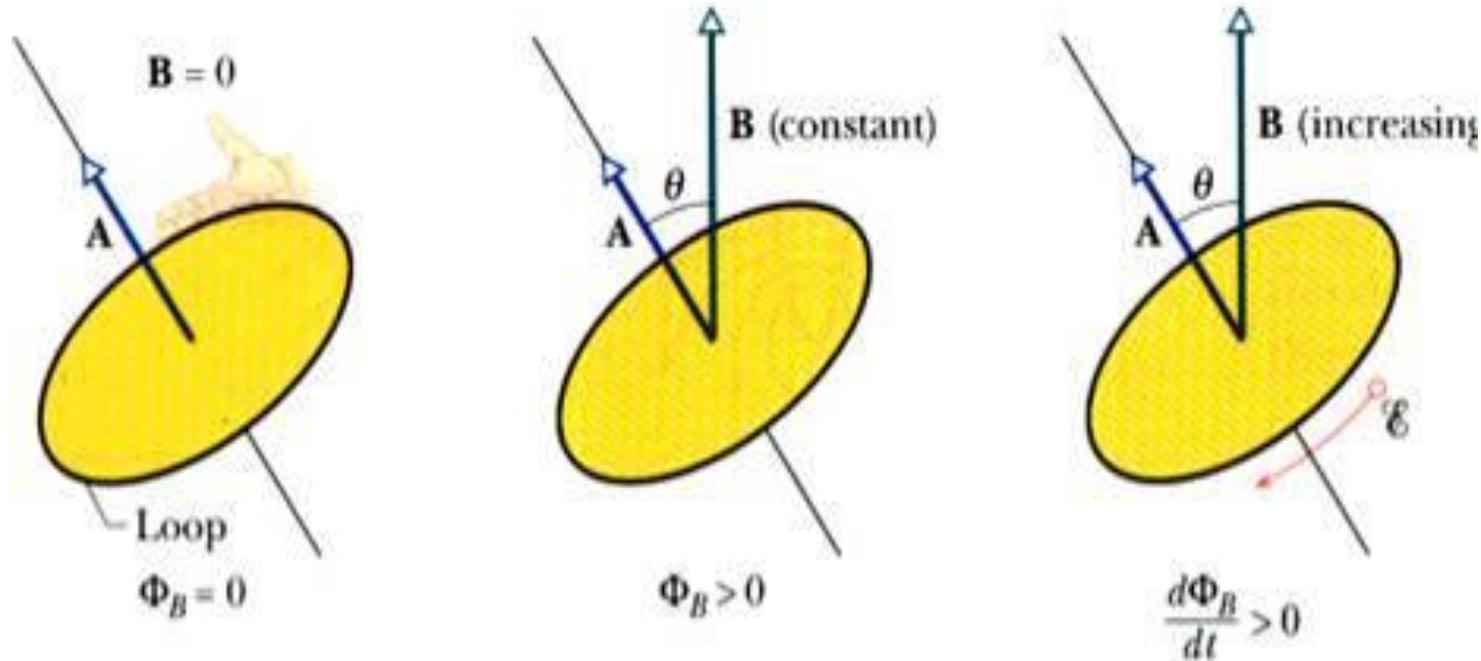


Observe que as linhas **são fechadas!**  
**O que isto significa?**

# A Lei de Faraday - Indução

Fluxo do campo magnético:  $\phi_B = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA$       Unidade: weber = 1Wb = 1T.m<sup>2</sup>

A intensidade da *fem*  $\varepsilon$  é igual à taxa de variação temporal do *fluxo do campo magnético*

