



Física Experimental III

Notas de aula: www.fap.if.usp.br/hbarbosa

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

Experiência 2, Aula 5

Prof. Henrique Barbosa

hbarbosa@if.usp.br

Ramal: 7070

Ed. Basílio Jafet, sala 229



TAREFAS SEMANA PASSADA



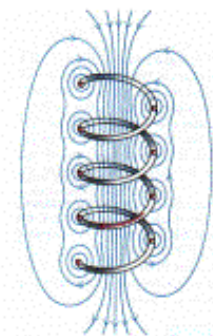
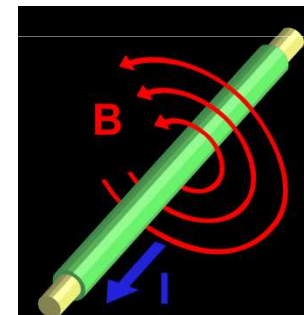
Comparar o campo mapeado com expectativa teórica

- Vamos resolver o problema teoricamente e comparar com os dados
 - Buscando coerências e entendimento!

- Como resolver o problema

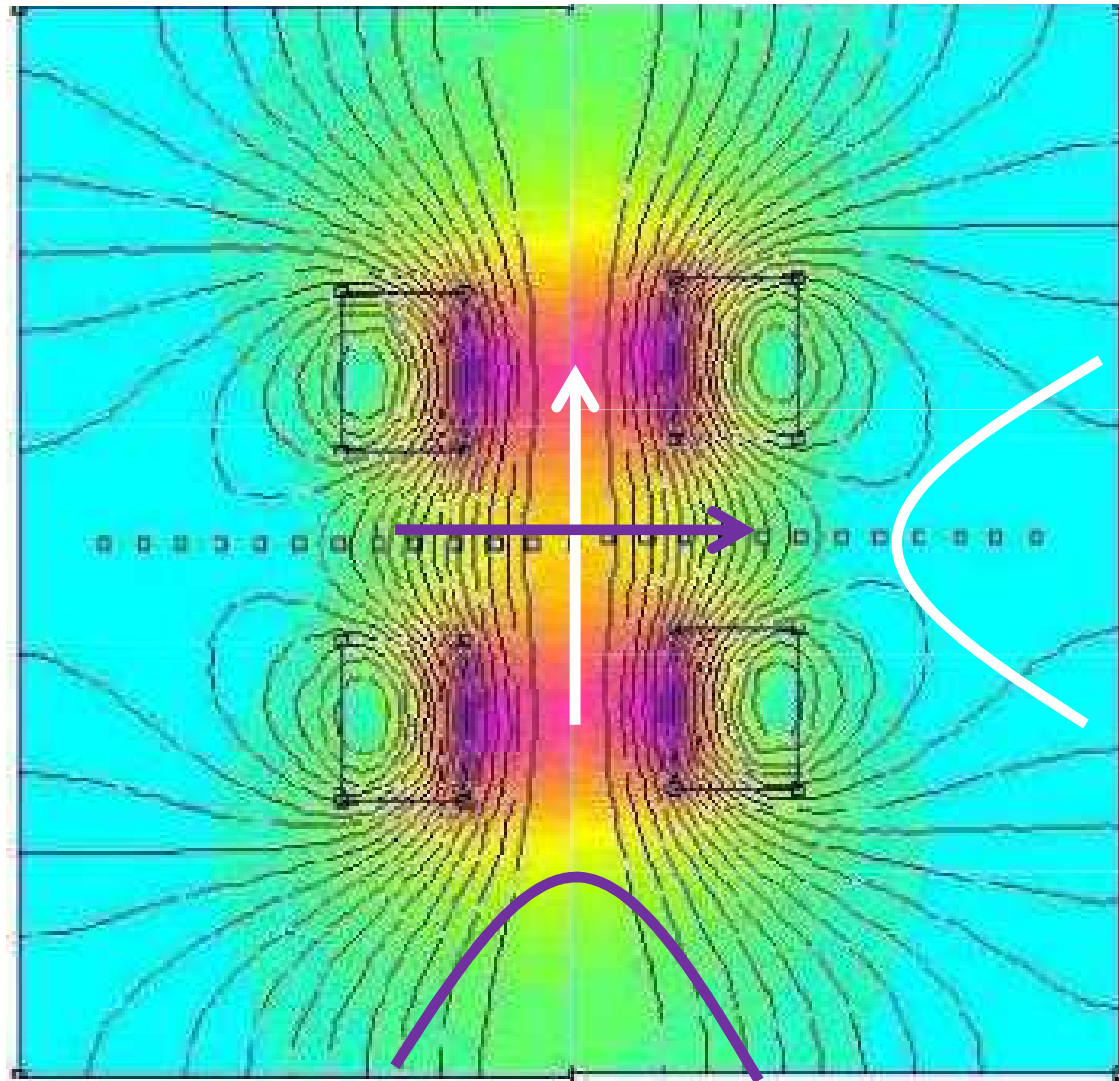
- Lei de Biot-Savart
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

