

Eletromagnetismo

4300372

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

Guilherme Germano (monitor)

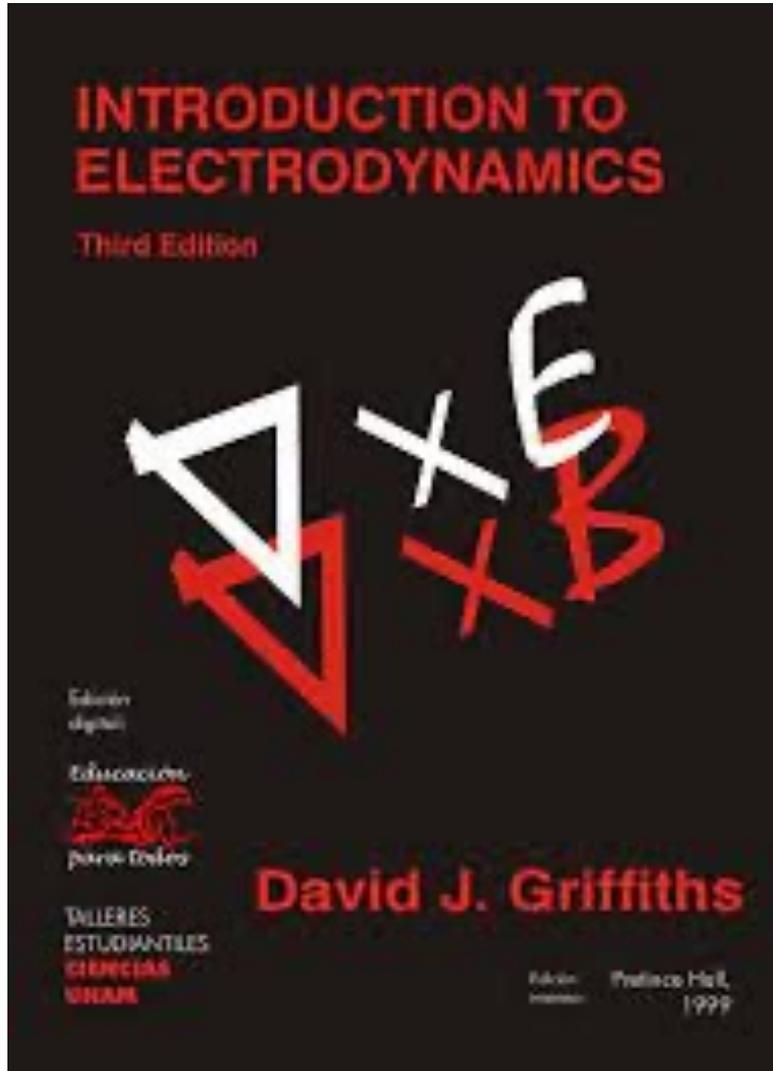
guilherme.germano@usp.br

edisciplinas.if.usp.br

Plano do Curso

16/08	13/09	11/10	08/11
19/08	16/09 ←	14/10	11/11
23/08	20/09 P1	18/10	15/11
26/08	23/09	21/10 P2	18/11
30/08	27/09	25/10	22/11
02/09	30/09	28/10	25/11
06/09	04/10	01/11	29/11 P3
09/09	07/10	04/11	02/12 ex
			06/12 Sub

Bibliografia



Capítulo 2 : eletrostática

Capítulo 5 : magnetostática

Capítulo 7 : eletrodinâmica

Capítulo 8 : leis de conservação

Capítulo 9 : ondas eletromagnéticas

Capítulo 10 : campos e potenciais

Capítulo 11 : radiação

Aula 8

Magnetostática

Griffiths Capítulo 5

Mané Capítulo 28

Magnetismo

Alguns tipos de material, chamados de ímãs naturais, têm propriedades magnéticas e o conhecimento deles é muito antigo. Evidência disto é que a palavra magnetismo deriva de Magnésia, uma região da Grécia onde podiam ser encontradas naturalmente pedras que se atraíam, sendo que este tipo de fenômeno já havia sido descrito por filósofos há mais de 2.500 anos. Os ímãs naturais permitiram a invenção da bússola pelos chineses há 2.000 anos e, como sabemos, estes instrumentos tiveram papel importante nas grandes navegações portuguesas, que começaram a se tornar importantes a partir de 1.460.



magnetita

Atrai pedaços de ferro e interage com outros ímãs !

O Pioneiro

Estudou em Cambridge

Médico !

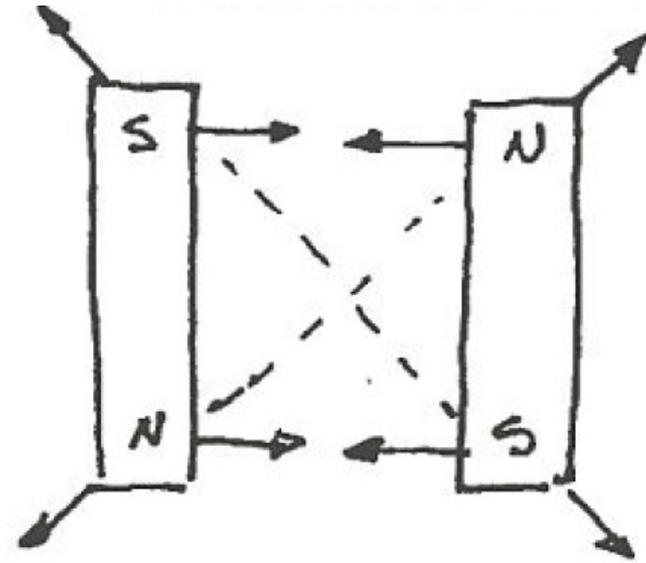
Escreveu "De magnete"

