



Física Experimental III

Notas de aula: www.if.usp.br/suaide

LabFlex: www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

Aula 8

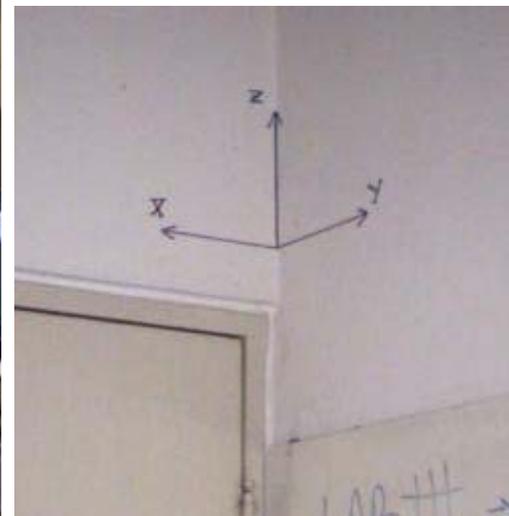
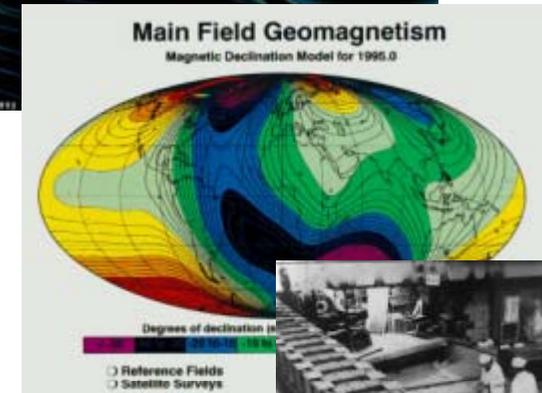
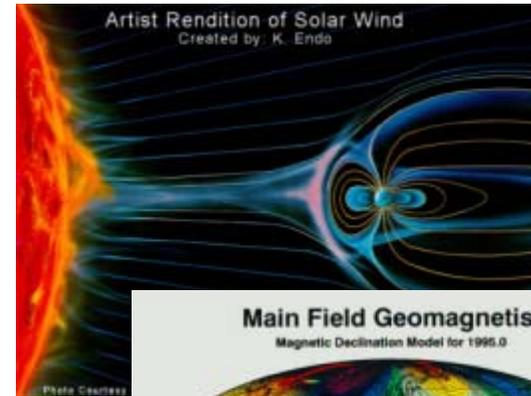
Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

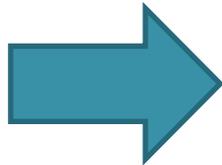
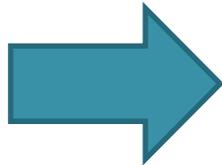
Atividades da semana anterior

- O campo magnético local depende de muitos fatores
 - Cosmológicos
 - Geológicos
 - Locais
 - Canos, fontes de corrente, metais, etc., etc., etc.



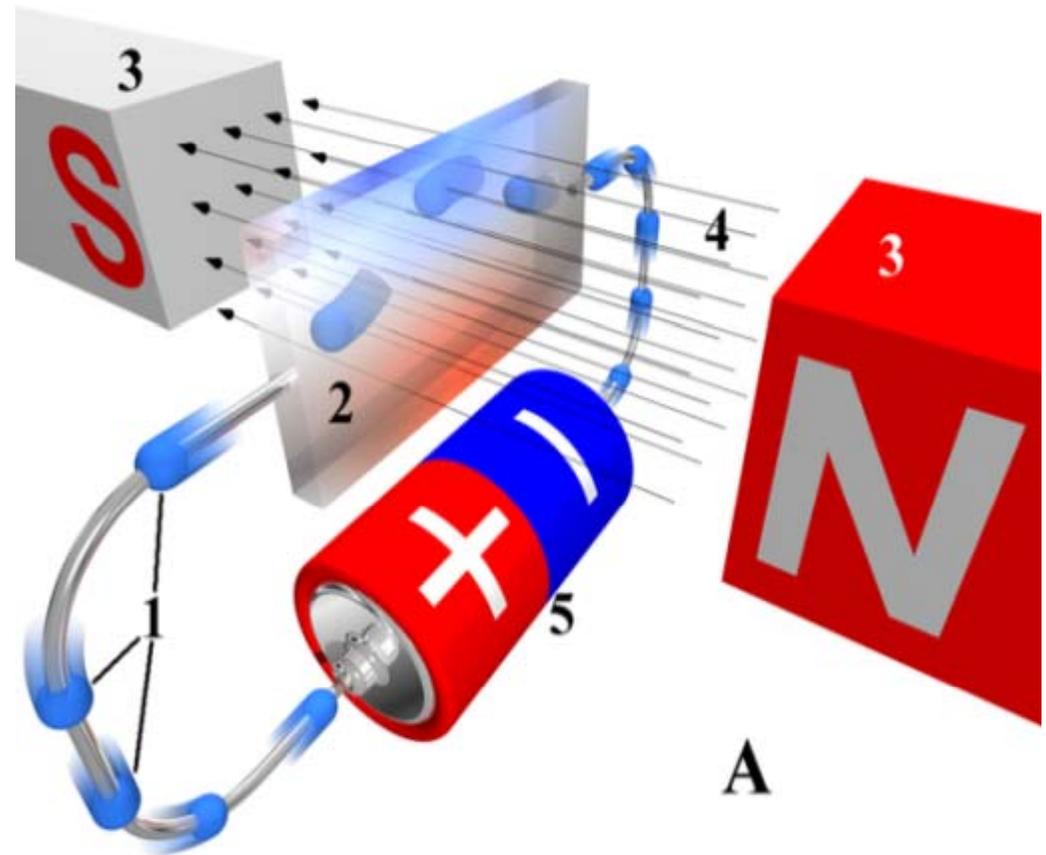
Como medir campos magnéticos?

- Muitas técnicas
 - Bússola
 - somente direção do campo
 - Bobinas sondas
 - Campos com fluxo variável
 - Medidor por efeito Hall
 - campos estáticos diversos
 - TRC
 - Movimento de elétrons no campo



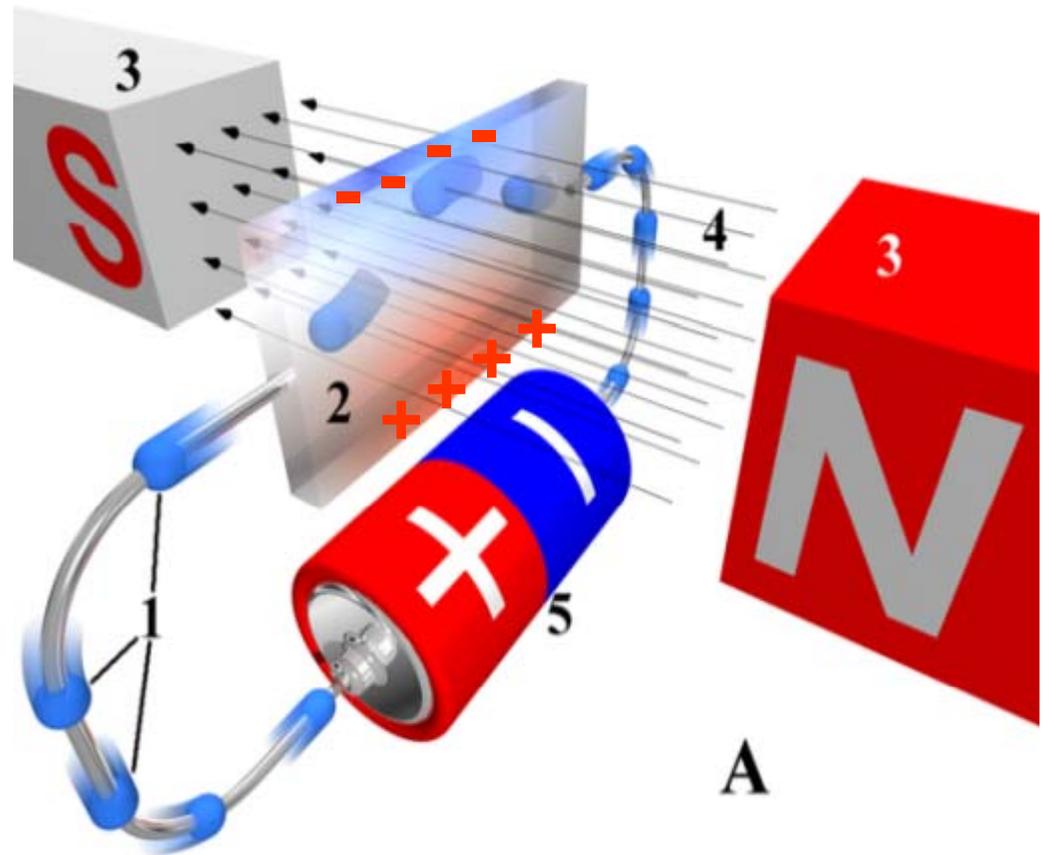
O efeito Hall

- Quando uma corrente em um condutor é inserida em um campo magnético uma força atua sobre os portadores de carga modificando a sua distribuição dentro do condutor.