- Lei de Amperè
$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

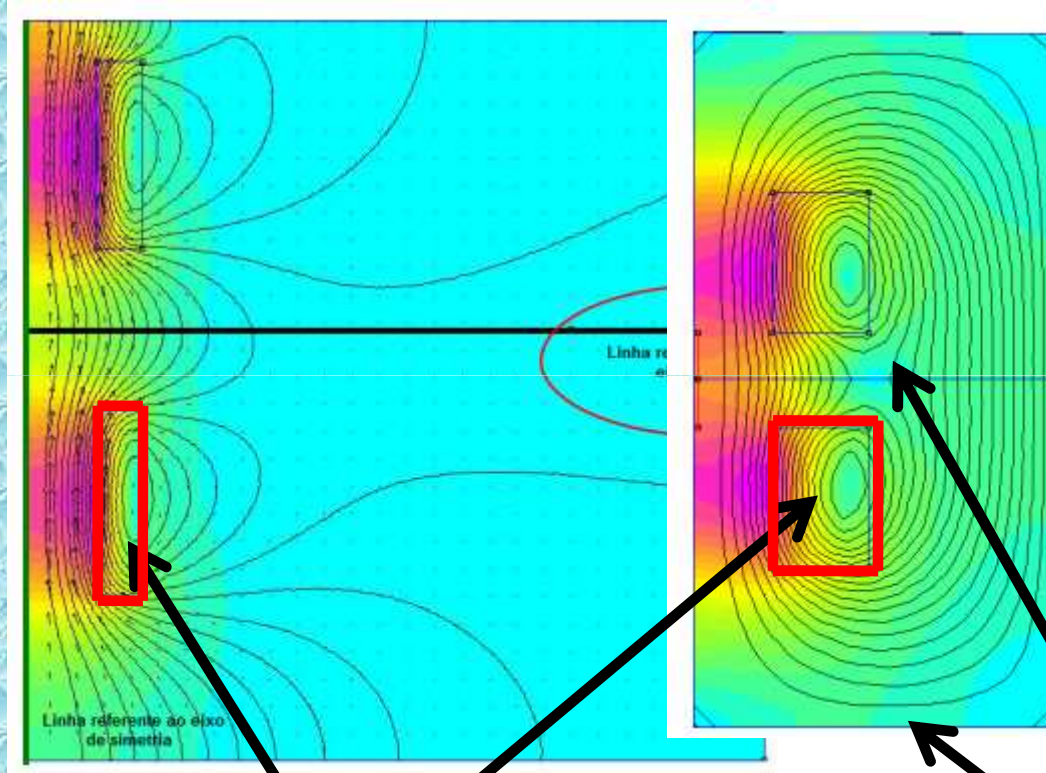


B-field due to a solenoid

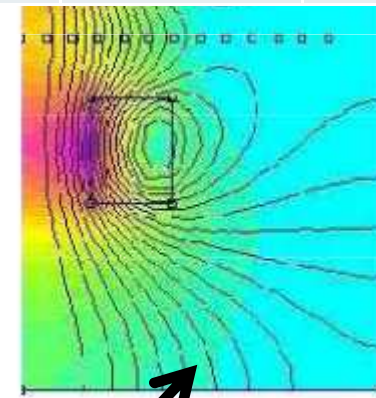
O que esperávamos...



