

Instituto de Física - USP
FGE0213 - Laboratório de Física III - LabFlex

Aula 7 - (Exp 2.3) - Filtro de Wien

Medindo o campo magnético entre 2 bobinas coaxiais

Manfredo H. Tabacniks
Alexandre Suaide
setembro 2007

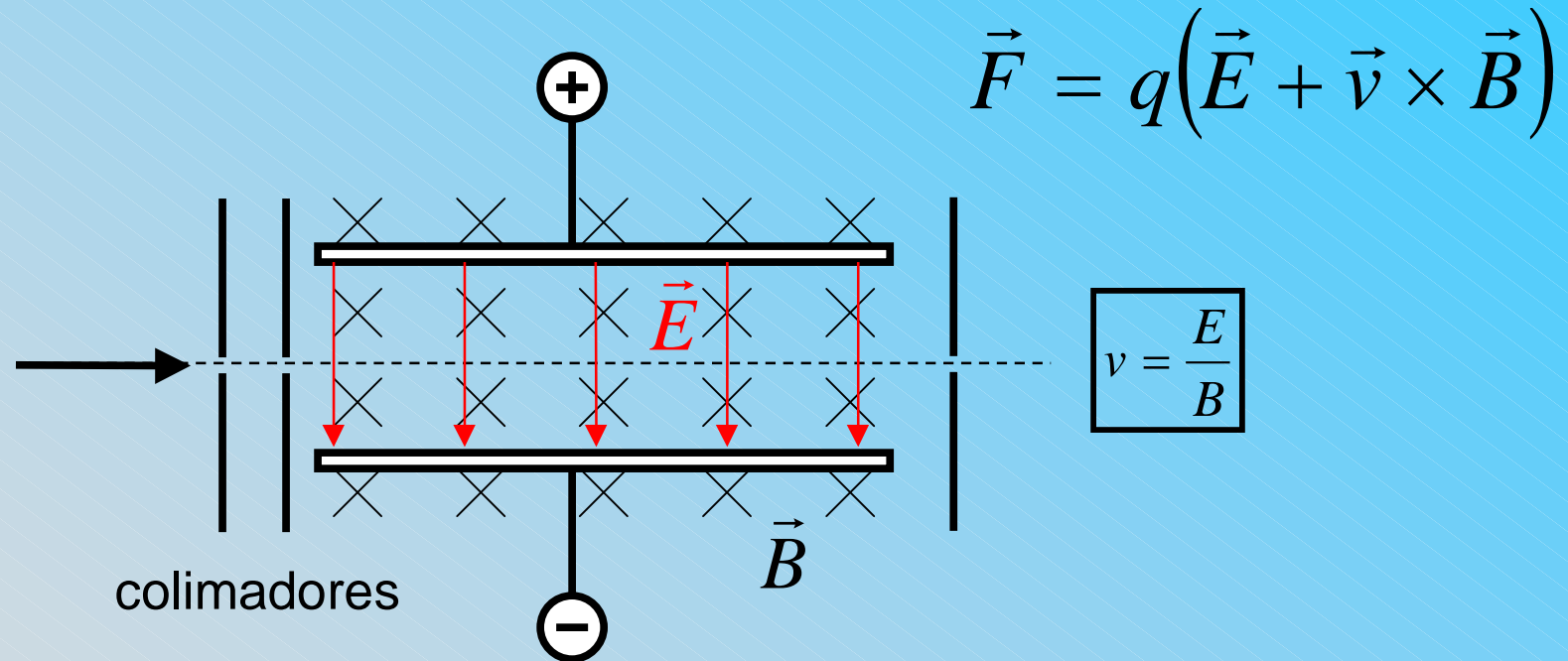
Filtro de Wien: Metodologia proposta

Resumo do experimento

- Aula 2.1 - Entender o campo elétrico. Medir o campo elétrico gerado e comparar com previsões teóricas. Quão próximo está o experimento de uma situação de campo ideal (uniforme)
- Aula 2.2 - Entender a geração das partículas (elétrons) e como elas se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior.
- Aula 2.3 - Modelo do tubo de raios Catódicos. Medida do campo magnético local
- Aula 2.4 - Campo magnético entre duas bobinas coaxiais.
- Aula 2.5 - Ligando o campo elétrico e magnético. Estudar o movimento das partículas no campo EM. Determinar comportamentos gerais do filtro de Wien
- Aulas 2.6 e 2.7 - Estudar em detalhes vários aspectos e aplicações do filtro de Wien. Comparar com simulações e identificar limitações.

OBJETIVOS

Estudar e modelar um filtro de velocidades $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ (Filtro de Wien)



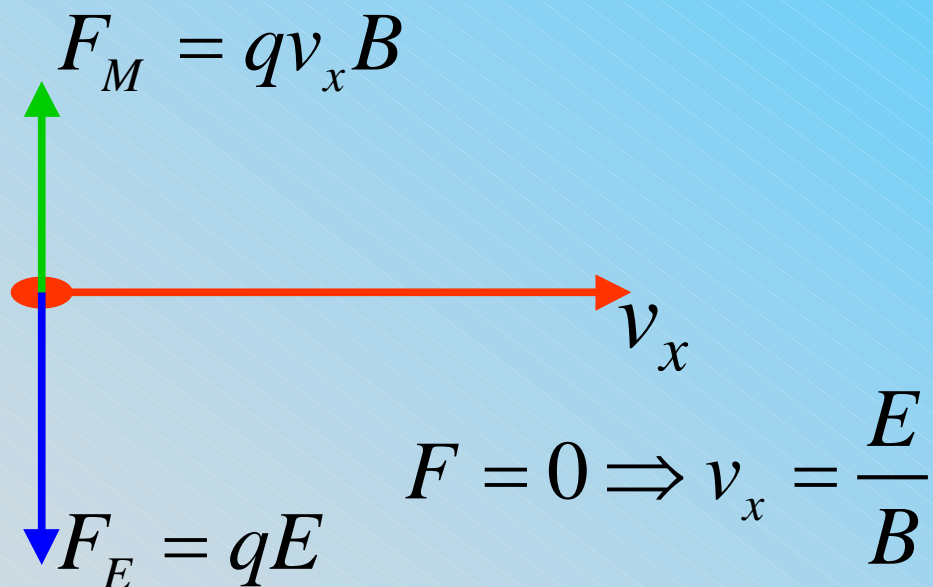
- Modelar o campo elétrico entre 2 placas de um osciloscópio
- Modelar o campo magnético gerado por duas bobinas externas
- Construir e calibrar um seletor de velocidades

Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

? Força resultante

$$F = q(E - v_x B)$$

? Partícula não sofre desvio se



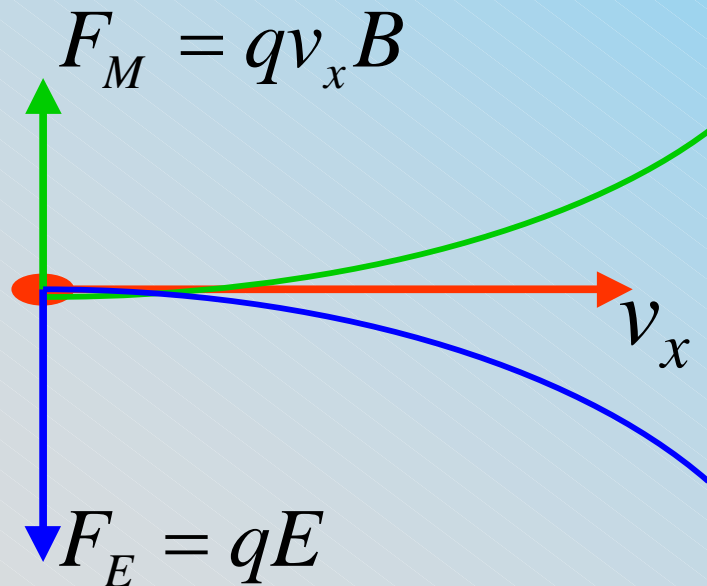
The diagram shows a central red dot representing a particle. Three vectors originate from this dot: a green arrow pointing vertically upwards labeled $F_M = qv_x B$, a blue arrow pointing vertically downwards labeled $F_E = qE$, and a red arrow pointing horizontally to the right labeled v_x . To the right of the diagram, the equation $F = 0 \Rightarrow v_x = \frac{E}{B}$ is displayed.