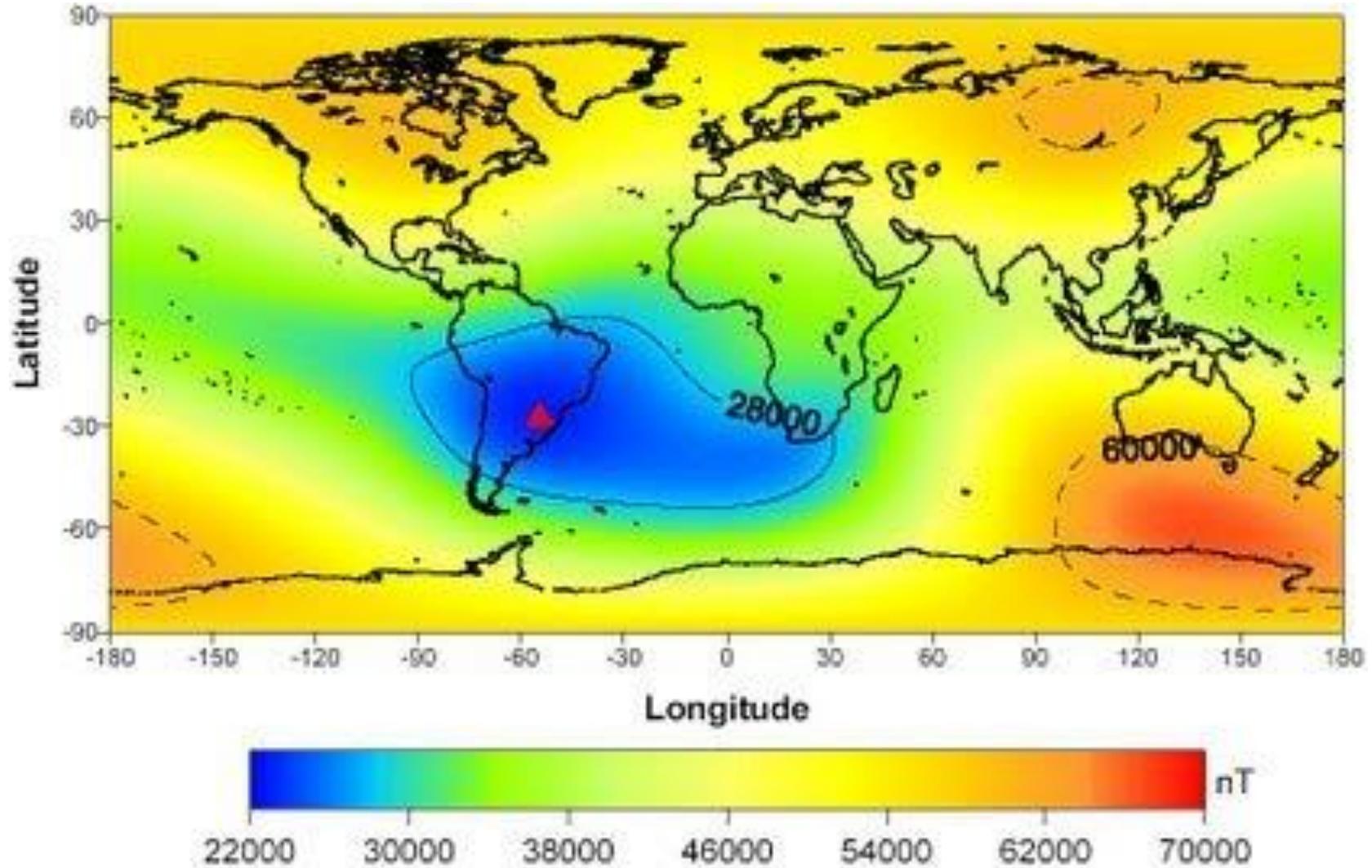


Lei de Faraday

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

O sinal negativo indica que a fem deve se opor à variação do fluxo que a produziu.