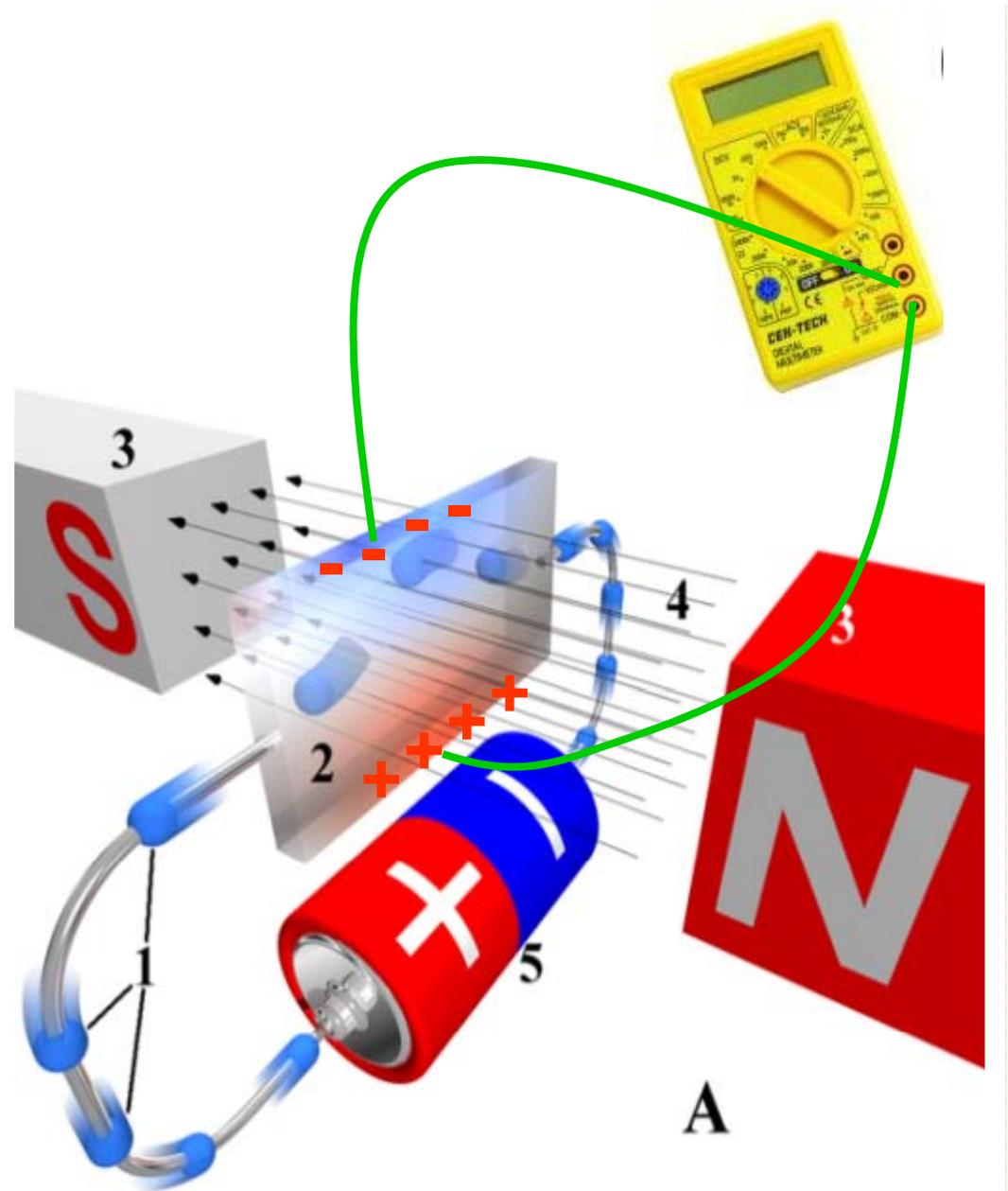
O efeito Hall

- Esta mudança de distribuição de cargas no condutor cria uma diferença de potencial entre as superfícies do mesmo



O efeito Hall

- A medida desta diferença de potencial é proporcional ao campo magnético



Algumas peculiaridades do sensor Hall do laboratório



Table 1
Magnetic Sensor Specification Chart

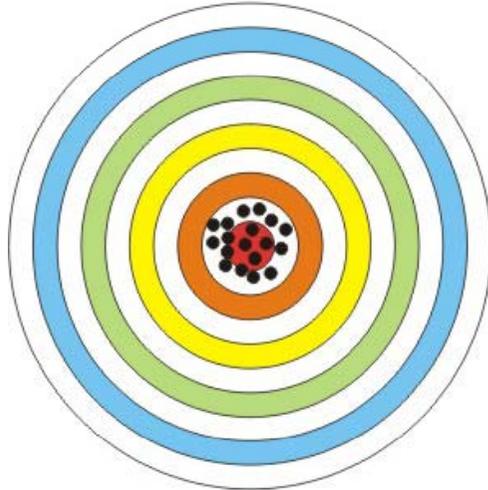
Range	Gain	Resolution	Accuracy	Calibration Factor
± 1000 gauss	1X	0.5 gauss	100 gauss	100 gauss/volt
± 100 gauss	10X	0.05 gauss	10 gauss	10 gauss/volt
± 10 gauss	100X	0.050 gauss	1 gauss	1 gauss/volt

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.

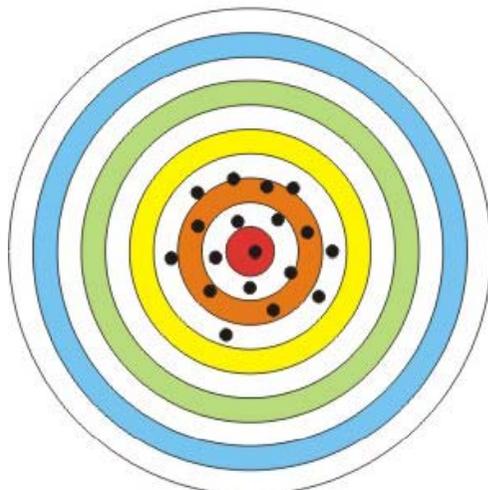
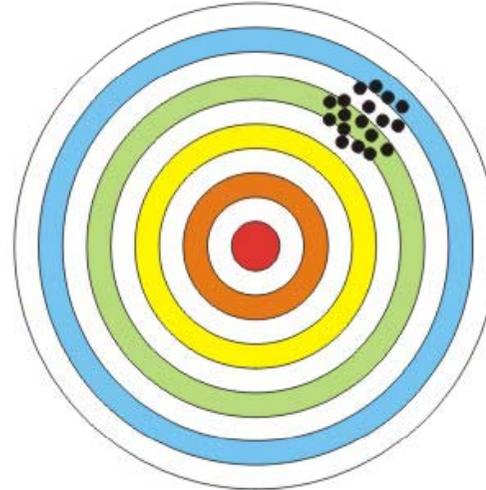
This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

Acurácia e precisão

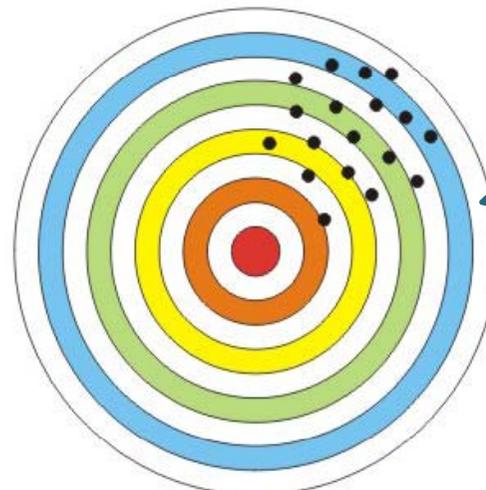
Alta acurácia
Alta precisão



Baixa acurácia
Alta precisão



Alta acurácia
Baixa precisão



Baixa acurácia
Baixa precisão

O nosso sensor Hall enquadra-se nesta categoria para a escala da medida que queremos realizar.