$$F = 0 \Rightarrow v_x = \frac{E}{B}$$

Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

? Condição para não desviar

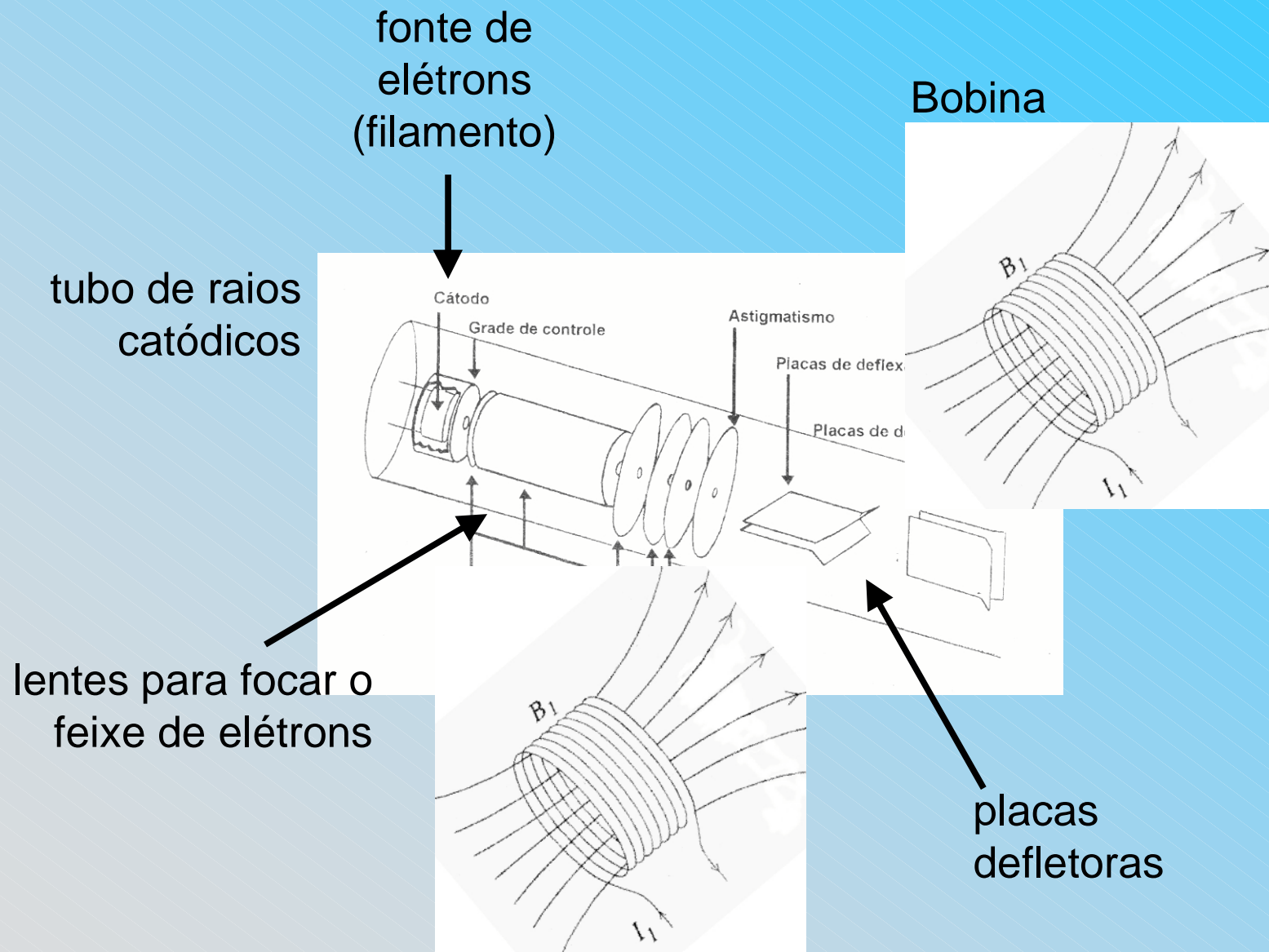
$$F = 0 \Rightarrow v_x = \frac{E}{B}$$



Desvio //(-E) se $v_x > \frac{E}{B}$

Desvio //E se $v_x < \frac{E}{B}$

Na prática...



O sensor por efeito Hall

A diferença de potencial é proporcional ao fluxo do campo magnético

Note: The Hall Effect sensing elements used in the CI-6520A are temperature compensated. However when measuring very low magnetic field levels (± 10 gauss scale) some temperature dependent variation may be observed in the output. It is on the order of a few gauss. For the best results when using the 100X (± 10 gauss) scale the sensor should be connected to the interface for 5 to 15 minutes before data is collected. This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

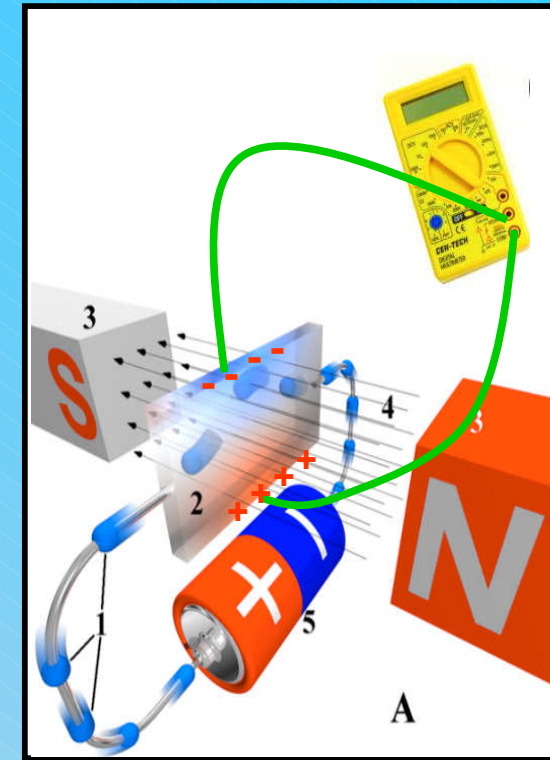
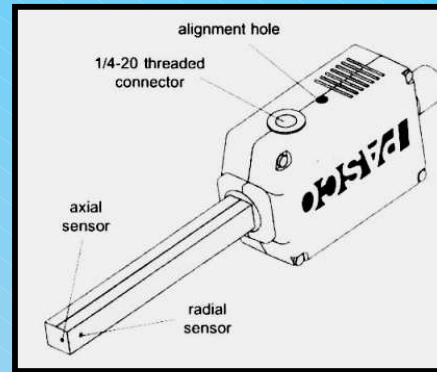
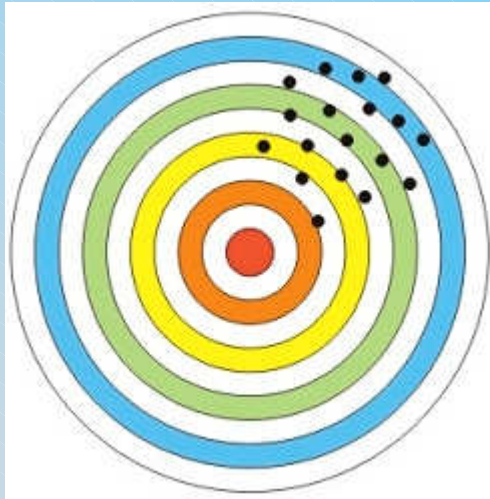


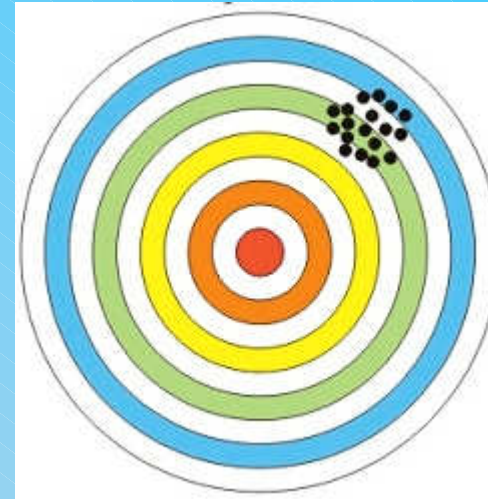
Table 1
Magnetic Sensor Specification Chart

Range	Gain	Resolution	Accuracy	Calibration Factor
± 1000 gauss	1X	0.5 gauss	100 gauss	100 gauss/volt
± 100 gauss	10X	0.05 gauss	10 gauss	10 gauss/volt
± 10 gauss	100X	0.050 gauss	1 gauss	1 gauss/volt