Concluiu que a Terra era magnética

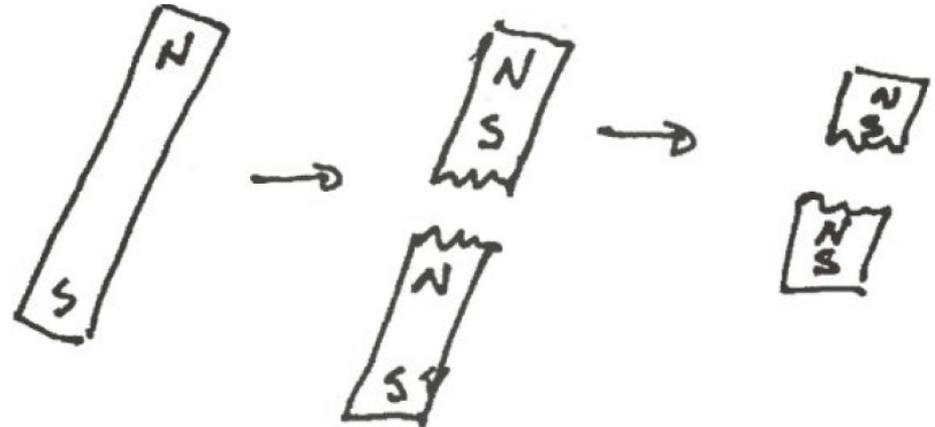


William Gilbert
(1544-1603)

Ímãs interagem entre si:



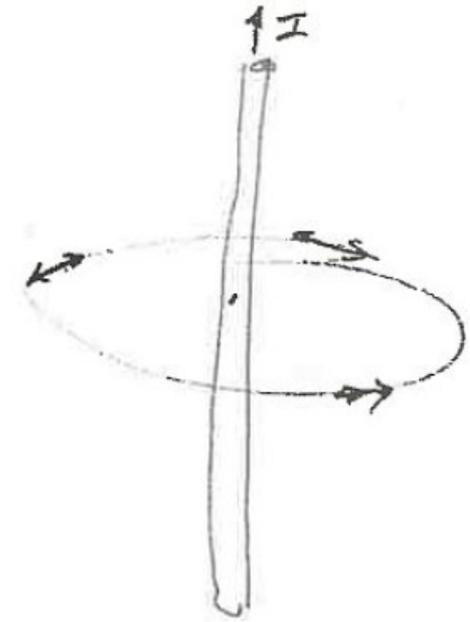
Ímãs cortados geram novos ímãs:



Uma grande descoberta !



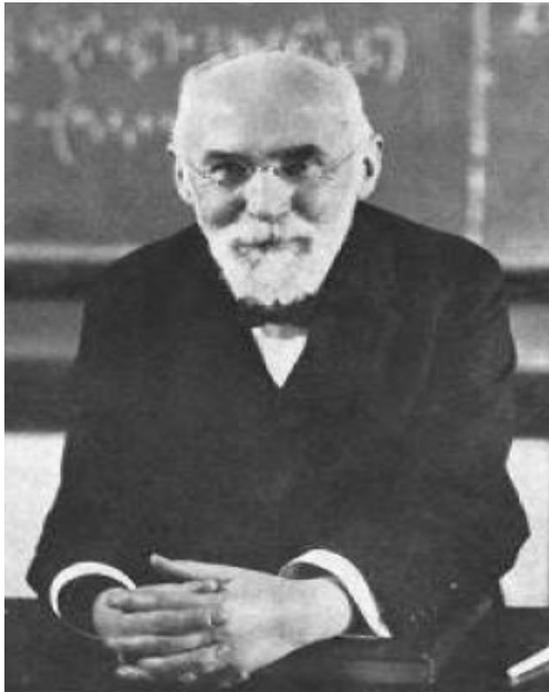
Hans C. Oersted
(1777-1851)



Ímãs naturais eram as únicas fontes de informação sobre fenômenos magnéticos até 1.820, quando o físico dinamarquês Hans Christian Oersted demonstrou, em laboratório, que correntes elétricas eram capazes de influenciar bússolas. Esquemáticamente, o experimento de Oersted consiste em passear com uma bússola nas vizinhanças de um fio metálico percorrido por uma corrente elétrica. Ao fazer isto, notamos que a bússola tende a ficar orientada tangencialmente a uma circunferência com centro no fio, Um experimento deste tipo permite a conclusão direta que a corrente influencia a bússola. Quando reinterpretado em termos atuais, ele indica que uma corrente elétrica I cria um campo magnético B .

Corrente elétrica (cargas em mov.) cria campo magnético !

Outra grande
descoberta !



Hendrik Lorentz
(1853-1928)

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

*Sobre a Força de Lorentz, os
Conceitos de Campo e a “Essência”
do Eletromagnetismo Clássico*

José Edmar Arantes Ribeiro

Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para a obtenção
do título de Mestre em Ciências