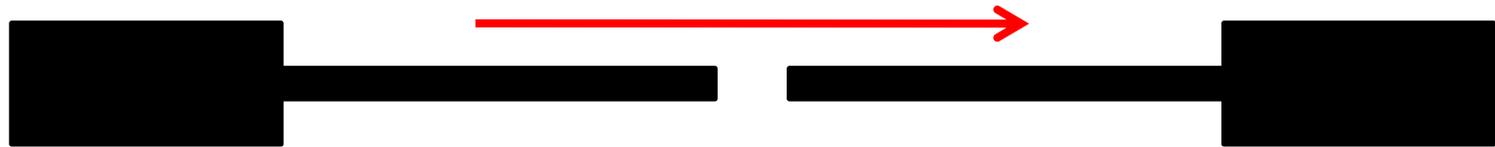
Como minimizar problemas de acurácia

- 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

$$M_2 = -B_x + A$$

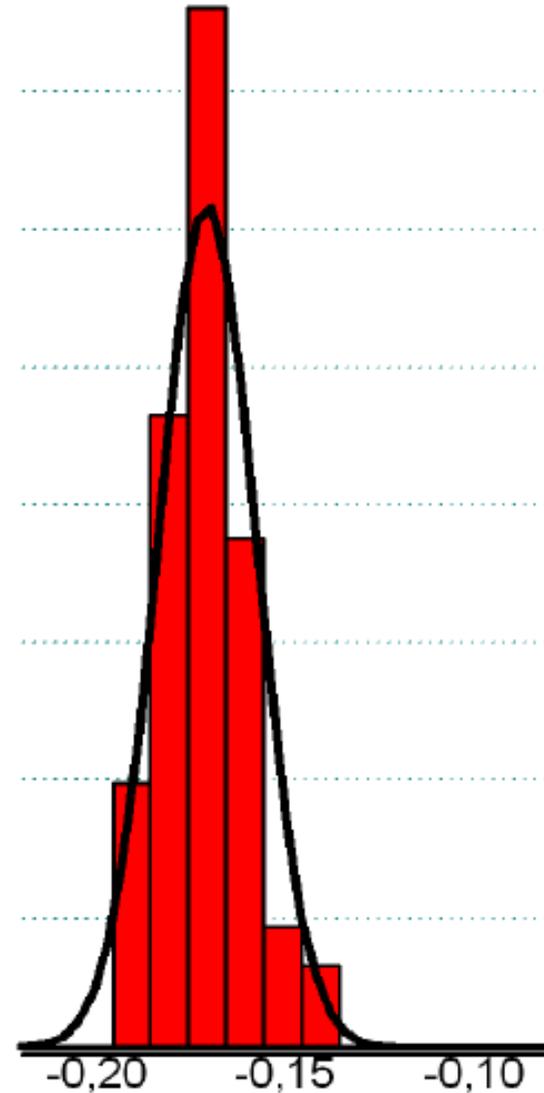


$$B_x = \frac{M_1 - M_2}{2}$$

E a precisão? Como contornar

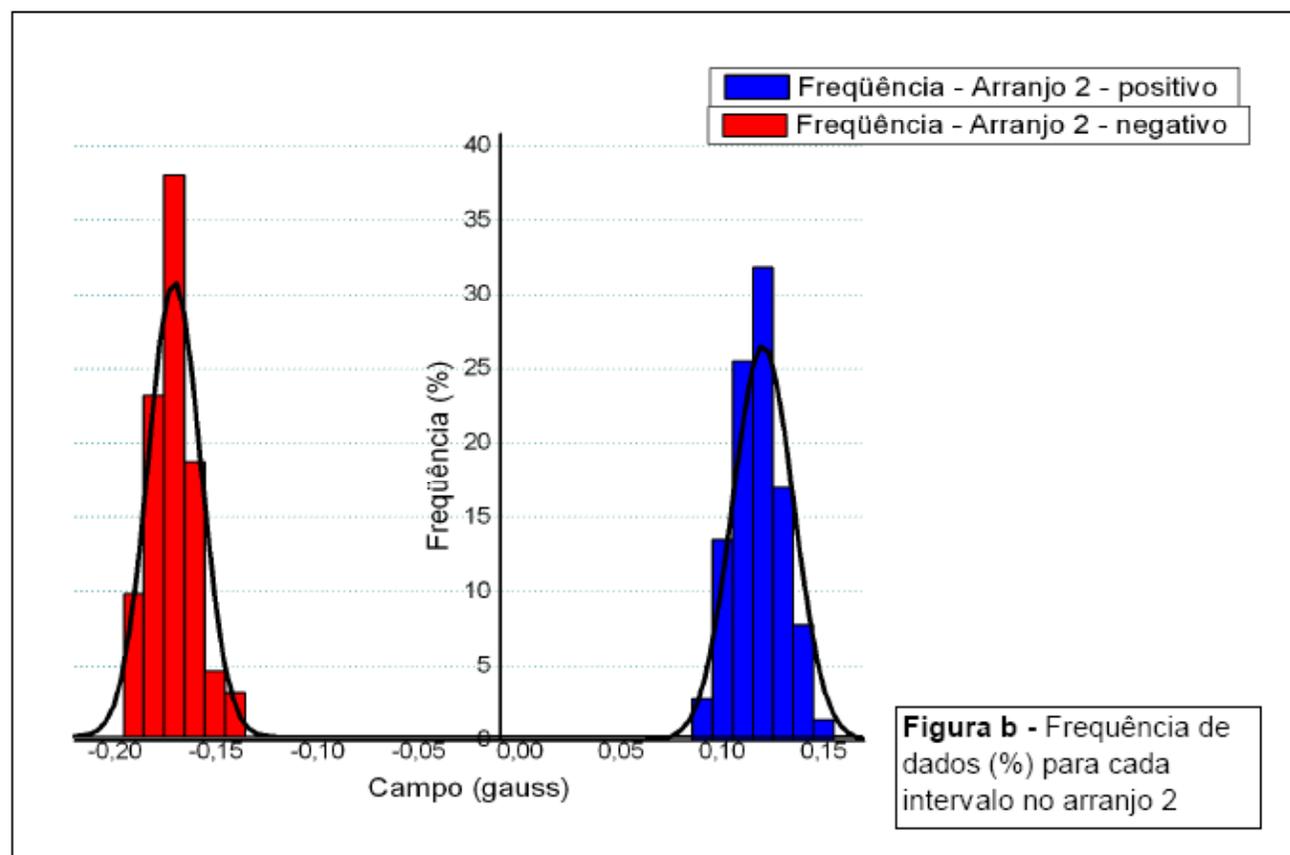
- A melhor forma é fazendo medidas estatísticas
 - Se a incerteza de uma medida é
 - $\sigma = 0,050 \text{ G}$
 - Se eu fizer N medidas eu tenho que a incerteza da média vale

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



Mas é muito no limite.

- Somente alguns grupos conseguiram fazer este levantamento



	Leitura Positiva	Leitura Negativa
Média (gauss)	0,125	-0,168
Desvio Padrão	0,015	0,013

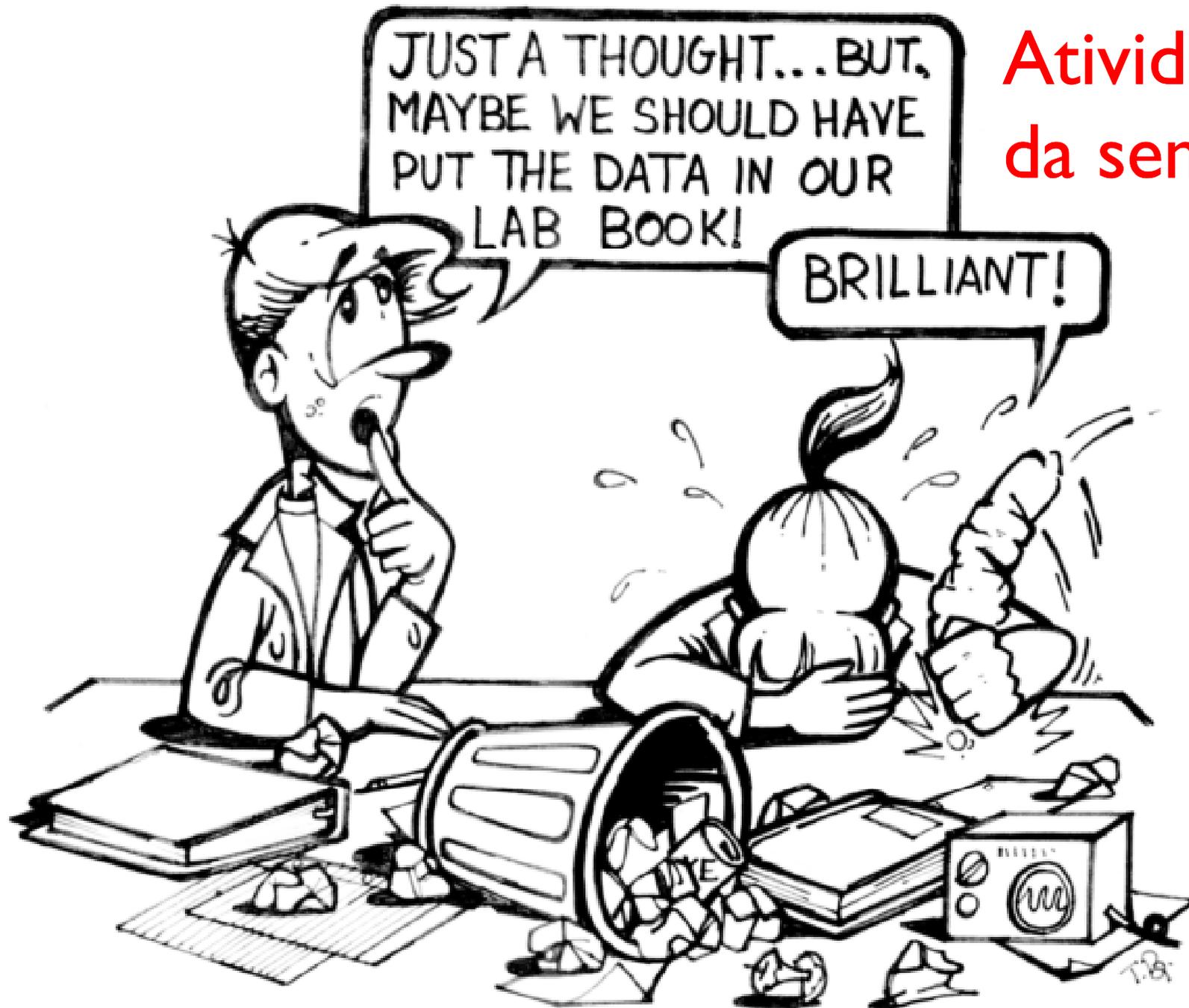
Campo (gauss)
0,147
± 0,010

Resultados da semana passada

	<i>Sensor Hall (G)</i>			<i>TRC (G)</i>		
	<i>Bx</i>	<i>By</i>	<i>Bz</i>	<i>Bx</i>	<i>By</i>	<i>Bz</i>
1	0,224	0,13	-0,371	0,107	0,082	0,097
2	-35,6573	-29,5817	-35,3588	0,017	0,511	0,088
3	-0,523			0,019	0,129	0,106
4						
5						
6						
7	-0,403	-0,295	?			
8	0,245	1,268	0,037			
9	0,183	0,147	0,17			
10				Medidas com problemas		
11				0,000431	-0,00109	-0,00039
12						

- Módulo (decompor nas três componentes e comparar)
- Provavelmente problemas de unidades no cálculo do campo
- Campo incompatível com TRC e muito elevado
- Faltou calcular a componente Z