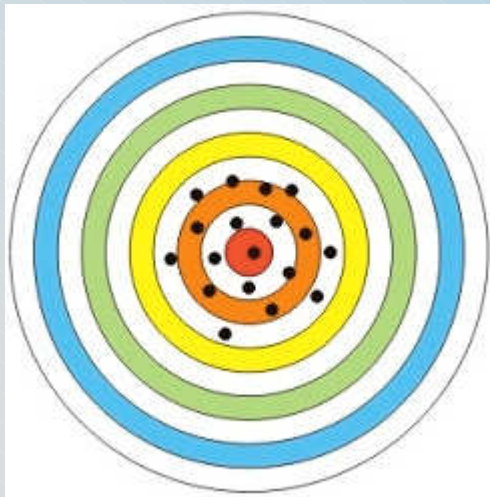
Acurácia e precisão



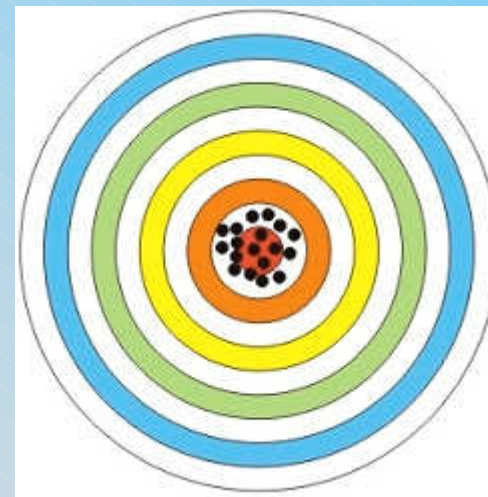
Baixa precisão
Baixa acurácia



Alta precisão
Baixa acurácia



Baixa precisão
Alta acurácia



Alta precisão
Alta acurácia

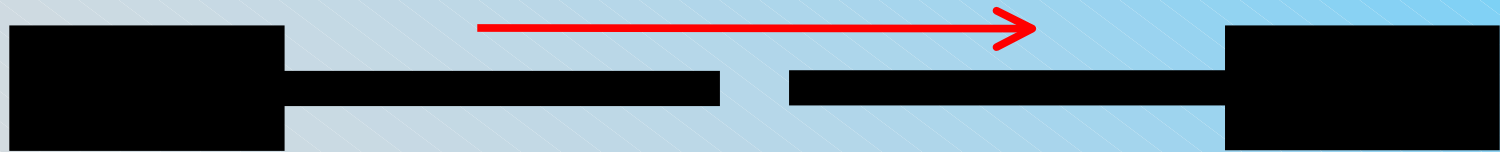
Como minimizar problemas de acurácia

- ? Eu não sei onde está o zero. O que fazer?
 - Calibrar o sensor (câmara de zero gauss)
 - Fazer medidas invertidas
- ? Mesmo assim a estabilidade é um problema sério do sensor Hall nestas escalas

$$M_1 = B_x + A$$

B_x

$$M_2 = -B_x + A$$



$$B_x = \frac{M_1 - M_2}{2}$$

E a precisão? Como contornar

Uma forma é fazendo medidas estatísticas

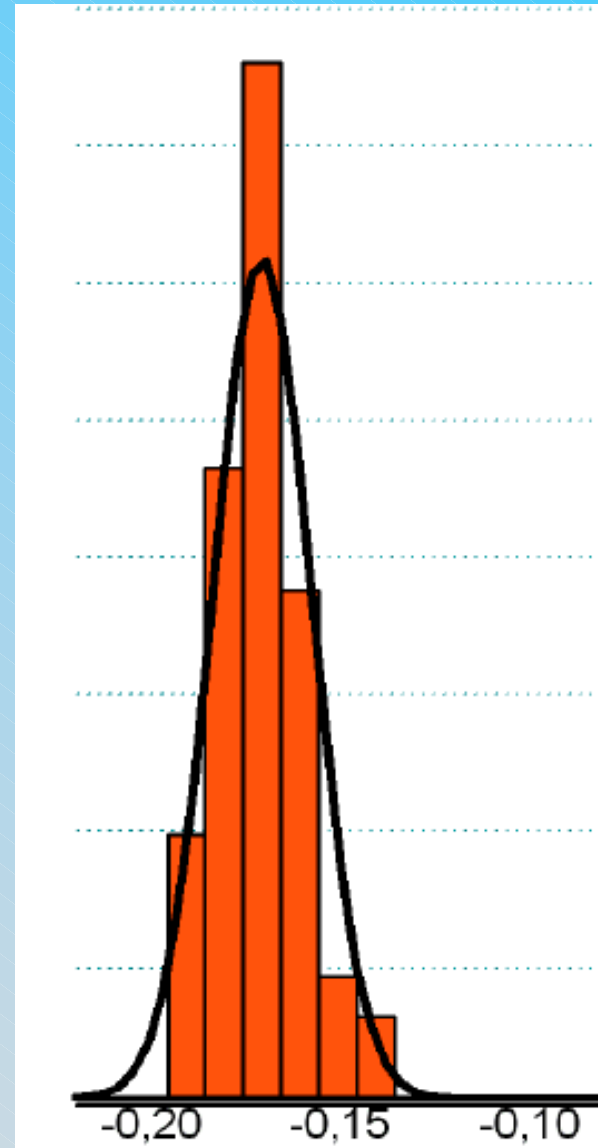
? Se a incerteza de uma medida é

- $\sigma = 0,050 \text{ G}$

? Se eu fizer N medidas eu tenho que a incerteza da média vale

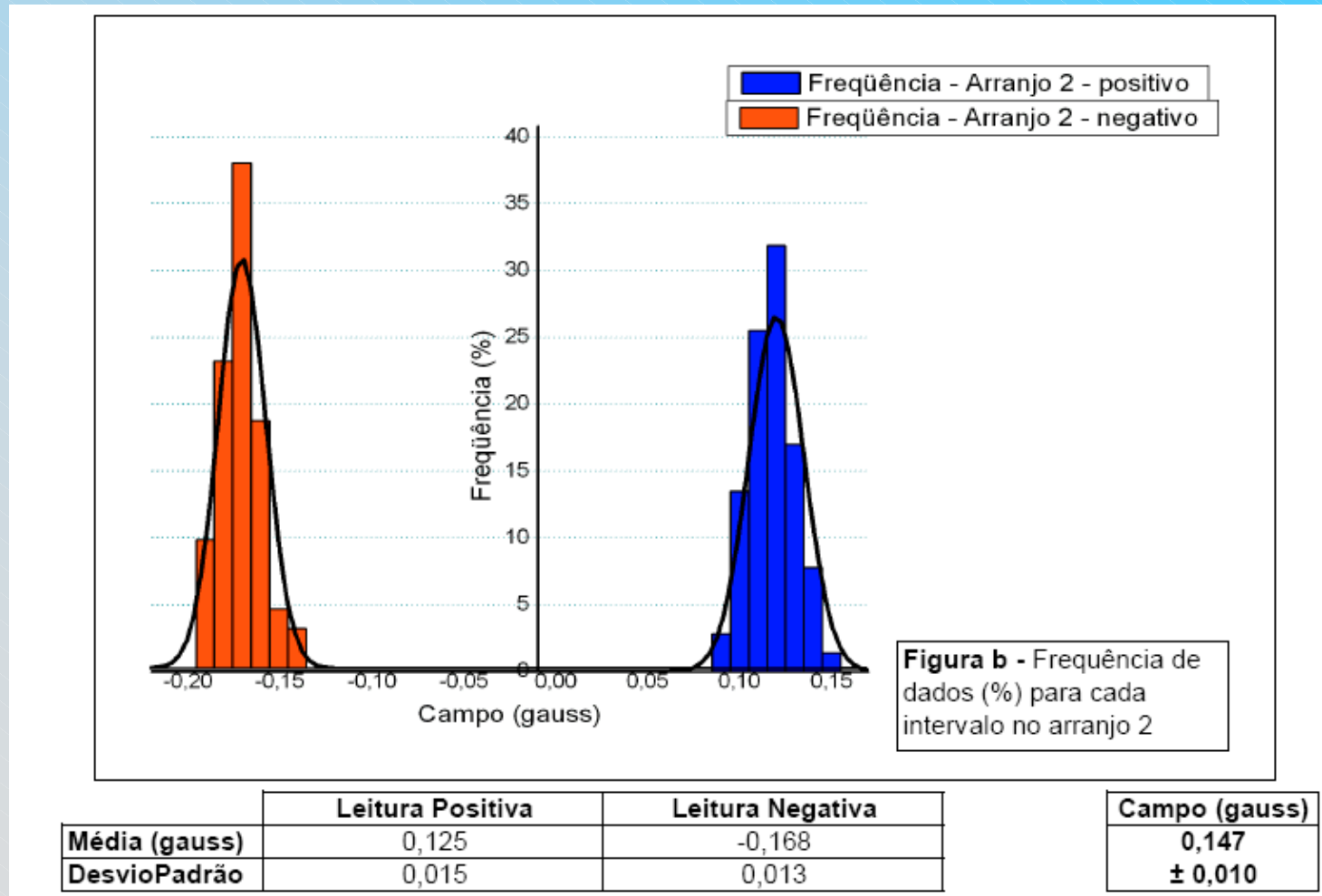
$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Usar outro aparelho