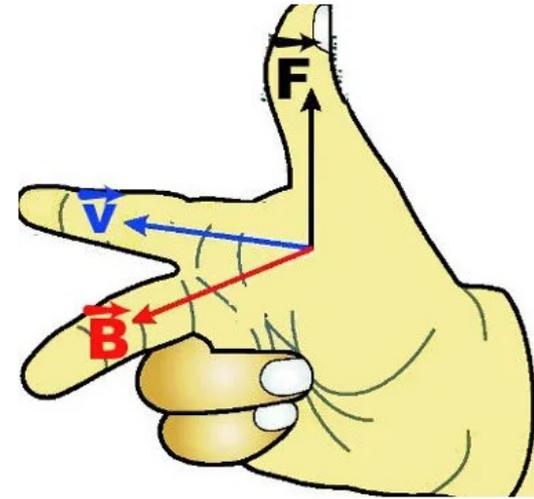
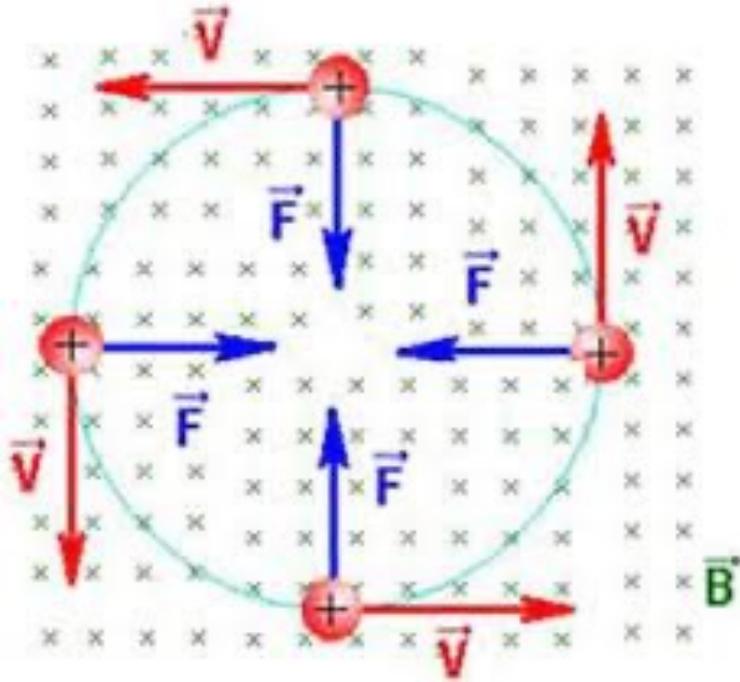
Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Alvaro Vannucci (orientador) – IFUSP

Prof. Dr. Manoel Roberto Robilotta – IFUSP

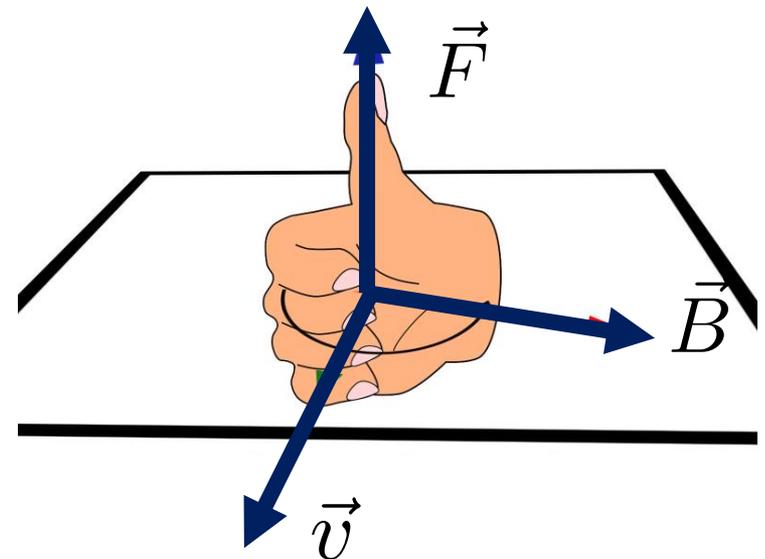
Prof. Dr. José David Manguiera Vianna – UnB

Força magnética sobre uma carga



$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Regra da mão direita para o produto vetorial de dois vetores :



Resumo

Existem ímãs !

Eles agem sobre outros ímãs. Criam um campo magnético ?

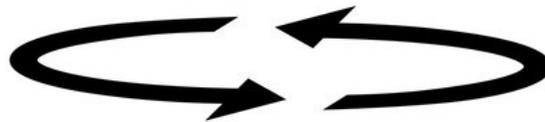
Correntes agem sobre ímãs. Criam um campo magnético !

Ímãs têm correntes dentro ?

Campo magnéticos agem sobre cargas em movimento !

Campo magnéticos agem sobre correntes !

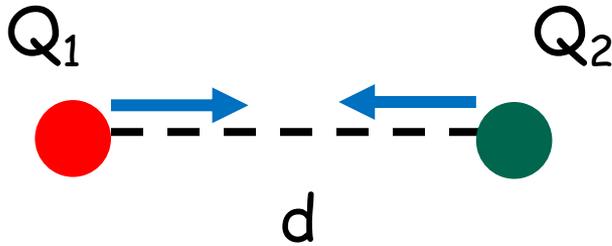
Campo magnéticos



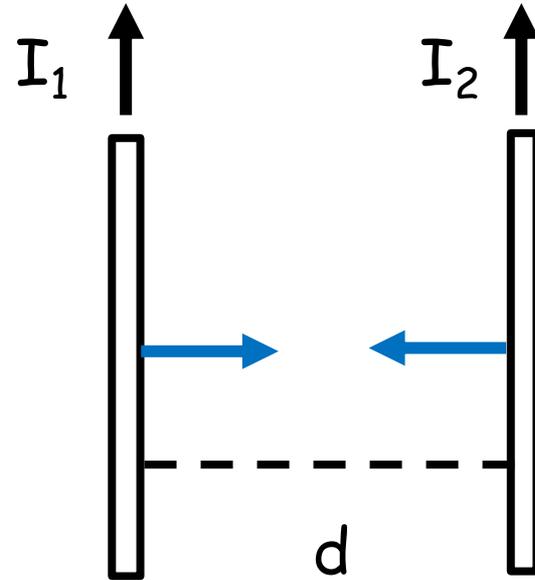
Correntes

A abordagem do Griffiths

Analogia entre a força de Coulomb entre duas cargas e a força magnética entre duas correntes