Atividades da semana

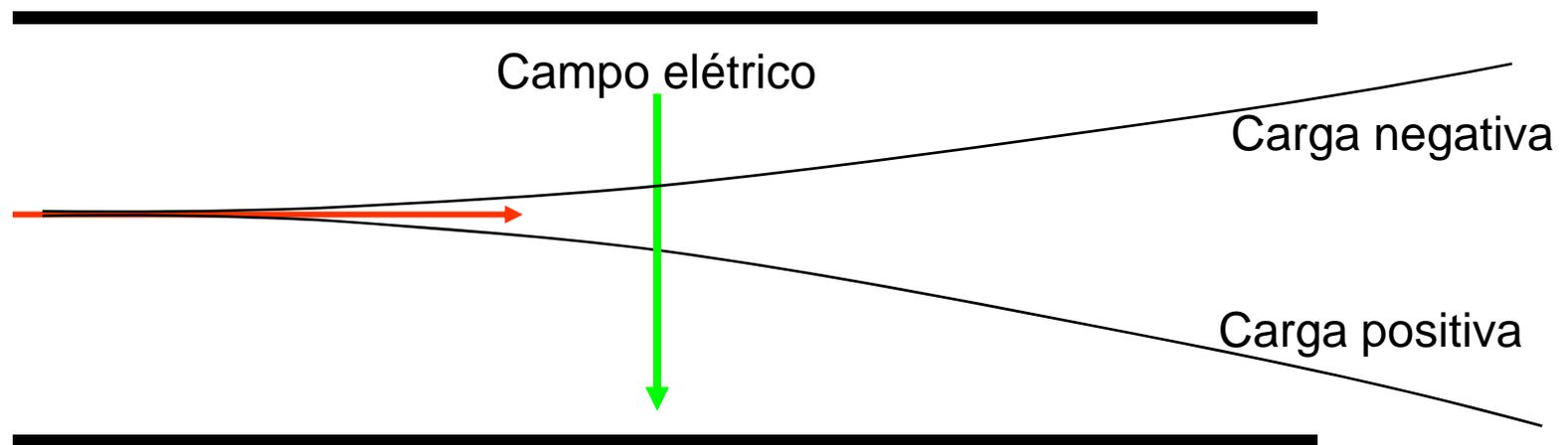


Uma partícula em movimento em um campo elétrico

- Força atuante sobre a partícula

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

- Partícula desvia segundo a carga e intensidade do campo

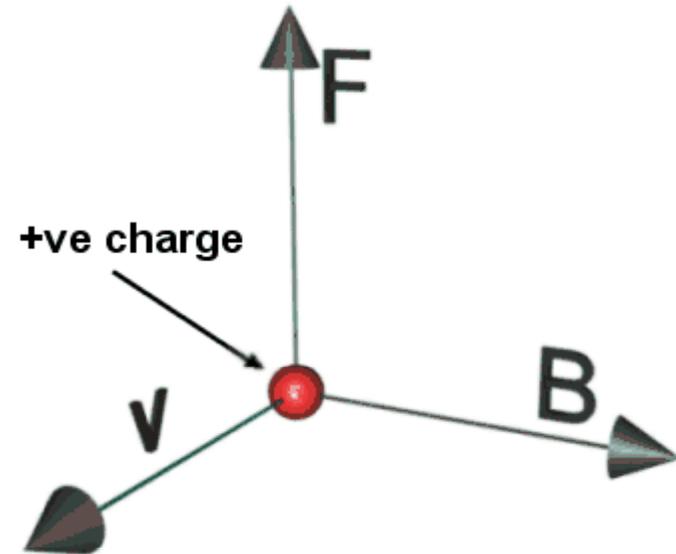
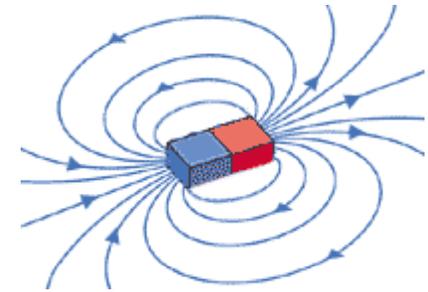


Uma partícula em movimento em um campo magnético

- Força atuante sobre a partícula

$$\vec{F}_M = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

- Força magnética depende tanto da carga como da velocidade da partícula
- Produto vetorial
 - Força é máxima quando o ângulo entre velocidade e campo é 90°



Uma partícula em movimento em um campo eletro-magnético

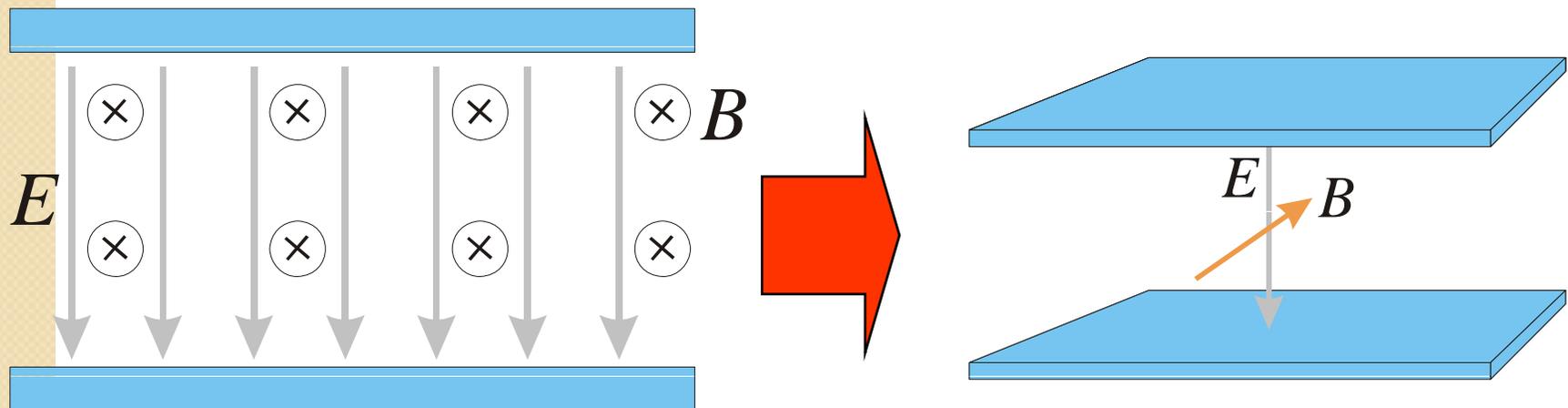
- Força atuante sobre a partícula

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

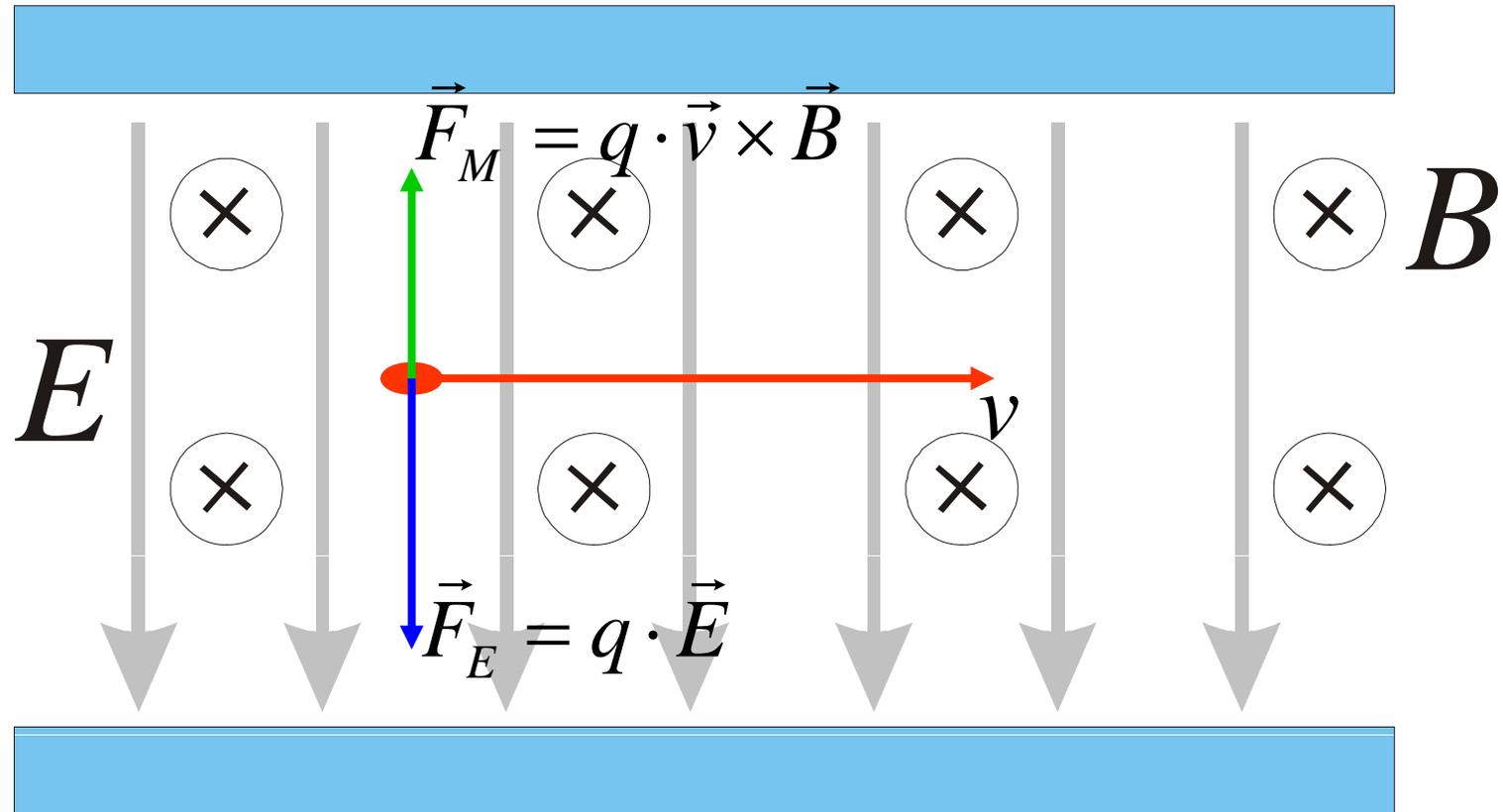
- O movimento depende da competição entre a força elétrica e a magnética
- Um uso prático é o seletor de velocidades