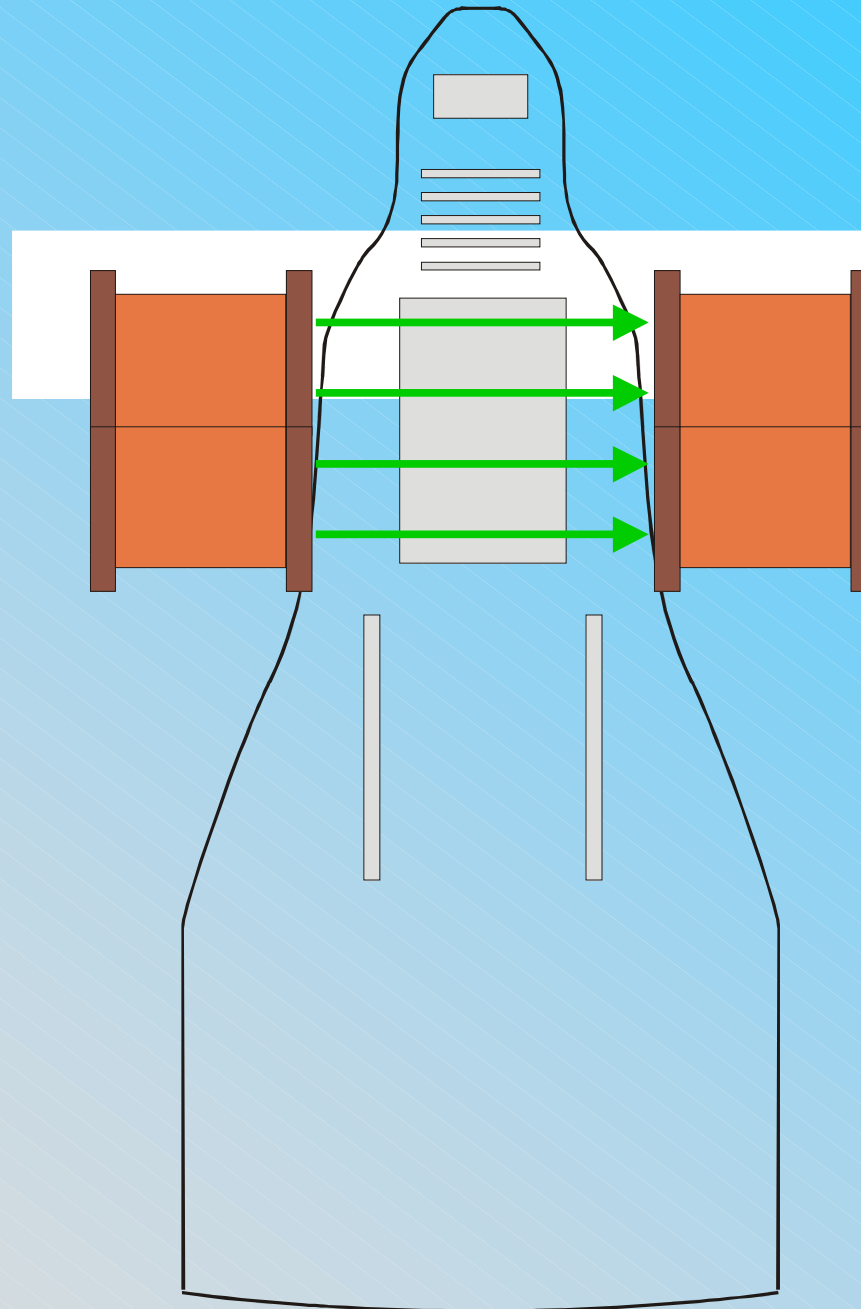
Mas é muito no limite.

Somente alguns grupos conseguiram fazer este levantamento

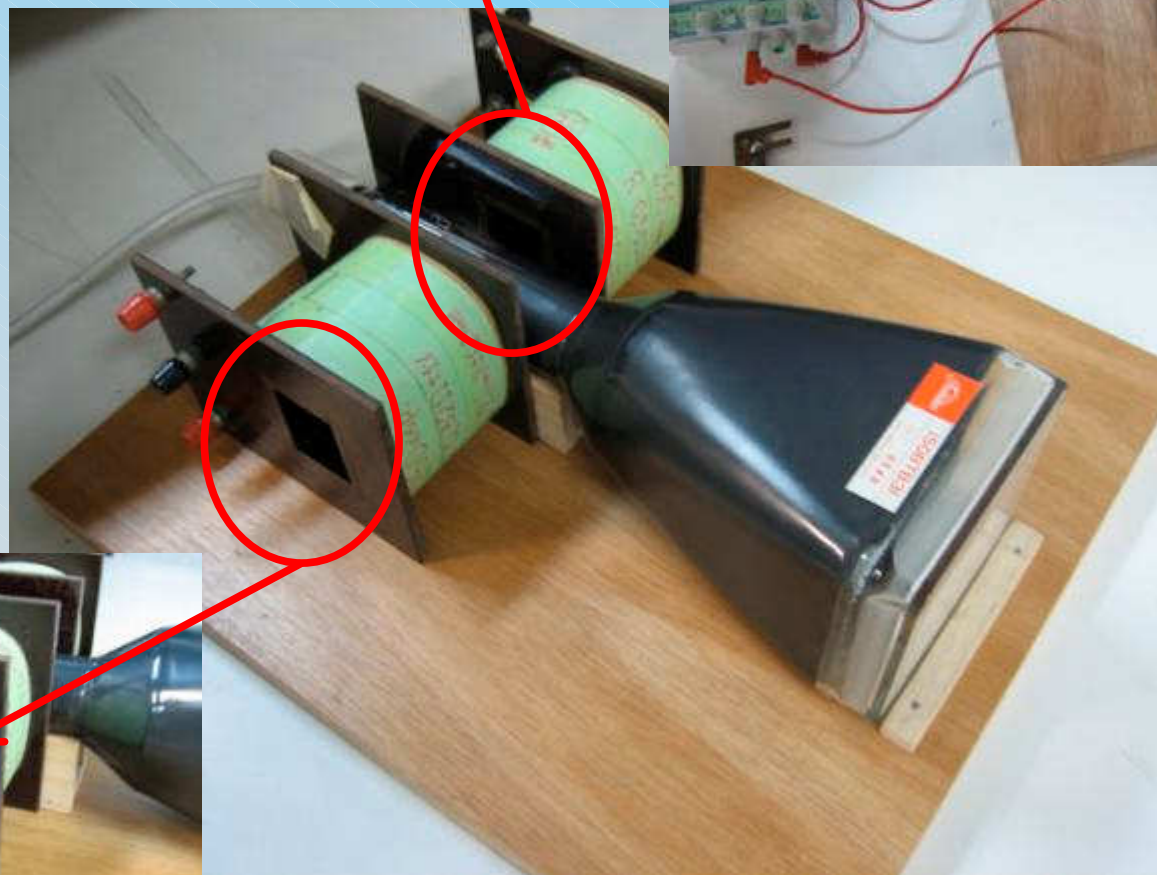
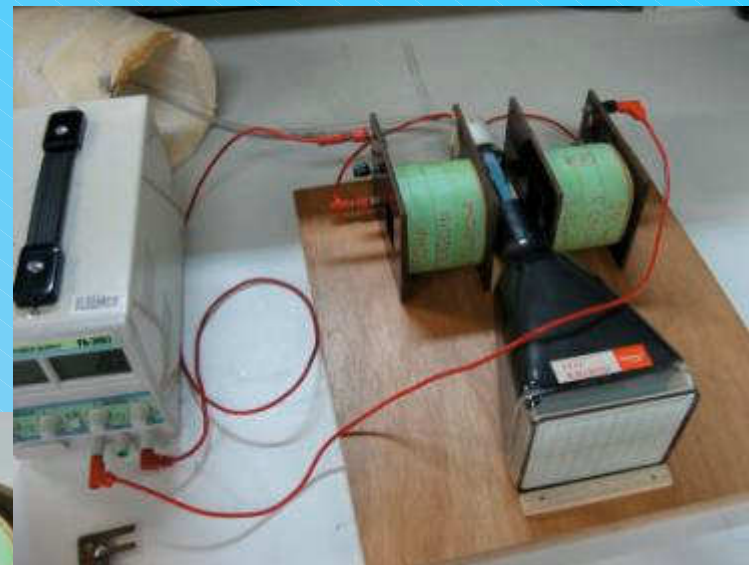


O nosso seletor de velocidades

- ? Tubo de raios catódicos para a parte de campo elétrico
- ? E o campo magnético?
 - Duas bobinas ligadas em série



Na prática...