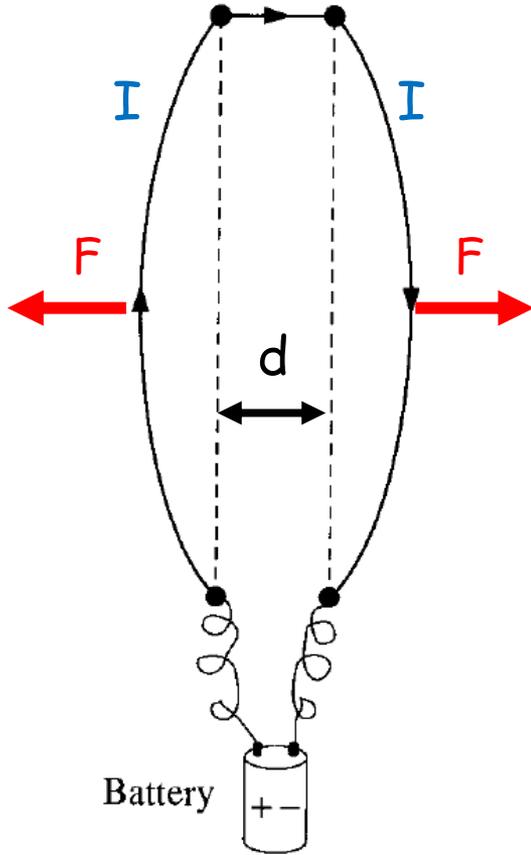


$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

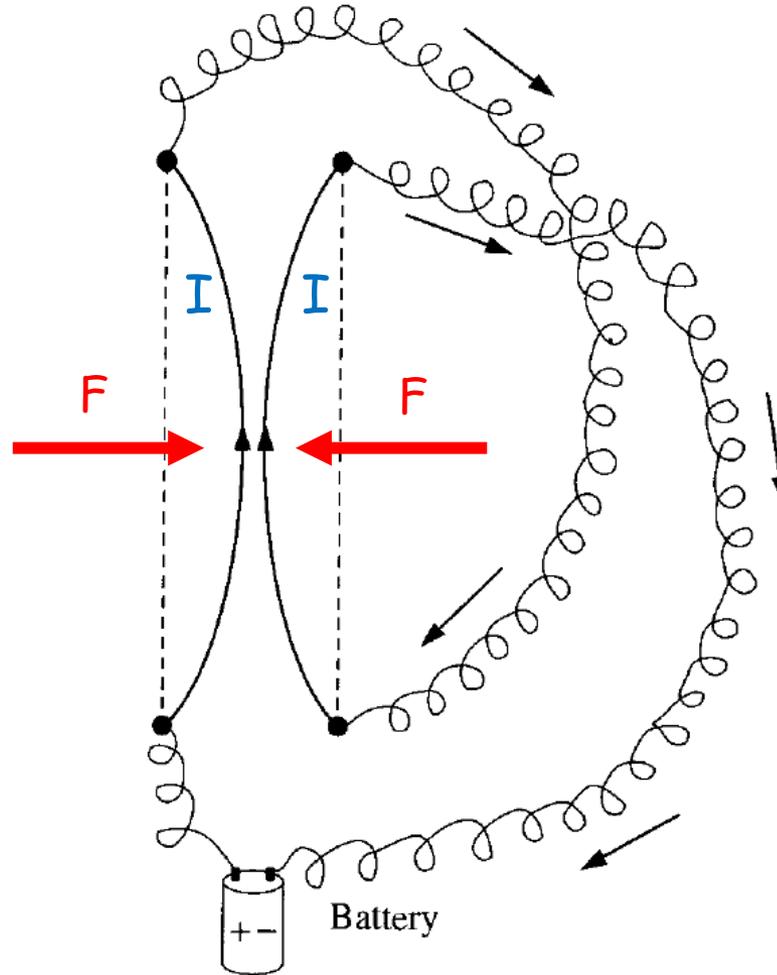


$$F \propto \frac{I_1 I_2}{d^2} \quad ?$$

Correntes interagem entre si



(a) Currents in opposite directions repel.



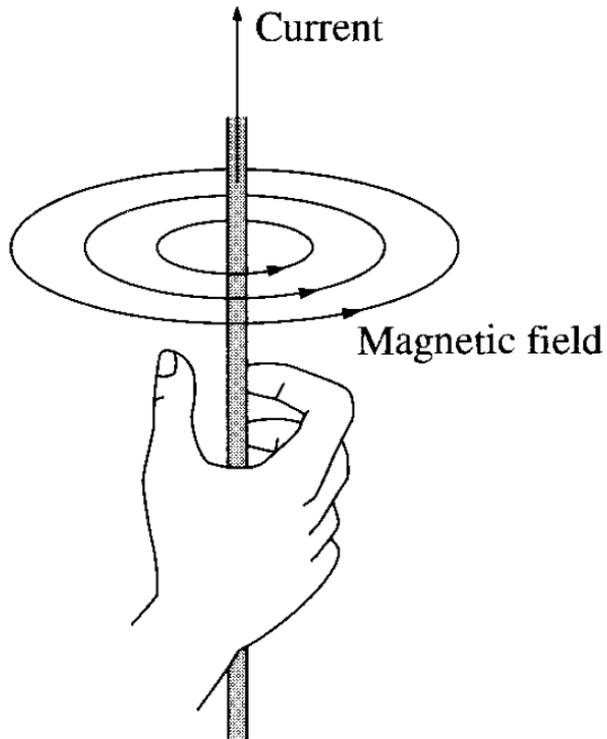
(b) Currents in same directions attract.