O seletor de velocidades

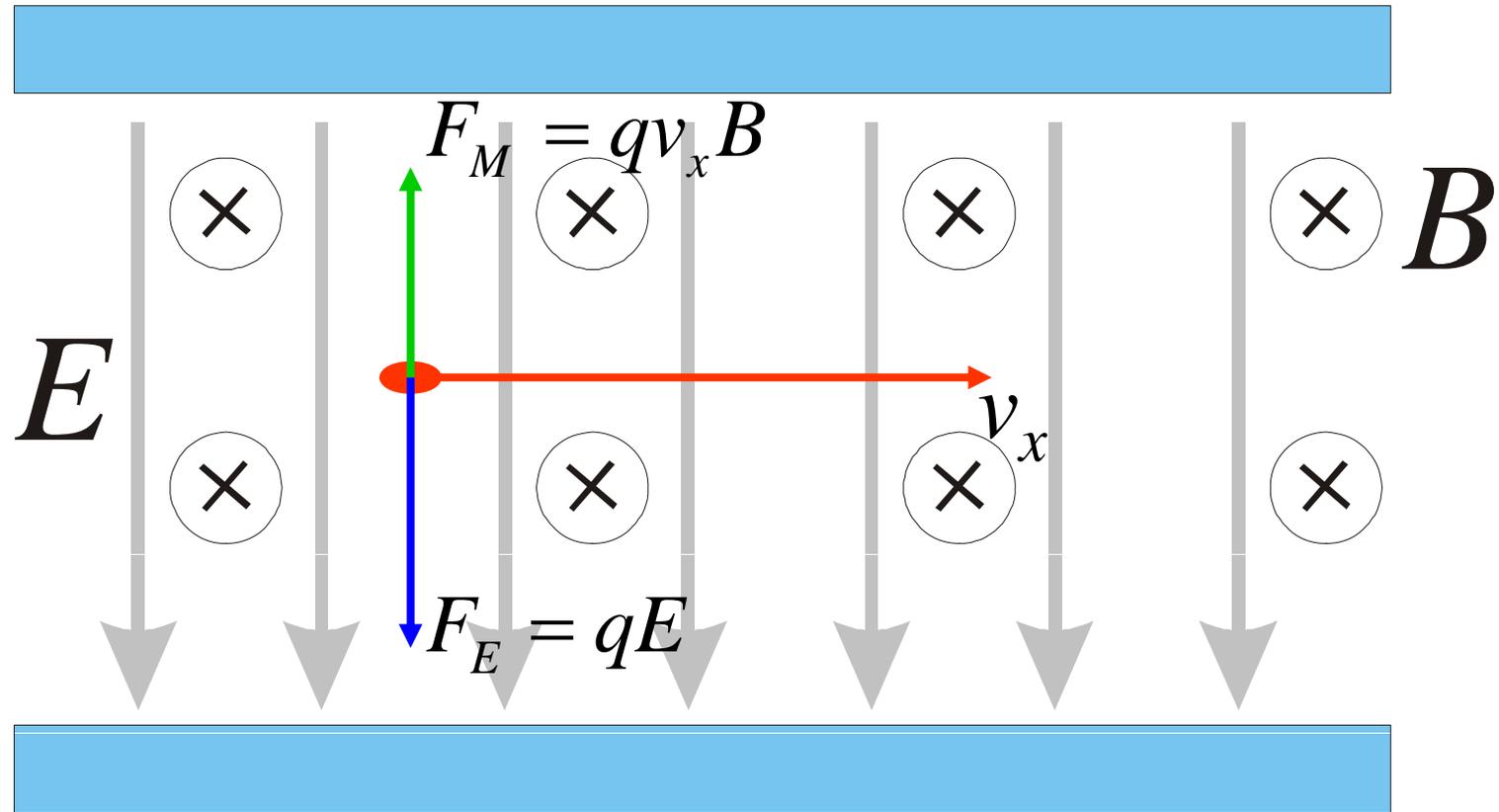
- Equipamento composto de um campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares), uniformes, contantes e superpostos



Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

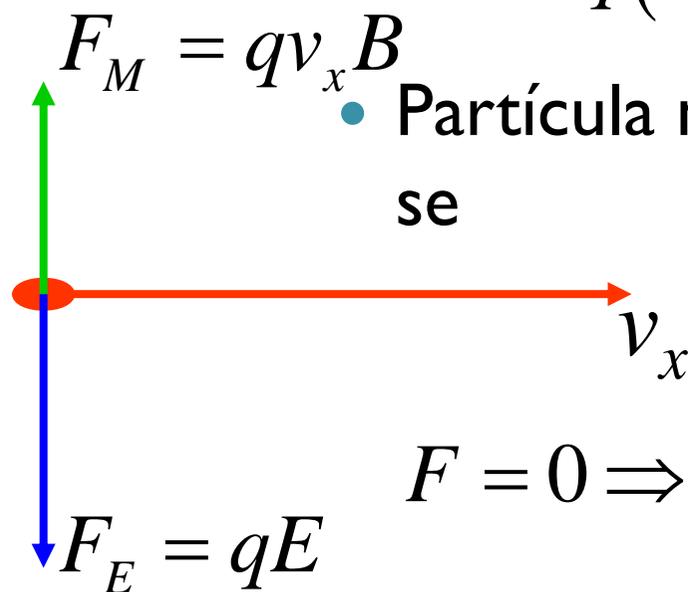


Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades



Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

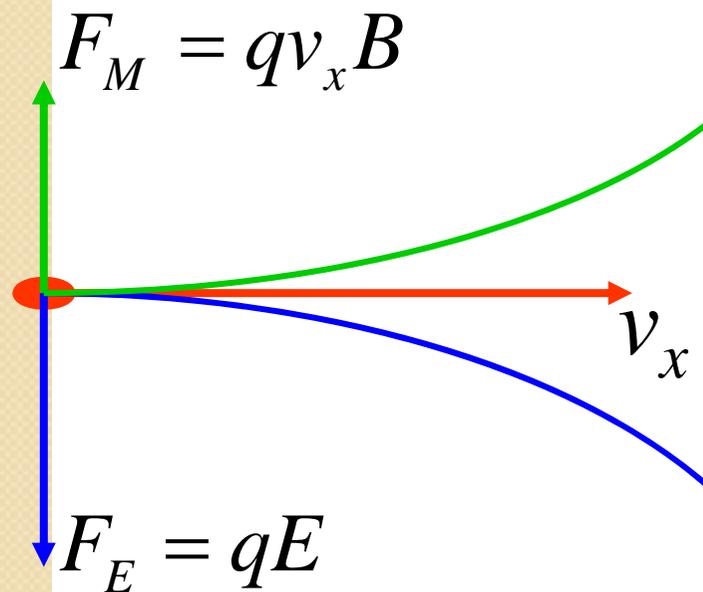
- Força resultante

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


• Partícula não sofre desvio se

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

Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades



- Condição para não desviar

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

- Desvio

- Negativo se $v_x > \frac{E}{B}$

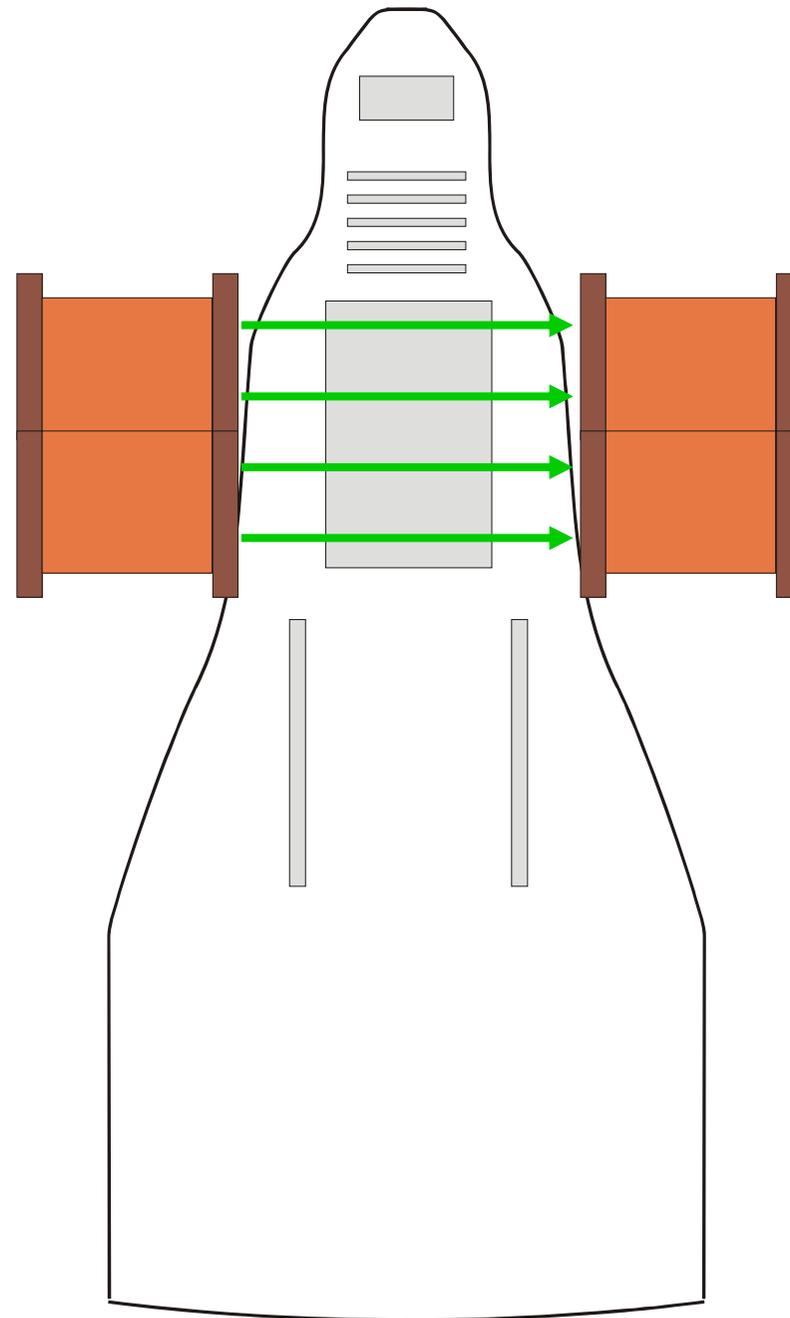
- Positivo se $v_x < \frac{E}{B}$

A experiência

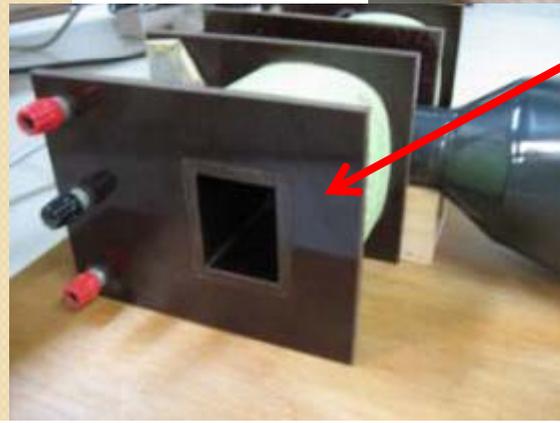
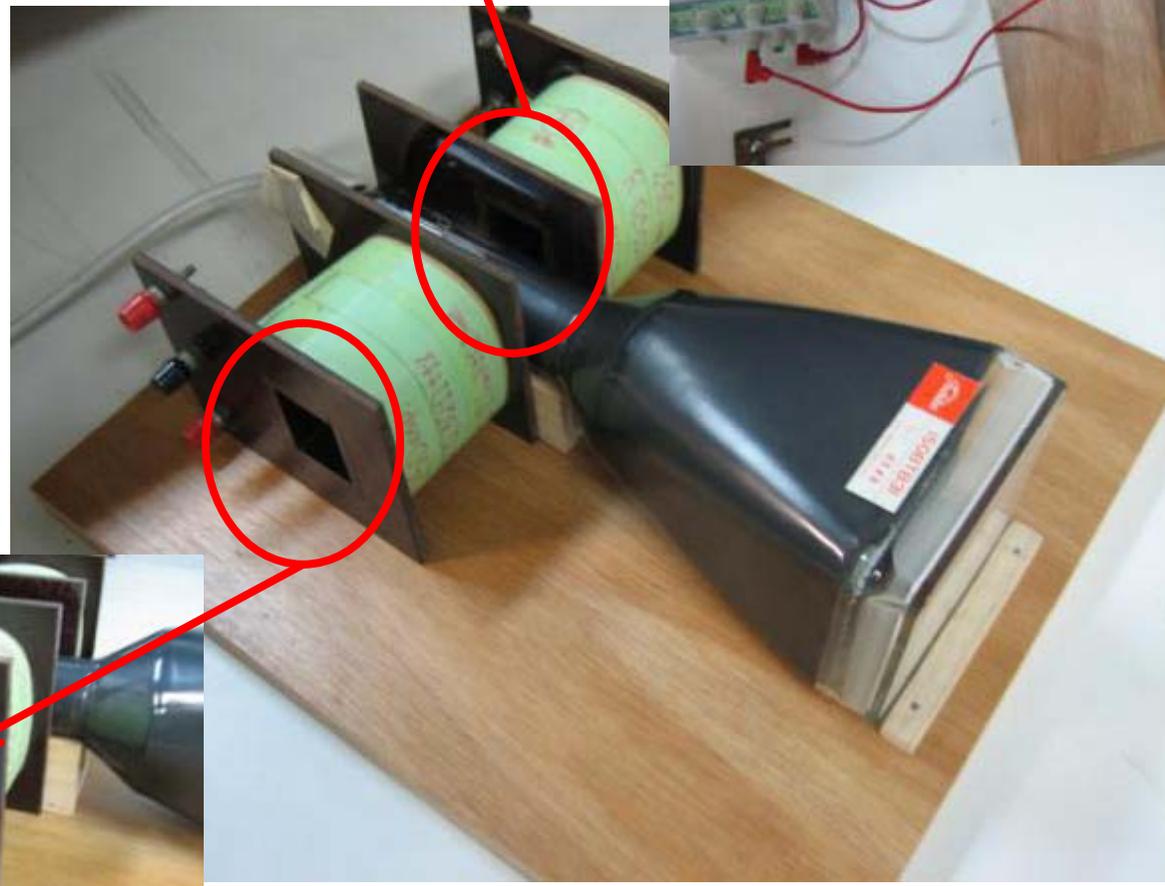
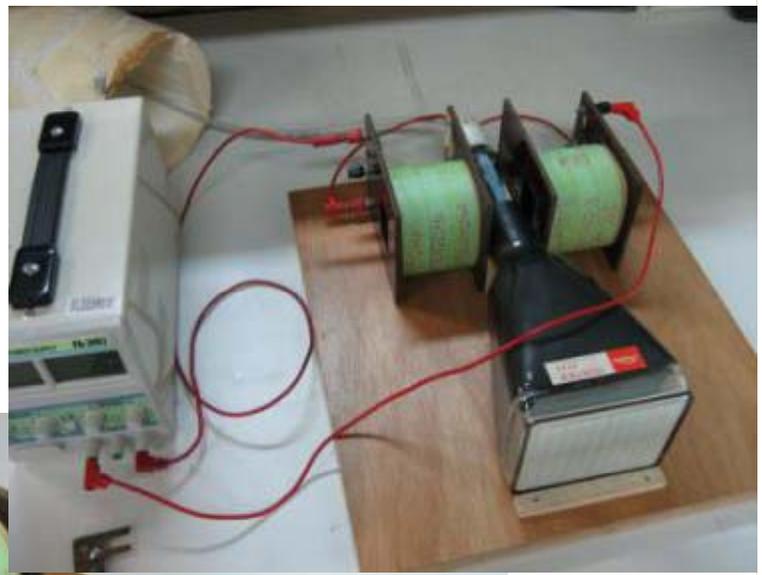
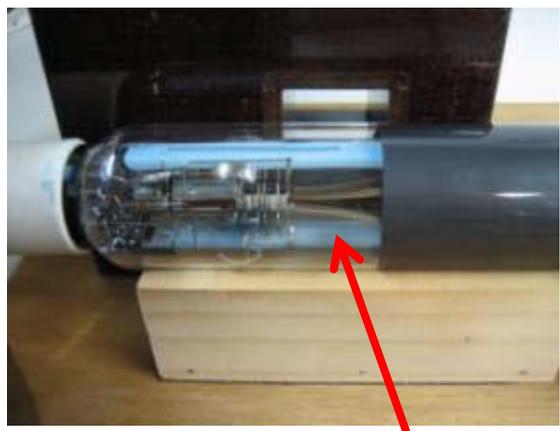
- Estudar um seletor de velocidades composto do tubo de raios catódicos e um campo magnético gerado por uma bobina
 - Tubo de raios catódicos ok
- Estudar o campo magnético
 - Mapeamento de campos magnéticos
 - Estudo da deflexão de uma partícula em um campo
- Estudar o seletor ligando, ao mesmo tempo, os campos elétrico e magnético

O nosso seletor de velocidades

- Tubo de raios catódicos para a parte de campo elétrico
 - Duas bobinas ligadas em série



Na prática...



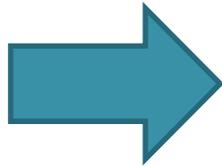


Objetivos

- Montar as bobinas que serão utilizadas para o mapeamento do campo magnético
- Mapear o campo magnético nas direções:
 - Longitudinal
 - Transversal
- Analisar os dados para verificar se o campo pode ser considerado constante e uniforme entre as bobinas