Bobinas em série



Objetivos 2.4.

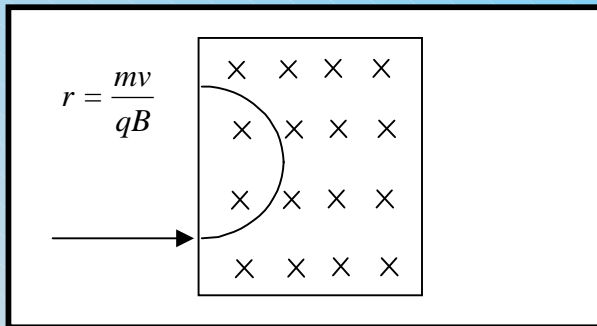
- ? Montar as bobinas que serão utilizadas para o mapeamento do campo magnético (parear 1000 ou 500 ou 250 espiras)

- ? Mapear o campo magnético nas direções:
 - Longitudinal (axial)
 - Transversal (horizontal)
 - Transversal (vertical)

- ? Analisar os dados e verificar se o campo pode ser considerado constante e uniforme entre as bobinas.

Campo Magnético: Força de Lorentz

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



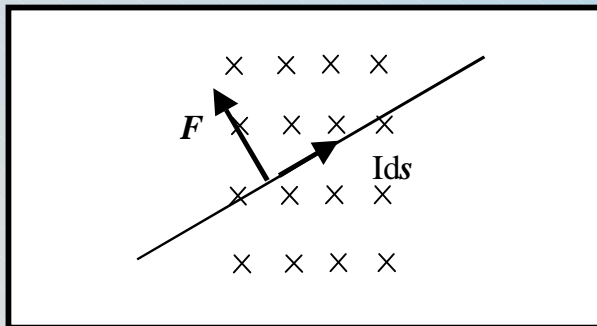
Escrevendo a força num “elemento de corrente”

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

e reordenando a ordem de derivação

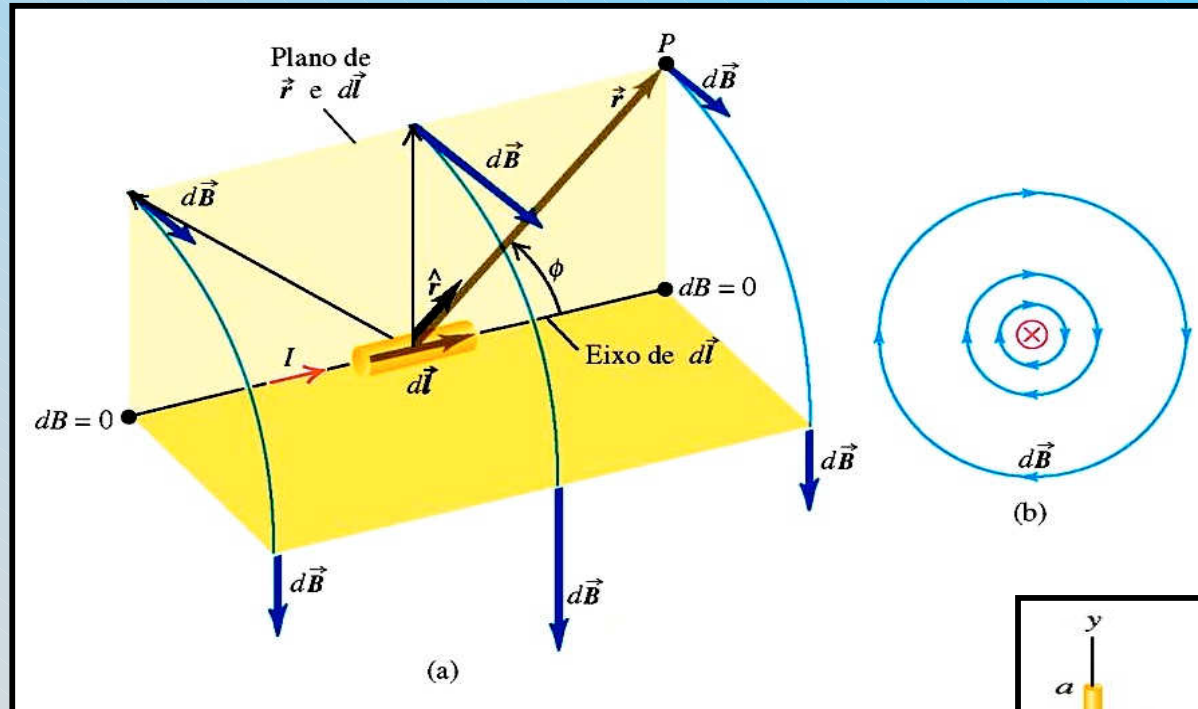
$$dq \vec{v} = dq \frac{d\vec{s}}{dt} = \frac{dq}{dt} d\vec{s} = I d\vec{s}$$

$$d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$$



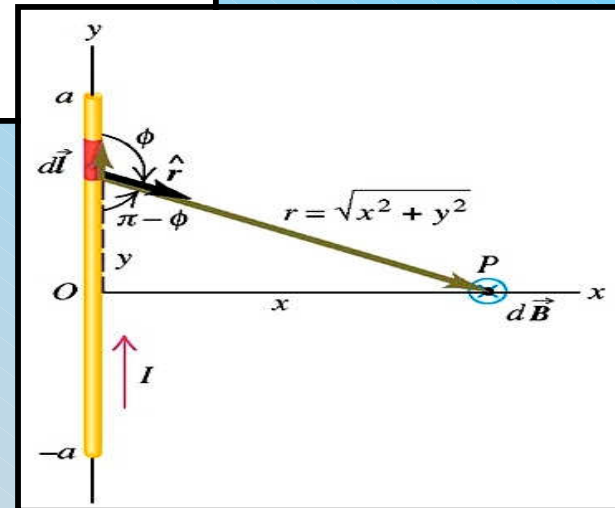
$$dq \cdot \vec{v} = I \cdot d\vec{s}$$

Fontes do campo magnético (elemento de corrente)



r é um vetor que liga dl ao ponto P .

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



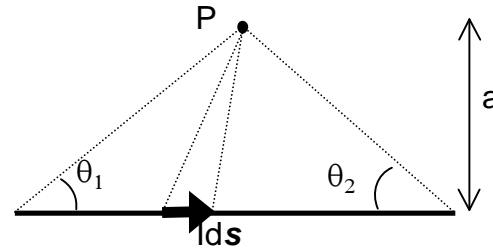
Fontes do campo magnético

Lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = k_m \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

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

Campo de um segmento de corrente



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

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

fio infinito

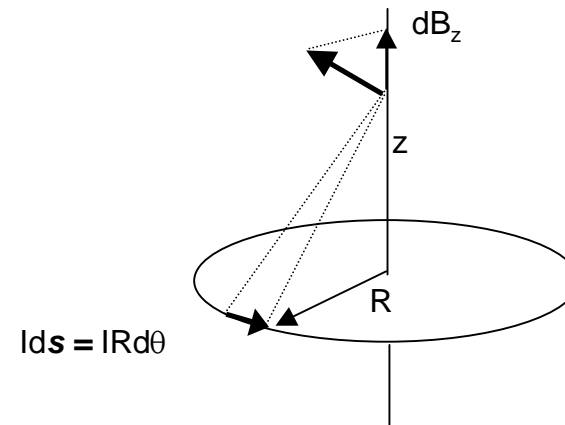
Fontes do campo magnético

Lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = k_m \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

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

Campo de uma espira



$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

ao longo do eixo

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

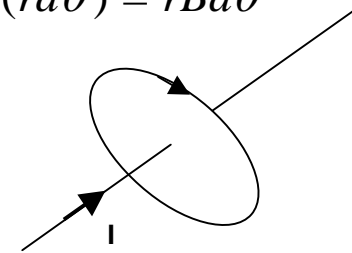
na origem

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo de um fio infinito

$$\vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot (r d\vec{\theta}) = r B d\theta$$