Simulação com o FEMM



Comp. (cm)	Larg. (cm)	Dist. (cm)
6,80	1,8	5,92
7	0,8	



Dimensões da bobina

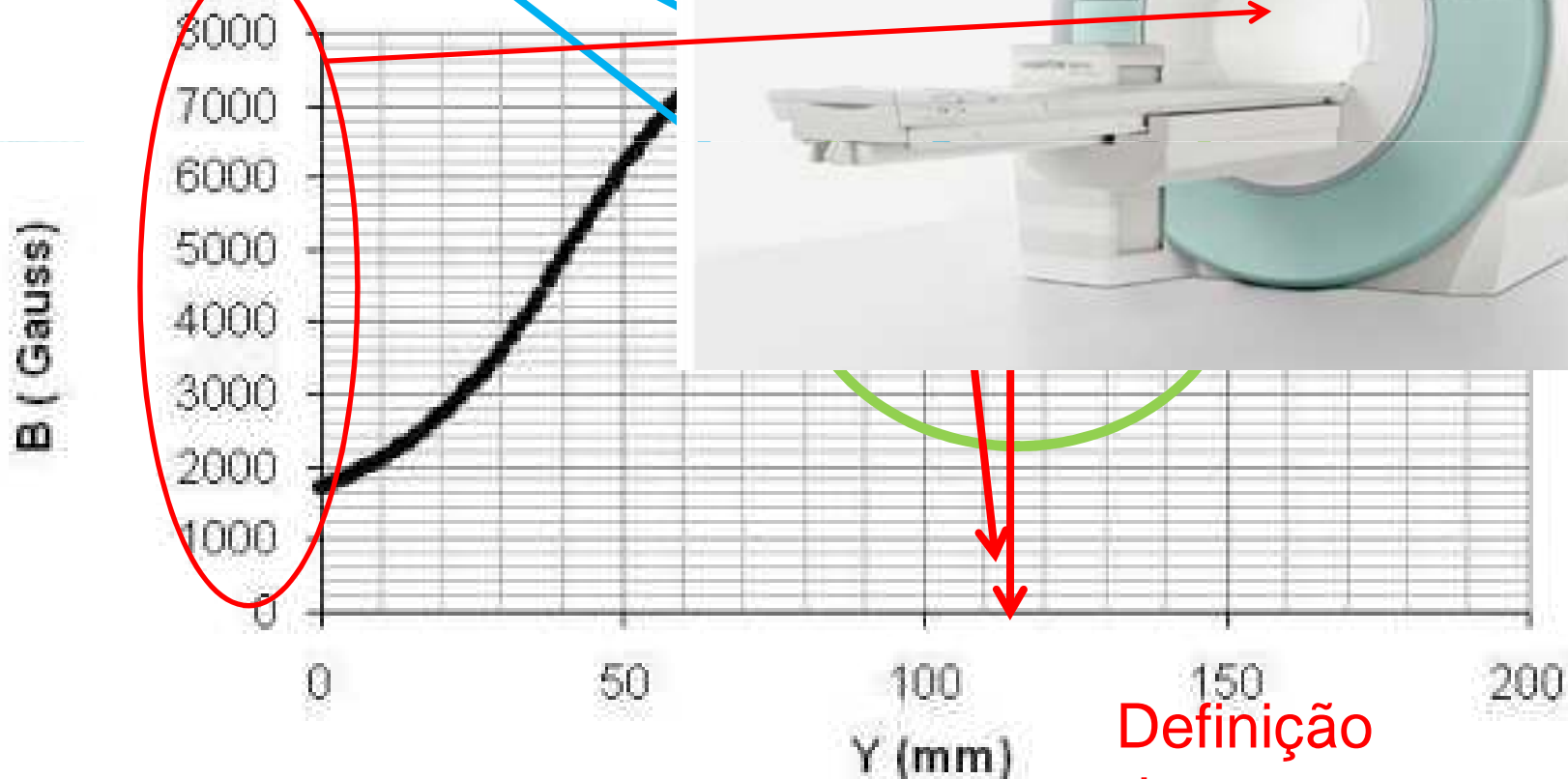
Condições de fronteira

The new equation in magnetic resonance imaging:
Magnetom Verio3 Tesla + 70 centimeters + Tim

Worldwide innovation on the MRI high-field market: 70 cm magnet bore for a 3Tesla system