$$F \propto \frac{I I}{d}$$

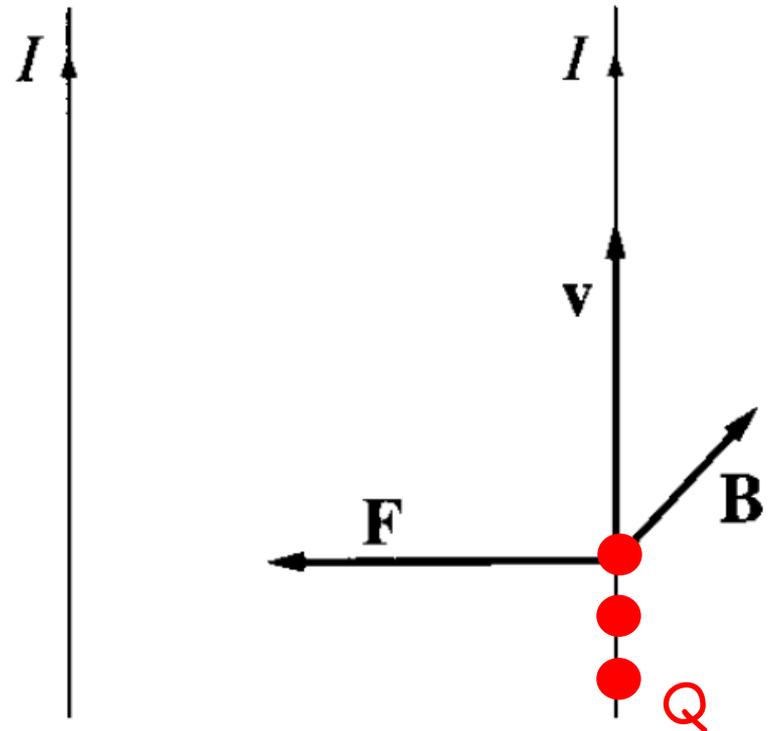
Vamos mostrar!

Porque ?

A corrente no fio 1
gera campo magnético



O campo magnético age sobre as
cargas em movimento no fio 2



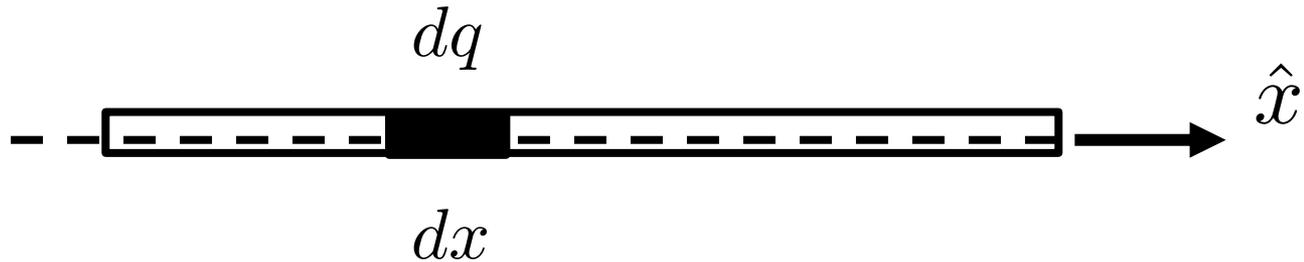
Força de Lorentz : $\mathbf{F}_{\text{mag}} = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$

Cargas em movimento

Corrente elétrica: carga por unidade de tempo passando por um ponto

No sistema internacional: Ampere = $\frac{\text{Coulomb}}{\text{segundo}}$

Fio com cargas em movimento :



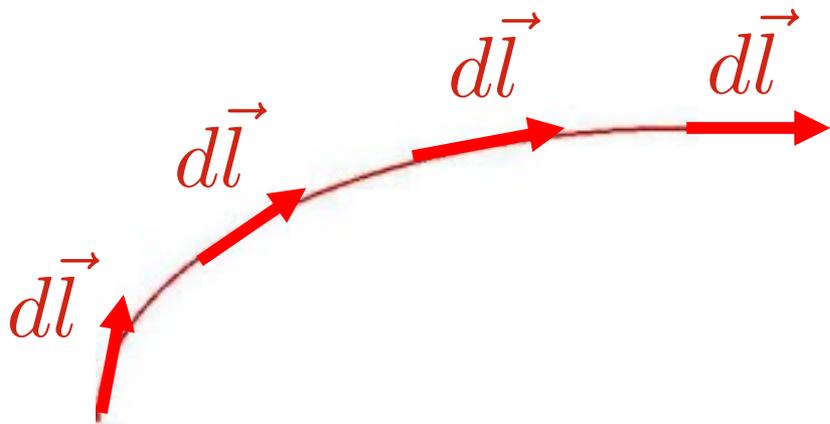
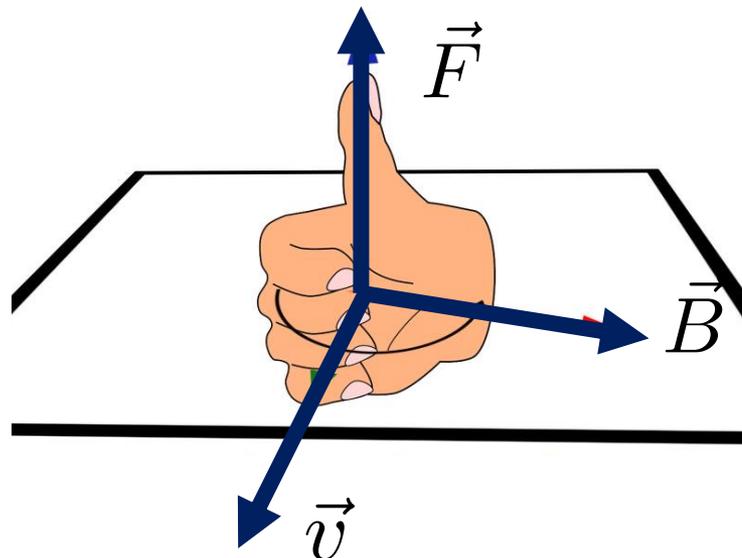
Densidade linear de carga: $\lambda = \frac{dq}{dx}$ $dq = \lambda dx$