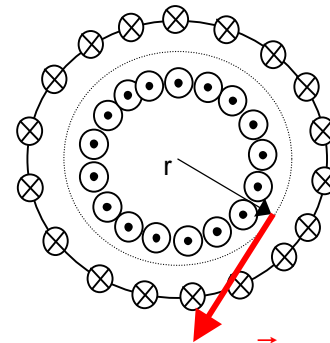


$$B 2\pi r = \mu_0 I$$

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo num toróide



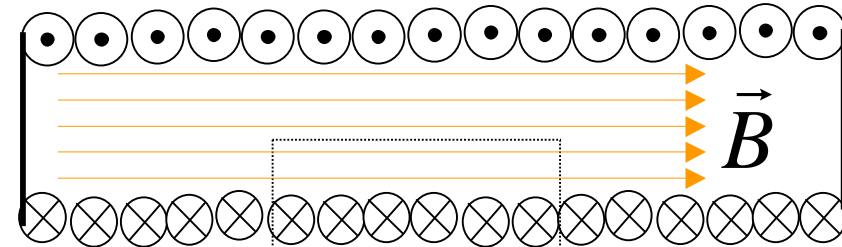
$$\vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot (r d\vec{\theta}) = rB d\theta$$

$$B 2\pi r = \mu_0 NI$$

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo num solenóide infinito



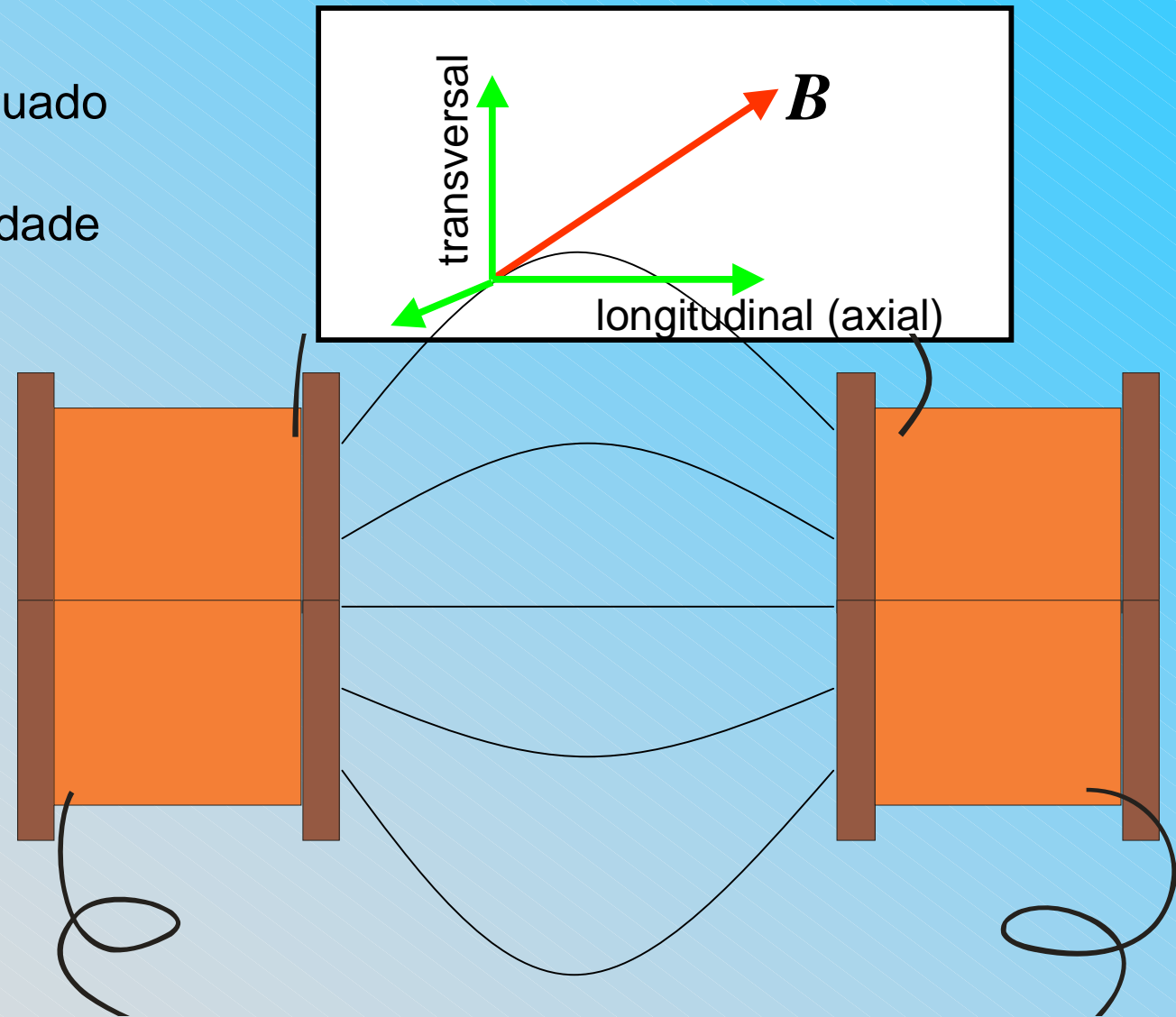
$$\vec{B}_{ext} = 0$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot \vec{l} = B \cdot l$$

$$B l = \mu_0 n I \quad B = \frac{n}{l} \mu_0 I$$

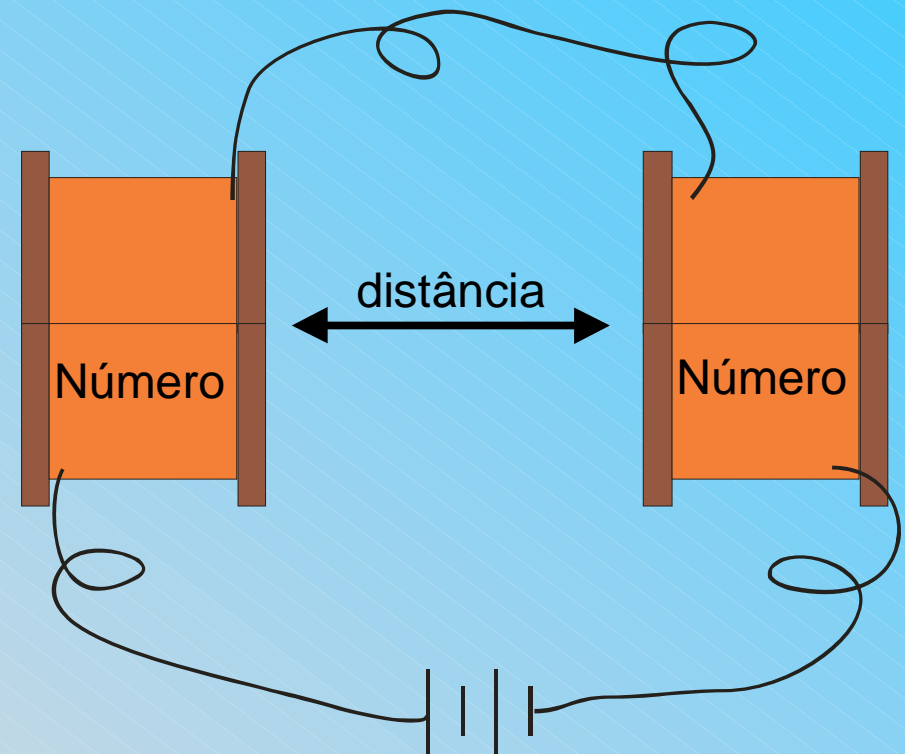
Campo longitudinal e transversal

- ? Usar o sensor adequado (chave)
- ? Escolher a sensibilidade



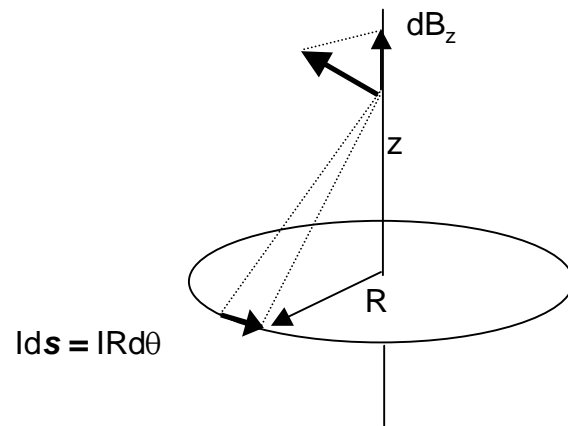
Arranjo experimental

- ? Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- ? Anotar número das bobinas e distância entre elas
 - Utilizar o suporte do TRC como referência
- ? Fique atentos com as ligações. Queremos que os campos se somem coerentemente
- ? Procedimento
 - Com as bobinas desligadas.
 - ? Zerar (tara) o medidor Hall
 - Aplicar corrente à bobina
 - ? Não exceder 200 mA



Fontes do campo magnético (teoria)