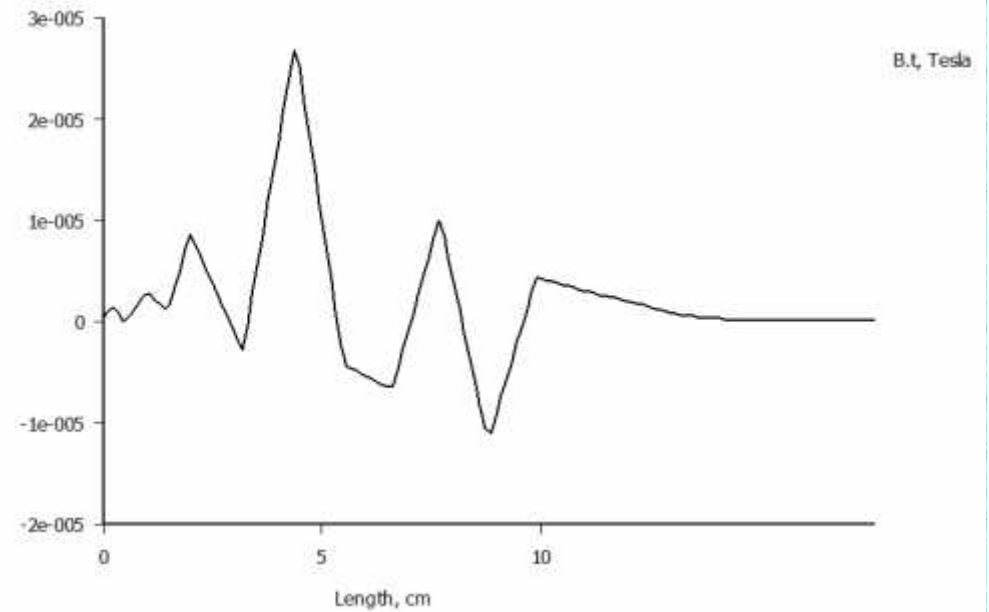
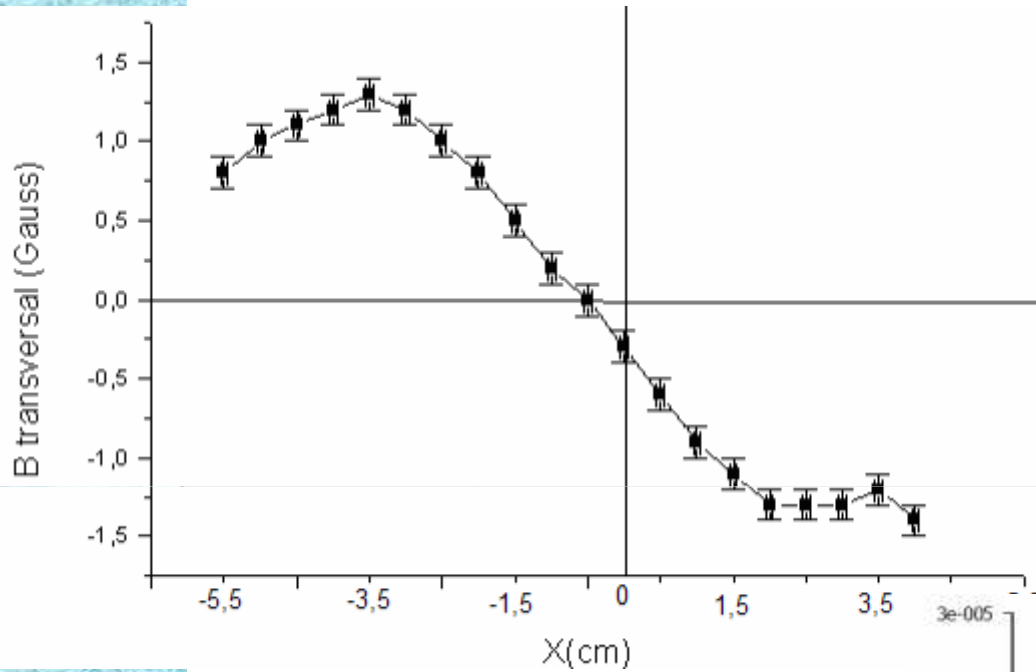
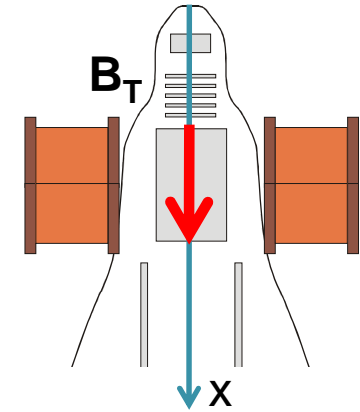
Campo em