Corrente: $I = \frac{dq}{dt}$ $I = \frac{\lambda dx}{dt}$ $I = \lambda v$ $\vec{I} = \lambda \vec{v}$

Força magnética sobre uma carga

$$\vec{F}_{mag} = Q \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_{mag} \perp \vec{v}$$



$$d\vec{l} = \vec{v} dt$$

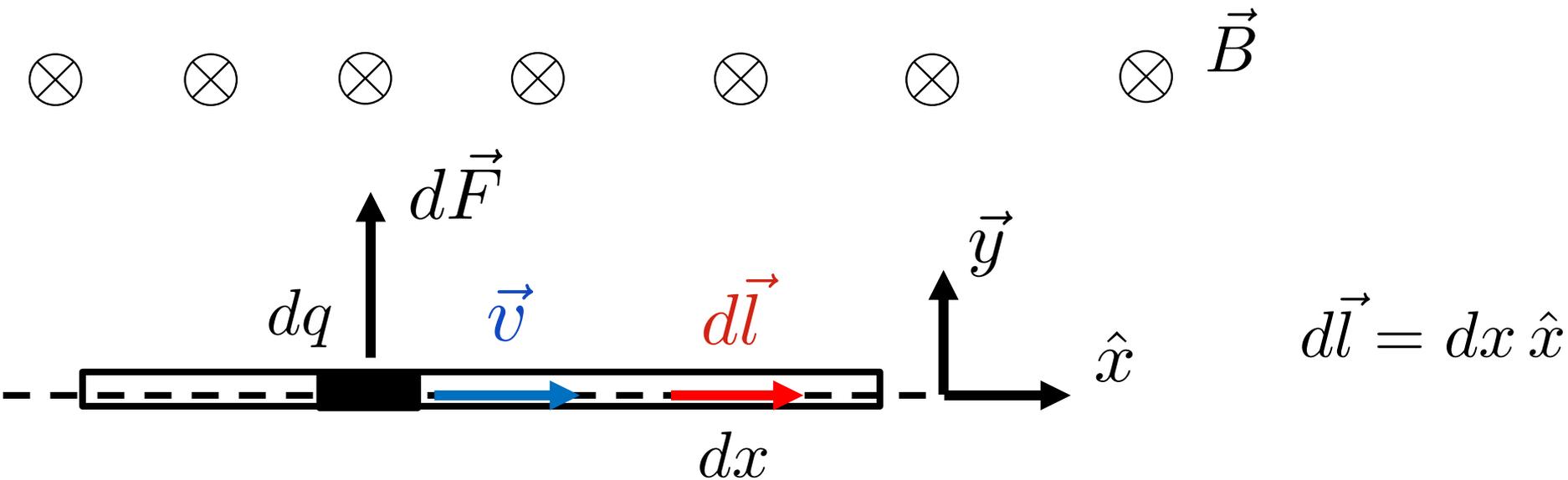
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$dW = q (\underbrace{\vec{v} \times \vec{B}}_{\perp \vec{v}}) \cdot \vec{v} dt$$

$$dW = 0$$

A força magnética
não faz trabalho !

Força magnética sobre um fio com corrente



$$d\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B} dq$$

$$\vec{F} = \int \vec{v} \times \vec{B} dq = \int \vec{v} \times \vec{B} \lambda dx = \int \vec{I} \times \vec{B} dx = \int I \hat{x} \times \vec{B} dx$$

$$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B}$$

Campo criado por uma corrente: Lei de Biot-Savart

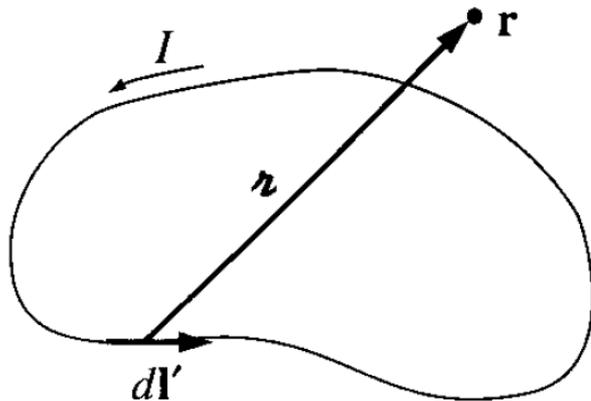
Eletrostática

Cargas elétricas em repouso geram campos elétricos constantes no tempo

Magnetostática

Correntes estacionárias geram campos magnéticos constantes no tempo

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\mathbf{I} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} dl' = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\mathbf{l}' \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$



$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Unidade de B : Tesla

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$$



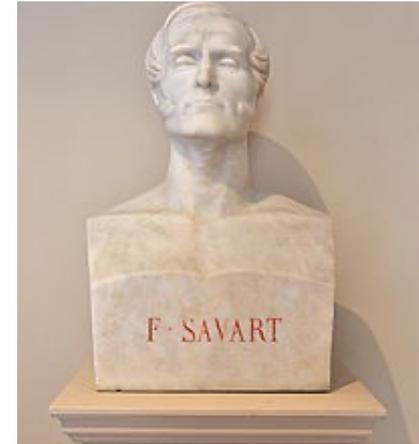
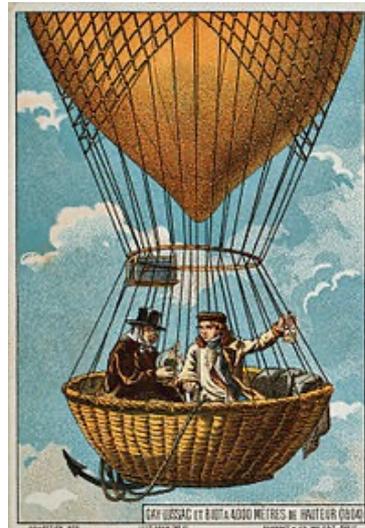
Essa é prá perder o medo de Biot-Savart !