Campo de uma espira



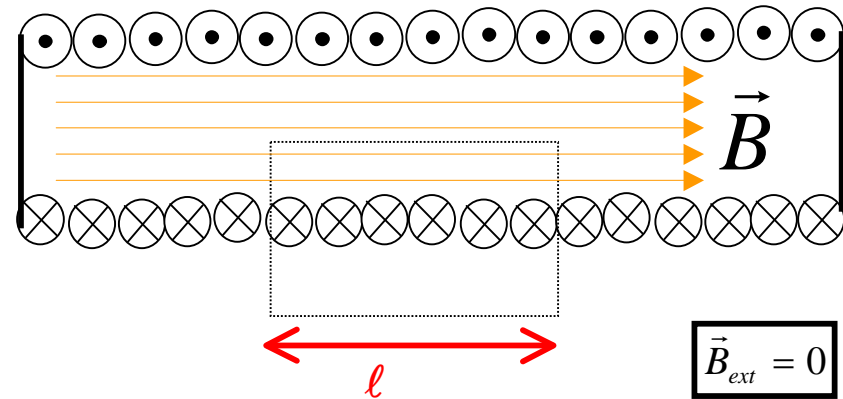
$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

ao longo do eixo

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

na origem

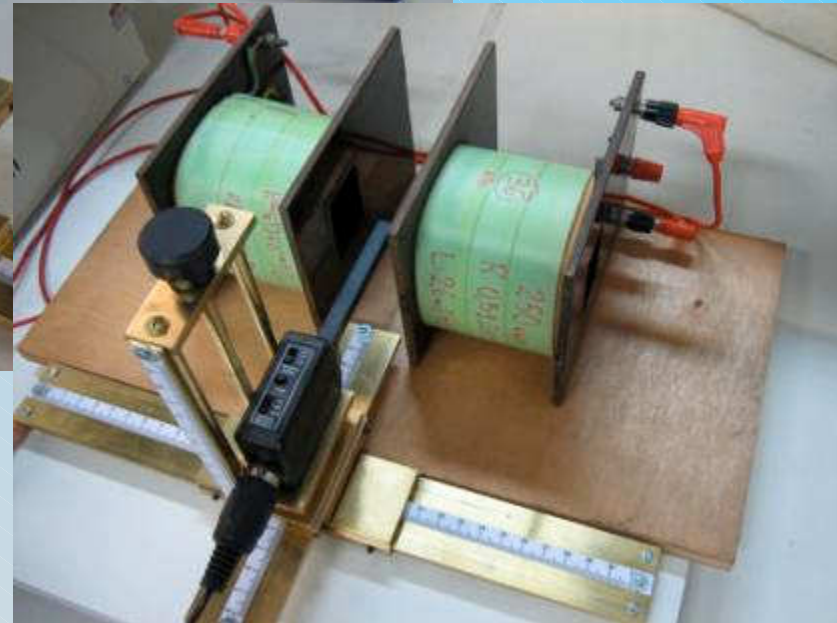
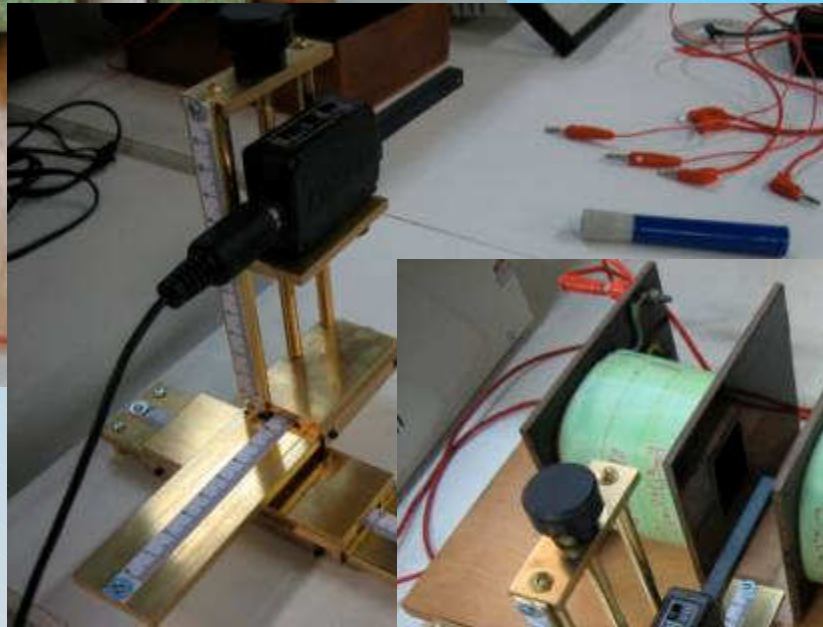
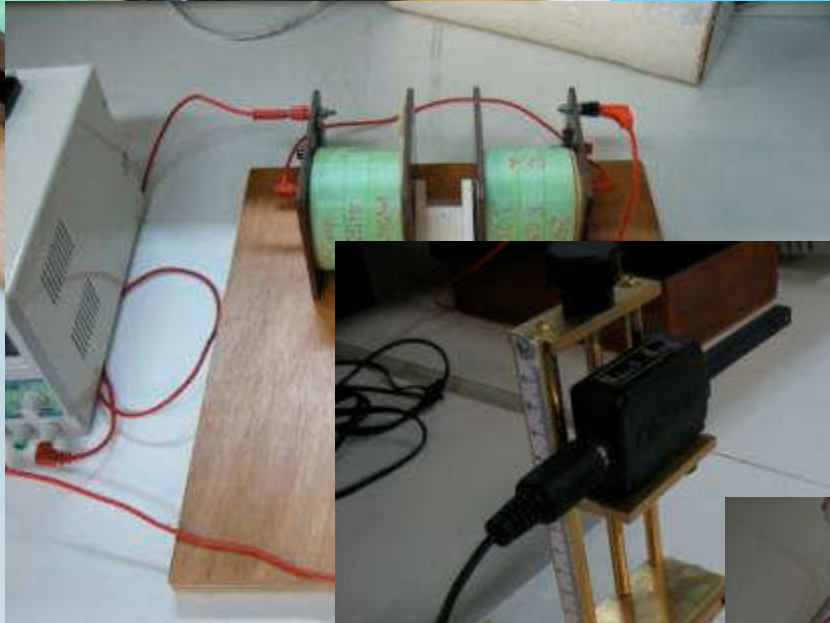
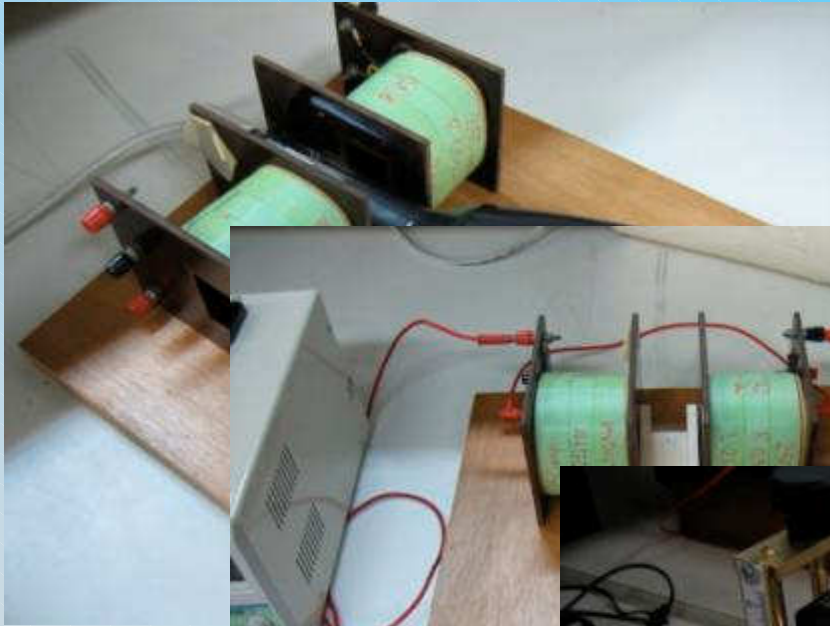
Campo num solenóide infinito