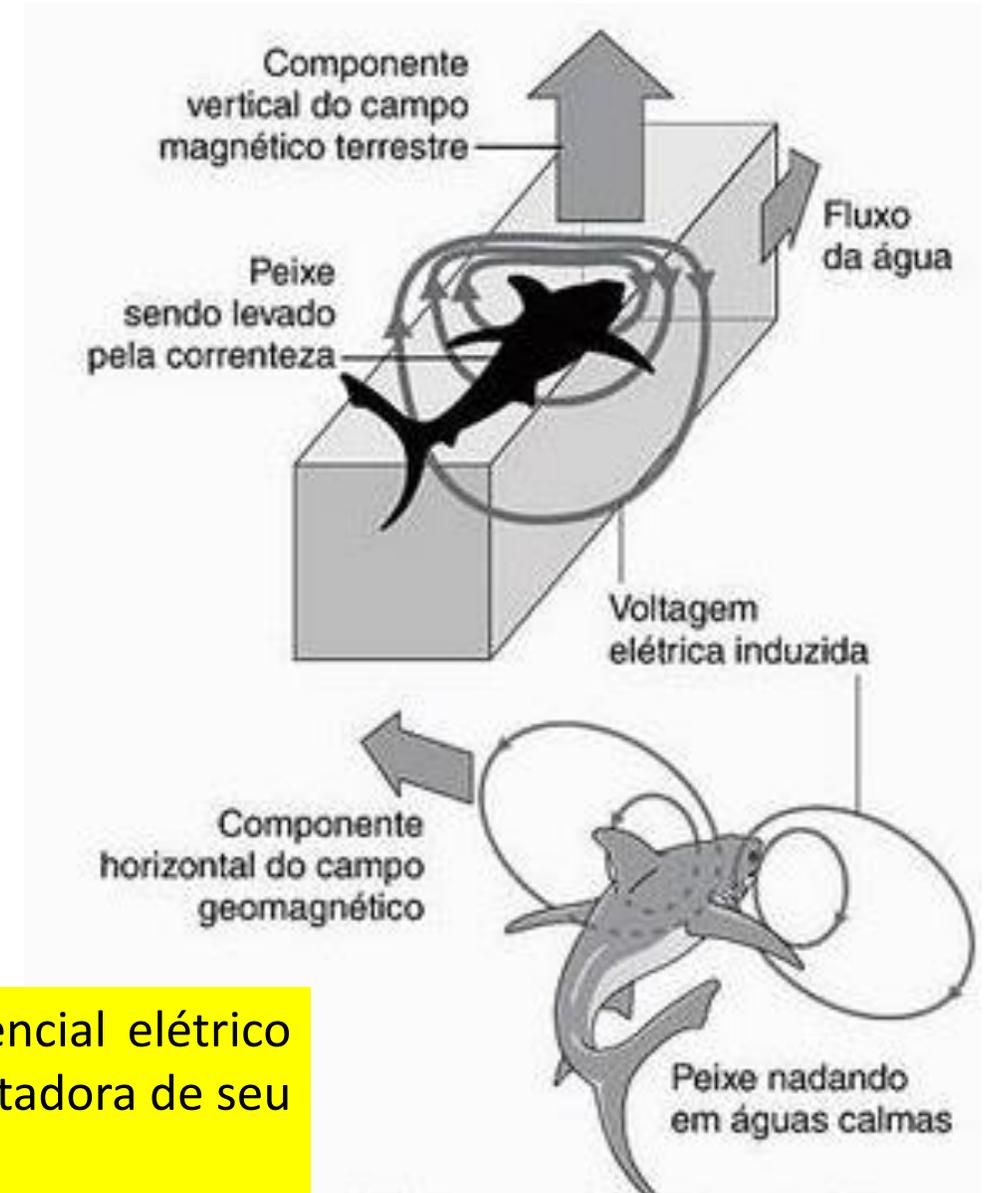
# Campo Magnético da Terra



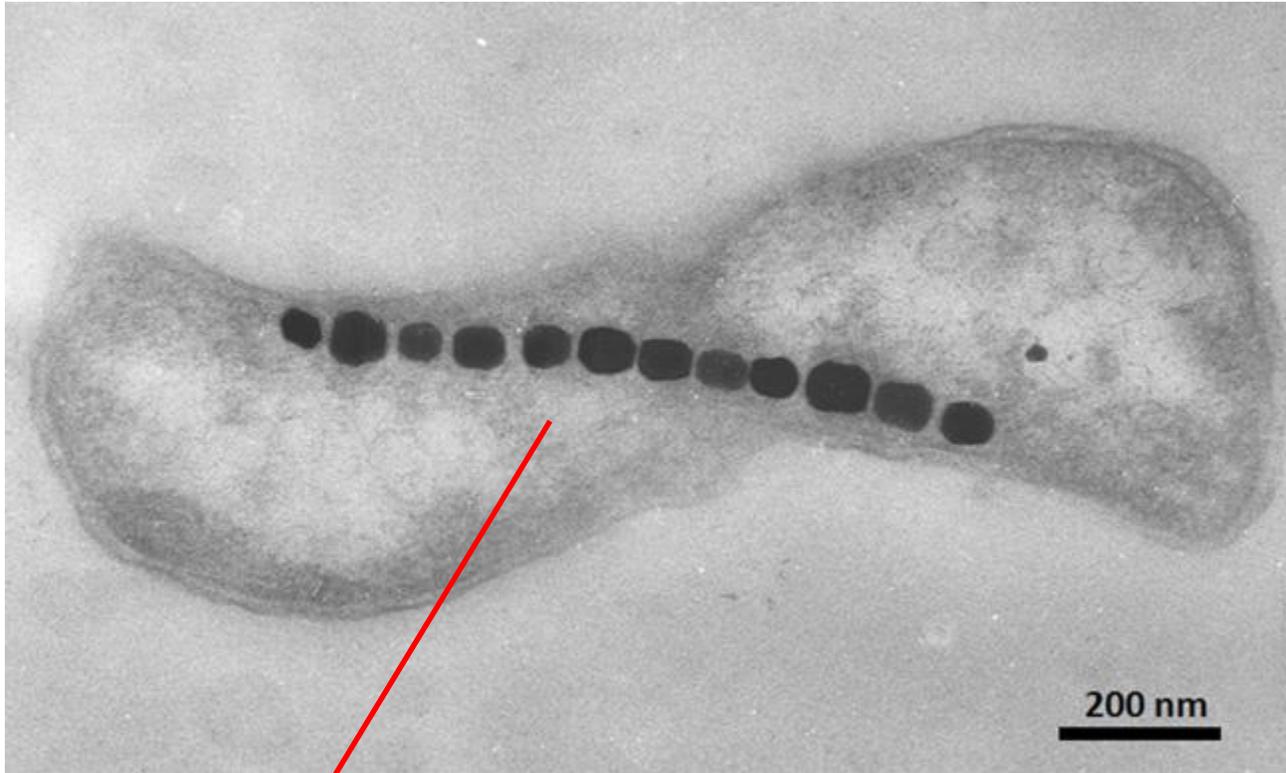
# Geomagnetismo



O campo geomagnético induz um gradiente de potencial elétrico que pode constituir a base física de uma bússola orientadora de seu movimento.