Jean Baptiste Biot
(1774 - 1862)

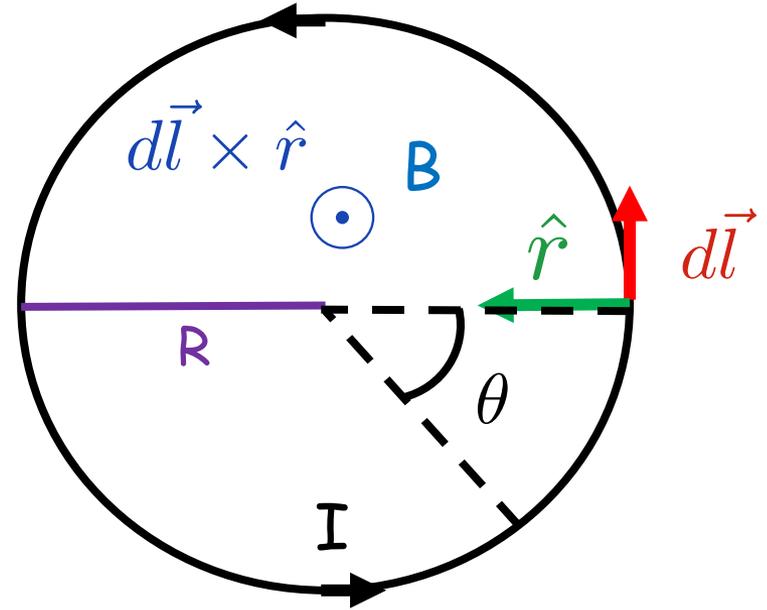
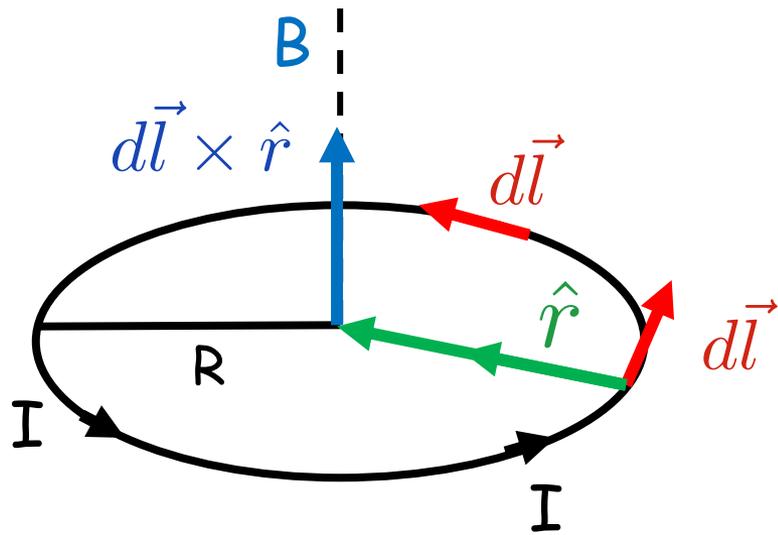
Primeira expedição
científica em balão

Campo magnético
a 4000 metros



Felix Savart
(1791 - 1841)

Exemplo 5.6 : calcule o campo magnético no centro de um anel circular de raio R por onde passa uma corrente I



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

O campo está na direção z

$$|d\vec{l} \times \hat{r}| = dl \quad dl = R d\theta$$

$$r^2 = R^2$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{R d\theta}{R^2}$$

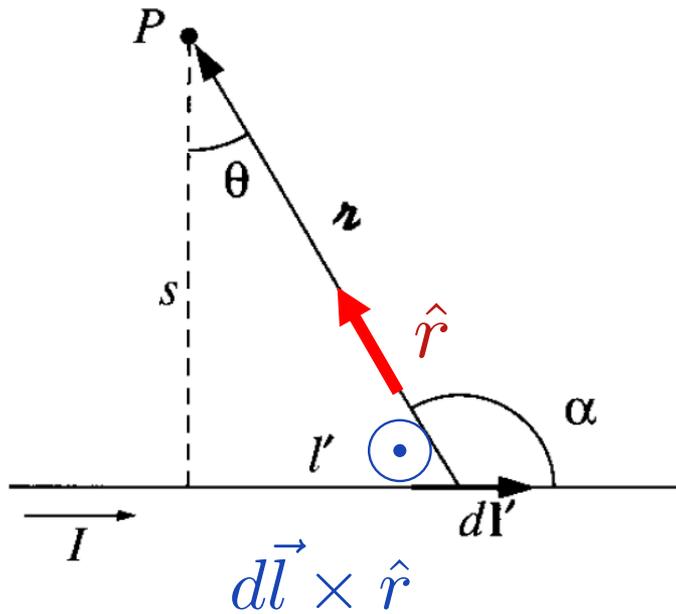


$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \hat{z}$$

Exemplo 5.5 : calcule o campo magnético a uma distância s de um fio infinito por onde passa uma corrente I



$$\frac{l'}{s} = \operatorname{tg} \theta \quad l' = s \operatorname{tg} \theta$$