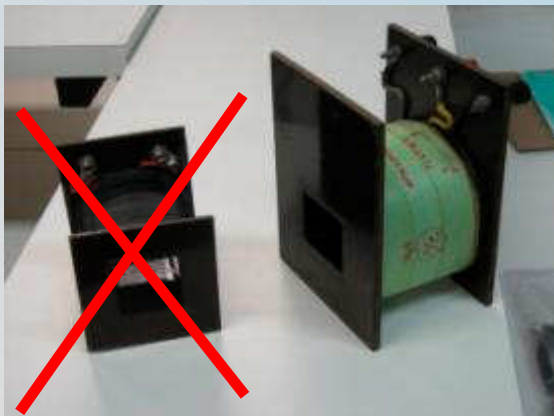
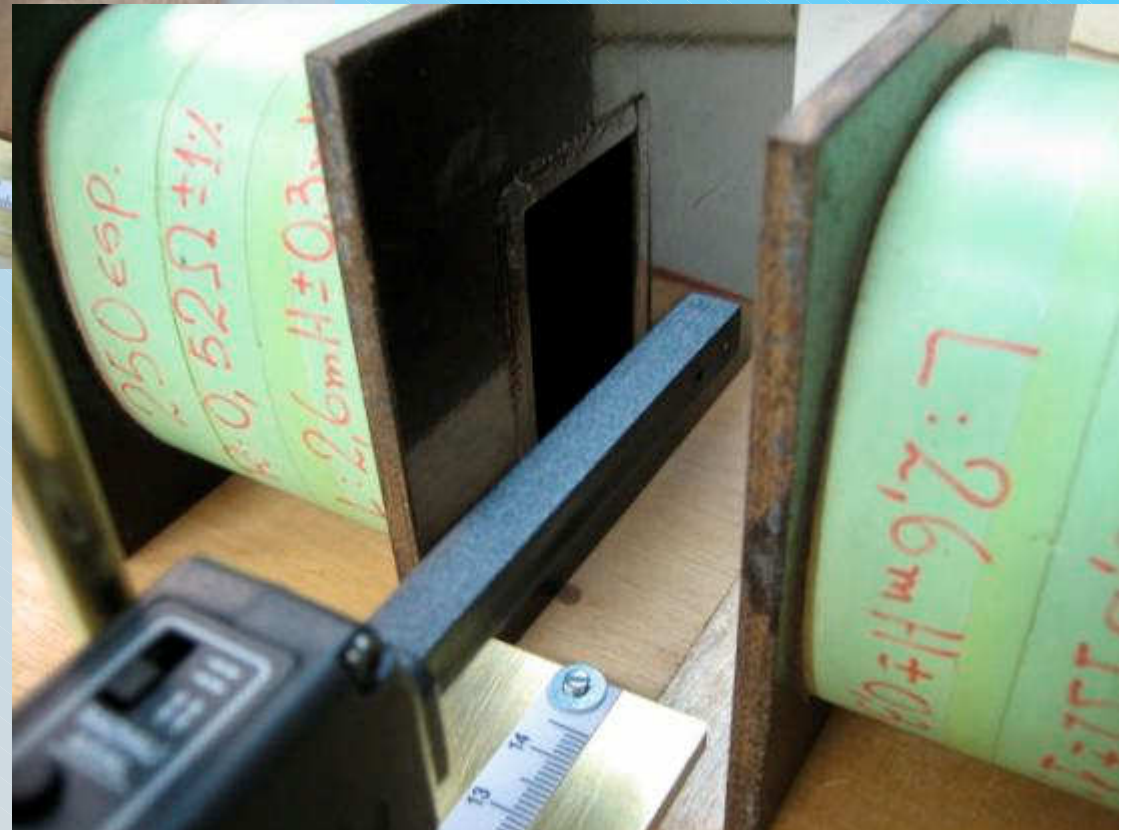
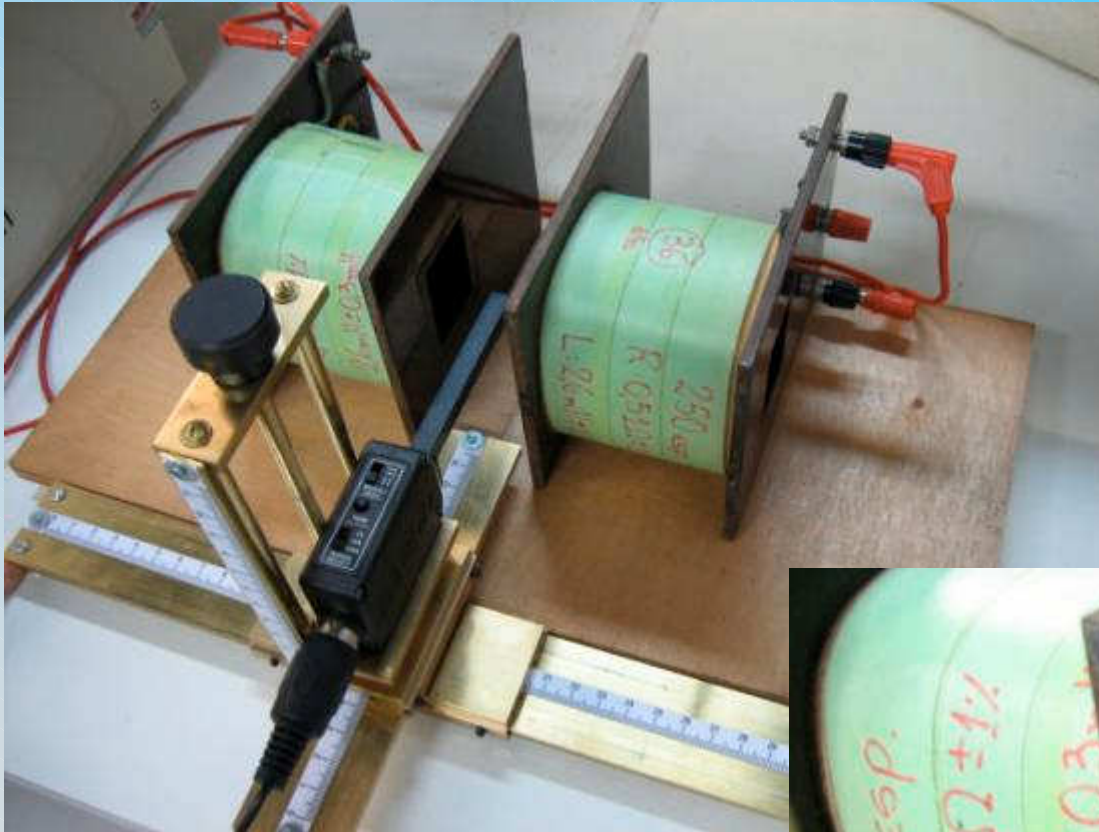
$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot \vec{l} = B \cdot l$$

$$B l = \mu_0 n I \quad B = \frac{n}{\ell} \mu_0 I$$

Na prática...

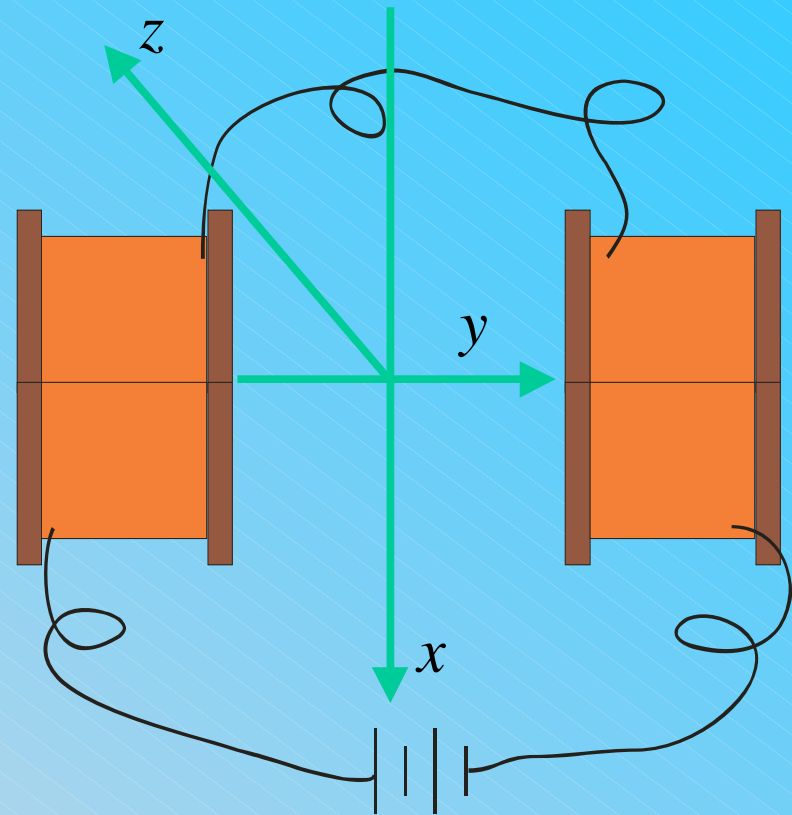


Na prática...



Atividades da semana (2.4)

- ? Gráficar de B_x e B_y ao longo do eixo x .
 - Fixar a origem no centro, entre as bobinas
- ? Gráficar de B_x e B_y ao longo do eixo y .
 - Fixar a origem no centro, entre as bobinas
- ? Gráficar de B_x e B_y ao longo do eixo z .
 - Fixar x no centro entre as bobinas



- ? Gráficar $|\mathbf{B}|$ em função da corrente elétrica i nas bobinas, medido no centro entre as bobinas (origem) e estudar sua dependência com a corrente
 - A dependência de $|\mathbf{B}|$ com i na origem, pode ser usada em todos os pontos? Porque?
 -