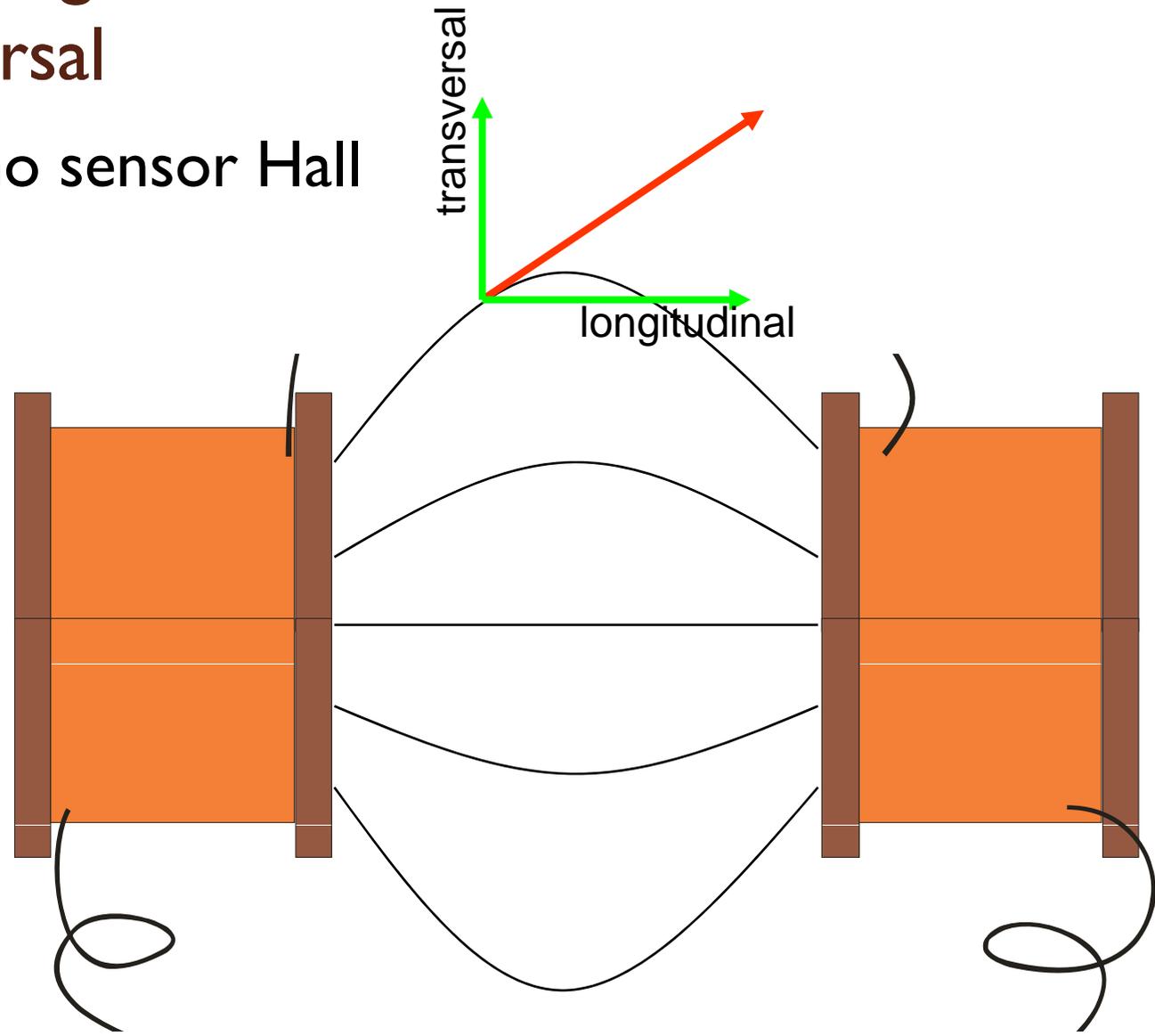
Como medir campos magnéticos?

- Muitas técnicas
 - Bússola
 - somente direção do campo
 - Bobinas sondas
 - Campos com fluxo variável
 - Medidor por efeito Hall
 - campos estáticos diversos
 - TRC
 - Movimento de elétrons no campo



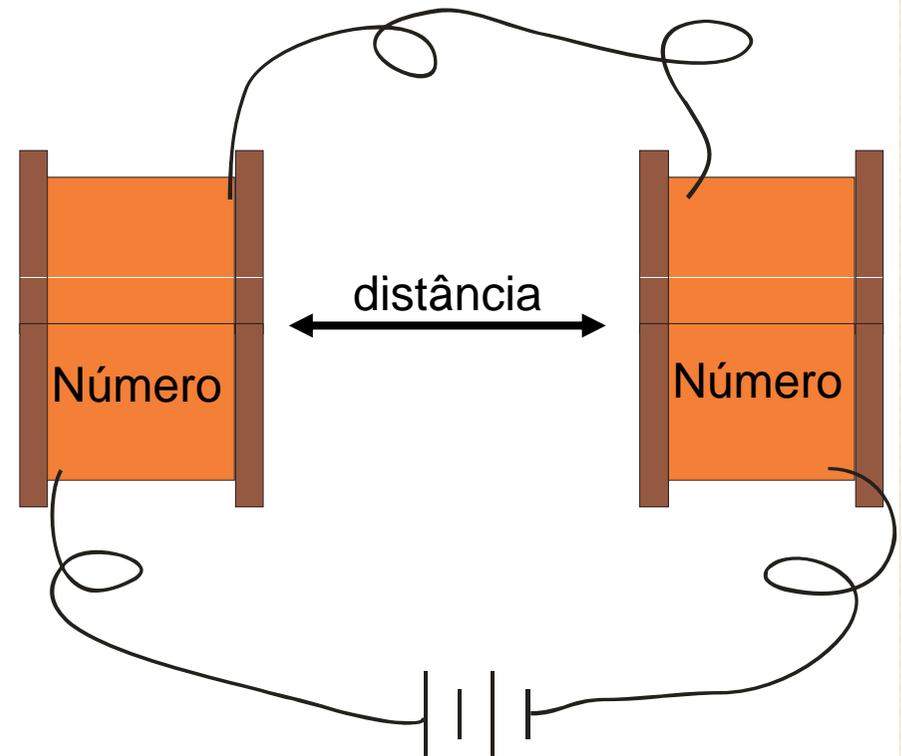
Campo longitudinal e transversal

- Chave no sensor Hall

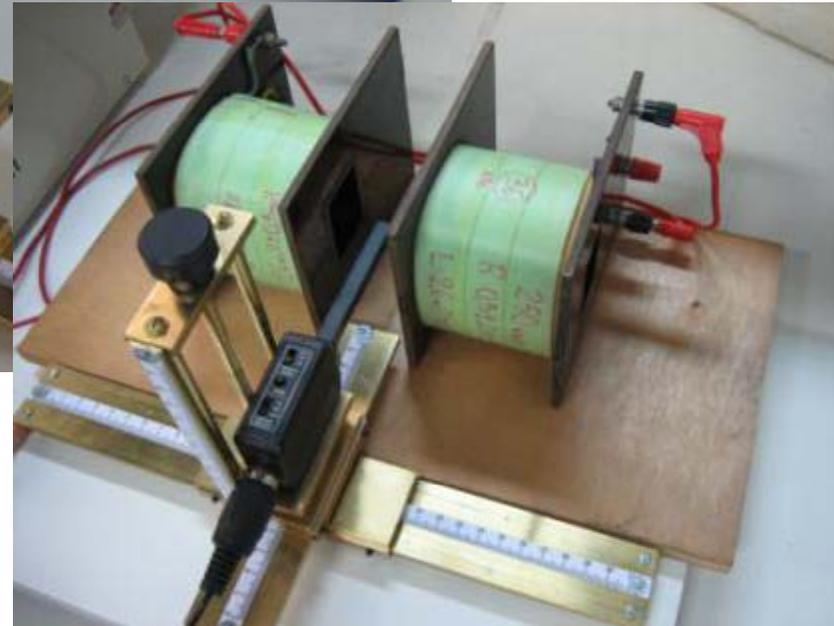
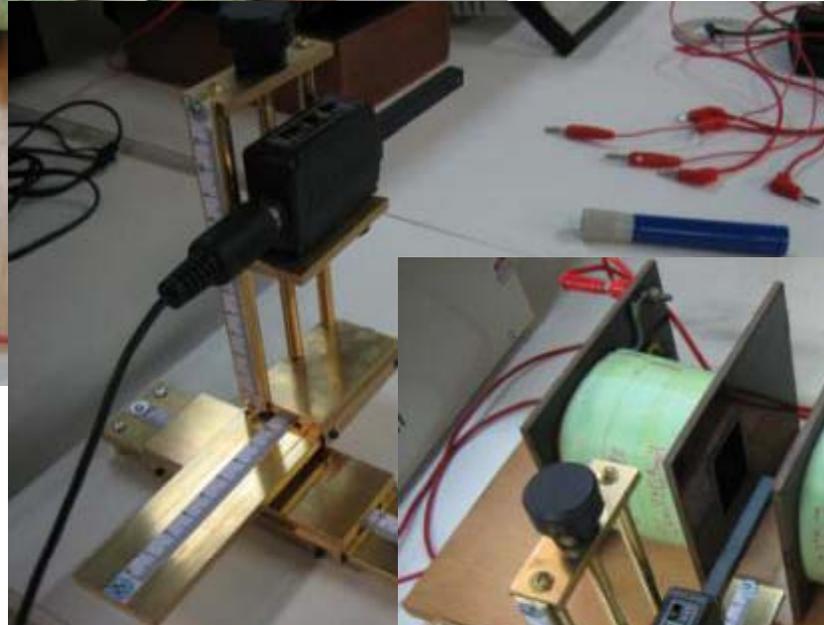
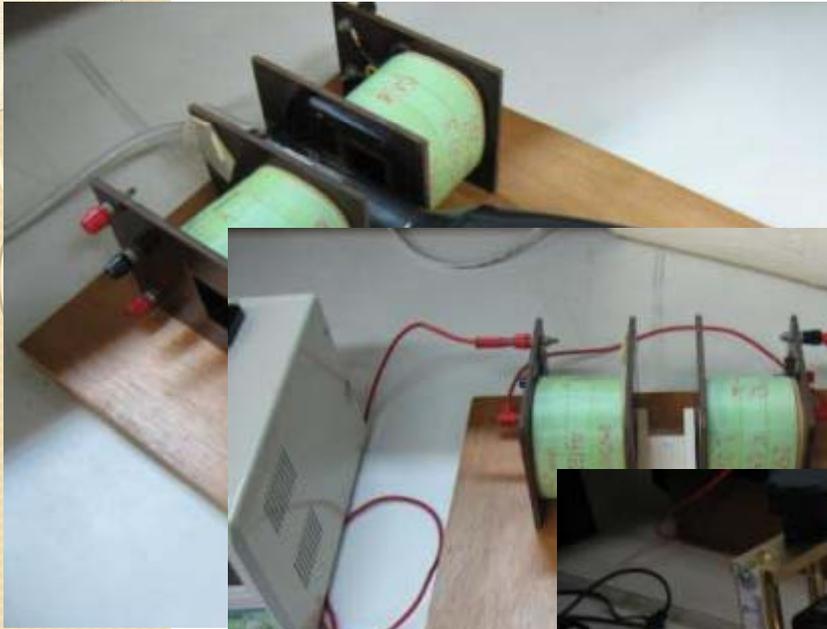