$$dl' = \frac{s}{\cos^2 \theta} d\theta$$

$$\frac{s}{r} = \cos \theta \quad \frac{1}{r^2} = \frac{\cos^2 \theta}{s^2}$$

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

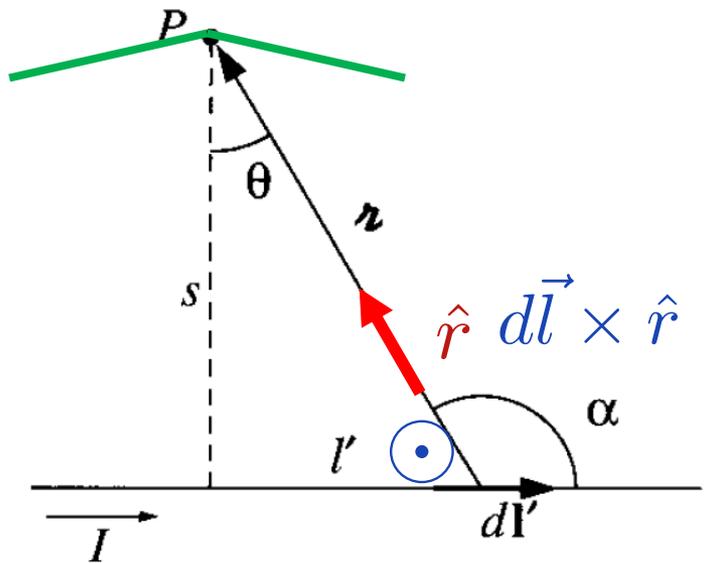
B saindo do slide !

$$|d\vec{l} \times \hat{r}| = dl' \operatorname{sen} \alpha = dl' \cos \theta$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{s}{\cancel{\cos^2 \theta}} d\theta \cos \theta \frac{\cancel{\cos^2 \theta}}{s^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \cos \theta \frac{1}{s}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\operatorname{sen} \theta_2 - \operatorname{sen} \theta_1)$$



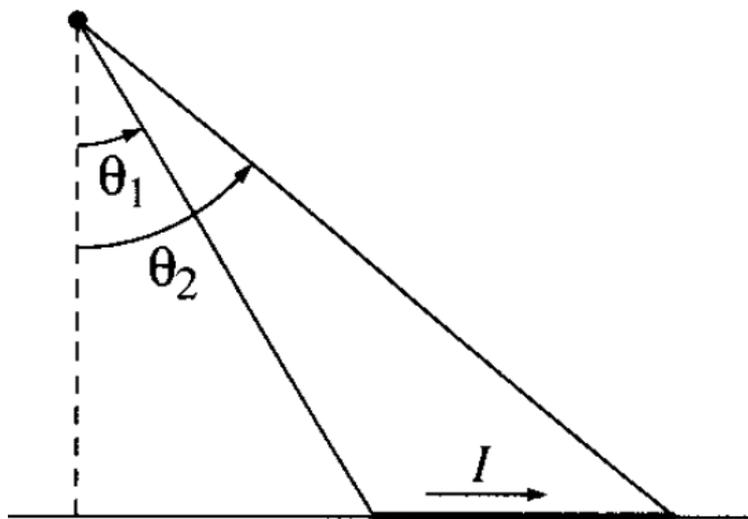
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

B saindo do slide !

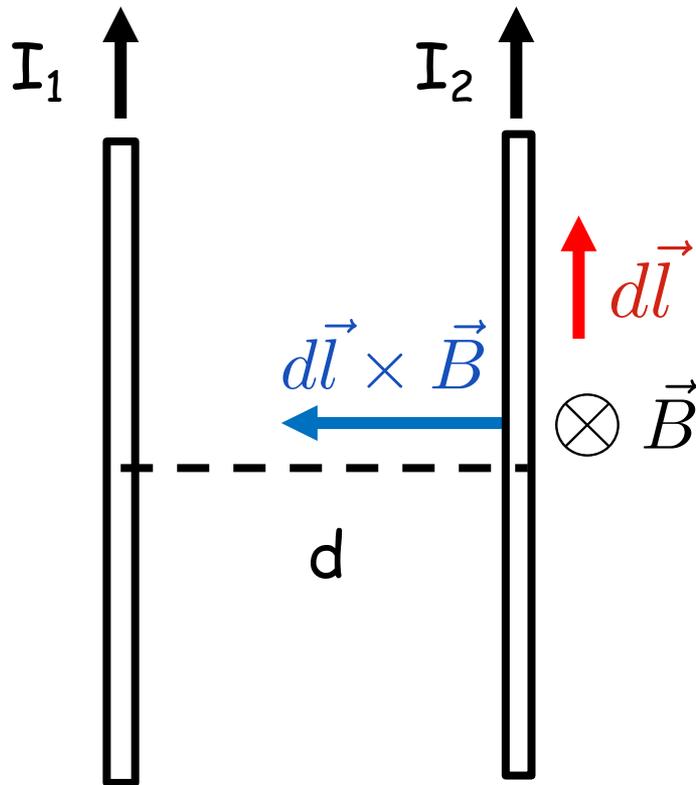
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\text{sen } \theta_2 - \text{sen } \theta_1)$$

$$\theta_1 = -\frac{\pi}{2} \quad \theta_2 = +\frac{\pi}{2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi s}$$



Força entre dois fios infinitos percorridos por correntes I



$$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$|d\vec{l} \times \vec{B}| = dl B$$

$$F = I_2 \int dl B$$

$$F = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2 \pi d} \int dl$$

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2 \pi d}$$

Campo no fio 2 produzido pelo fio 1

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2 \pi s}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2 \pi d}$$