# Orientação Magnética

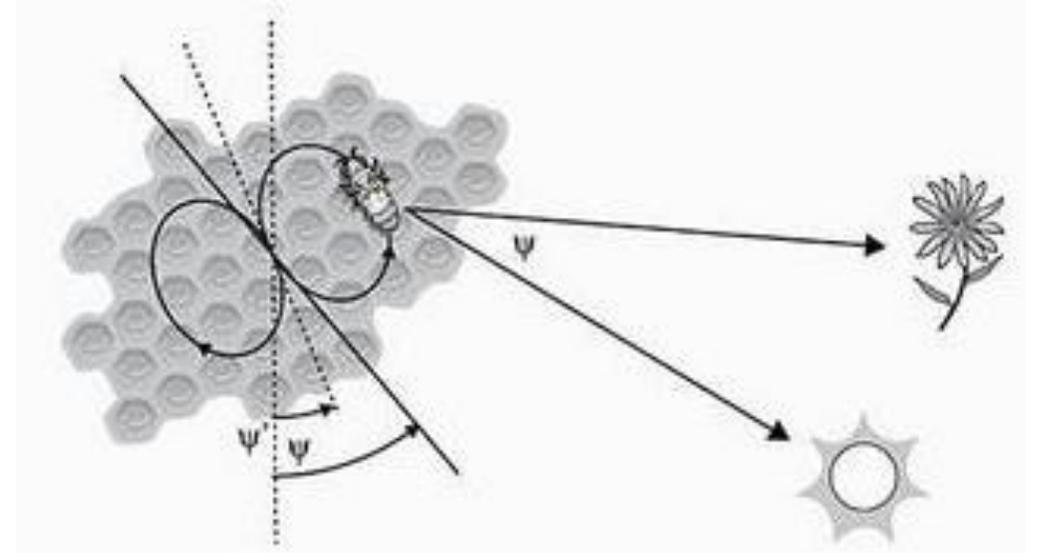
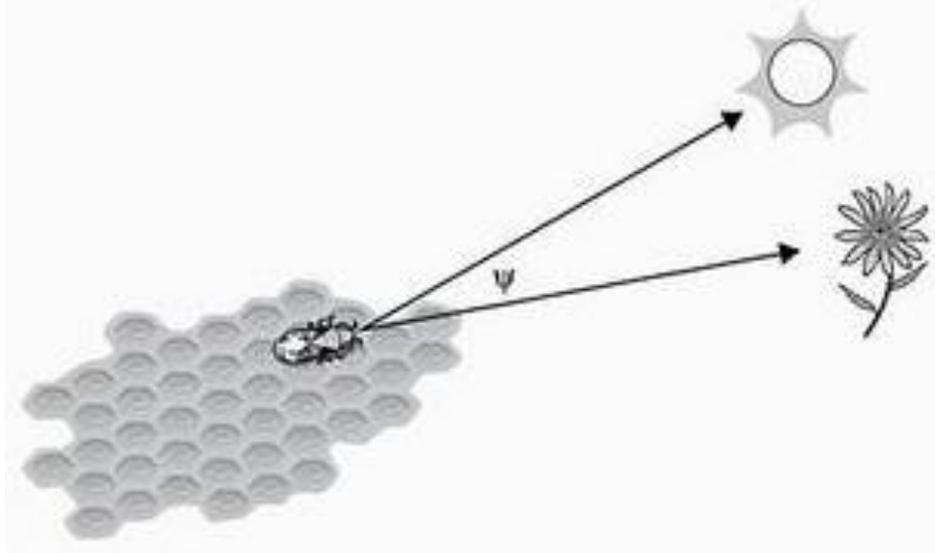


## Bactérias Magnetotáticas

A detecção do campo está associada ao uso de magnetos permanentes que produzem um **torque** ao tentar o alinhamento com um campo magnético externo, como a agulha magnetizada de uma bússola.

Cristais magnetizados -  $Fe_3O_4$  - óxido magnético de ferro ou **magnetita**

# Orientação Magnética de Abelhas e Pássaros



Observações realizadas com abelhas durante suas saídas à procura de alimento mostraram que as **posições relativas entre a fonte de alimento, o favo e o Sol** são elementos utilizados para que elas se orientem em suas entradas e saídas sucessivas. Essas posições relativas mudam ao longo do dia, **enquanto o campo geomagnético na posição do favo permanece constante**.

O uso de **campos magnéticos externos** para anular os efeitos do campo geomagnético **influencia a orientação das abelhas**. É um indício de que as abelhas sentem o campo geomagnético. No entanto, até o momento não temos uma resposta sobre como isto ocorre.

GOULD, J.L. et al. Orientation of demagnetized Bees. *J. Exp. Biol.* v. 86, p. 1-8, Jun, 1980.

# Orientação Magnética de Abelhas e Pássaros



Em um espaço fechado orientam-se ao longo da direção apropriada pra início do voo migratório, contanto que o campo magnético no local corresponda ao campo geomagnético sem perturbação.

Se o campo geomagnético for substituído por um campo artificial, de mesma intensidade, mas com sua orientação alterada em 90 graus, os pássaro se orientaram para esta nova direção.

WALCOTT, C.; GREEN, R.P. Orientation of homing pigeons altered a change in the direction of an applied magnetic field. *Science*. v. 184, n. 4133, p. 180-182, 1974.

SCHIMDT-KOENIG, K.; KEETON, W.T. (Eds.). *Animal Migration, Navigation and Homing*. New York: Berlin Heidelberg, Springer, 1978.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R. Magnetic compass of *European Robins*. *Science*. v. 176, n. 4030, p. 62-64, 1972.