Arranjo experimental

- Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- Anotar número das bobinas e distância entre elas
 - Utilizar o suporte do TRC como referência
- Fiquem 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

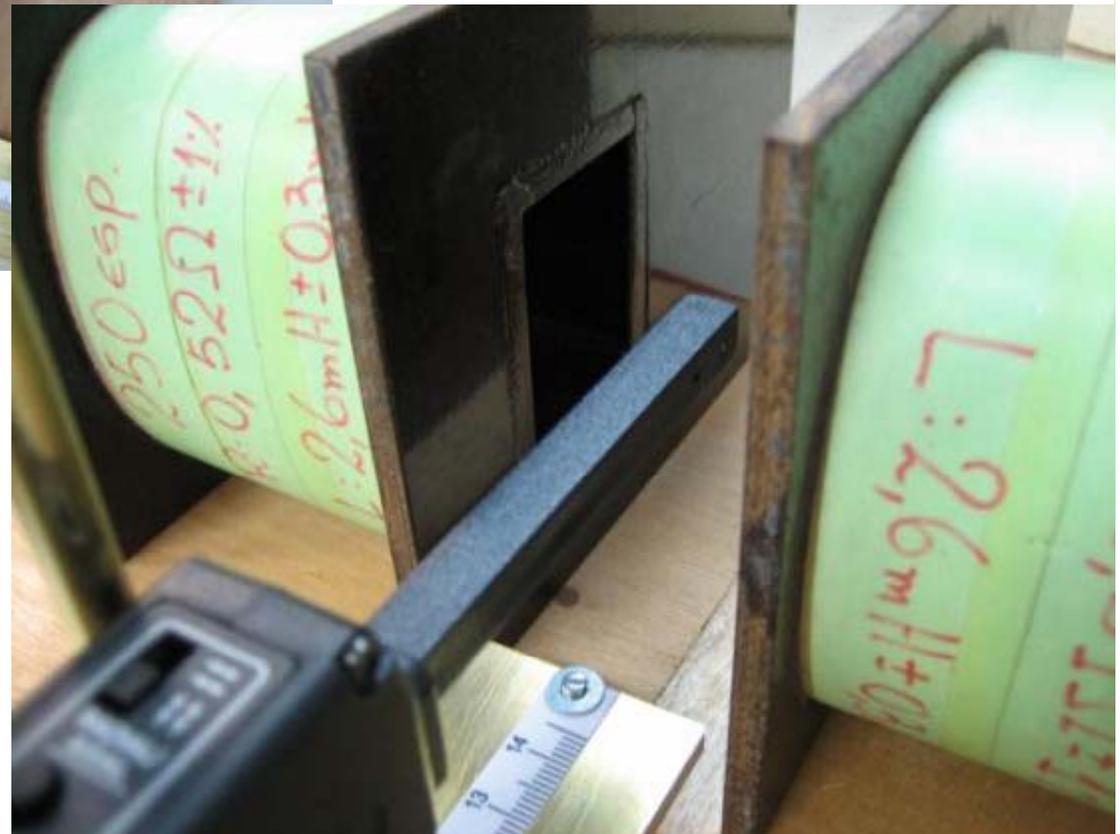
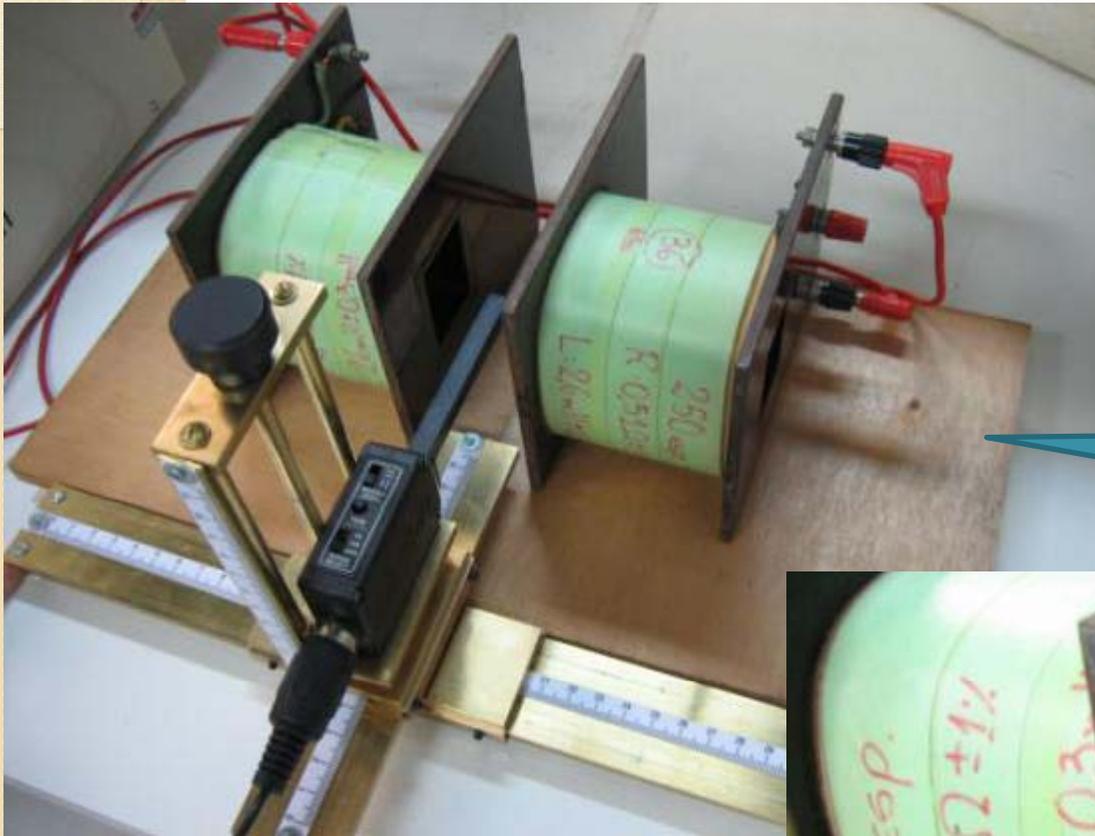


Na prática...



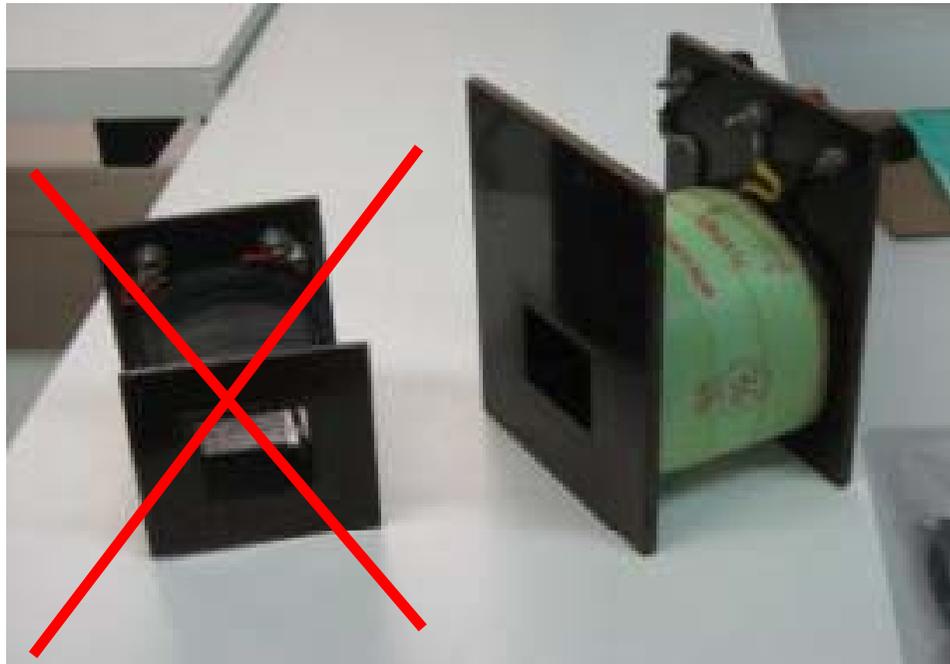
Na prática...

Suporte de madeira para poder centralizar o medidor Hall



Cuidado experimental

- Parear bobinas
 - Temos 3 tipos de bobinas
 - 100, 250 e 500 espiras
 - Usar o mesmo tipo pois senão o campo não será simétrico
- Usar bobinas grandes



Atividades da semana

- Fazer gráfico de B_T e B_L ao longo do eixo x .
 - Fixar y, z no centro entre as bobinas
- Fazer gráfico de B_T e B_L ao longo do eixo y .
 - Fixar x, z no centro entre as bobinas
- Fazer gráfico de B_T e B_L ao longo do eixo z .
 - Fixar x, y no centro entre as bobinas
- Fazer gráfico de B em função da corrente no centro entre as bobinas e verificar a dependência com a corrente
 - A dependência de B com i no centro é a mesma em todos os pontos? Porque?
 - Dica teórica: Olhe as equações de Maxwell