Posição das bobinas

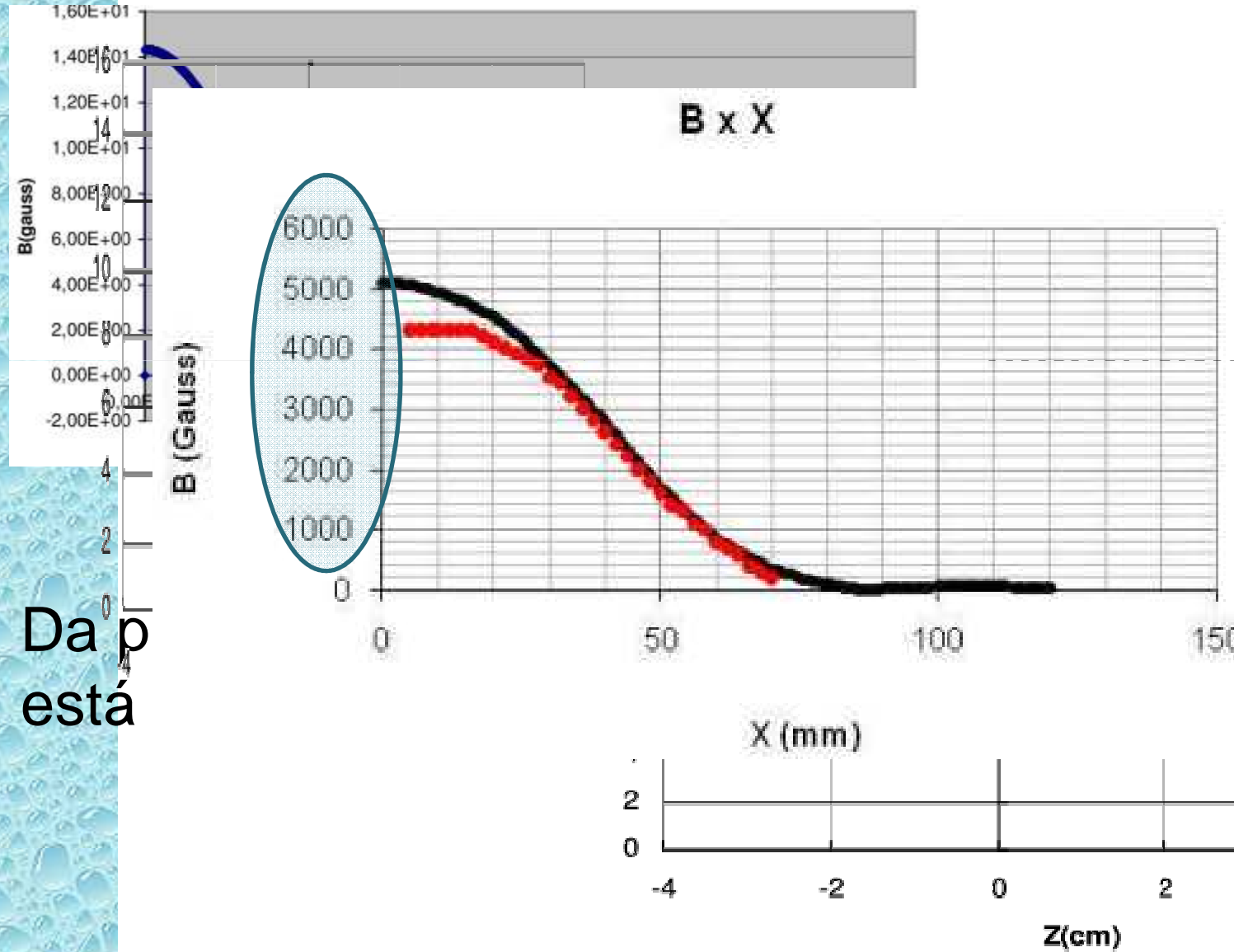
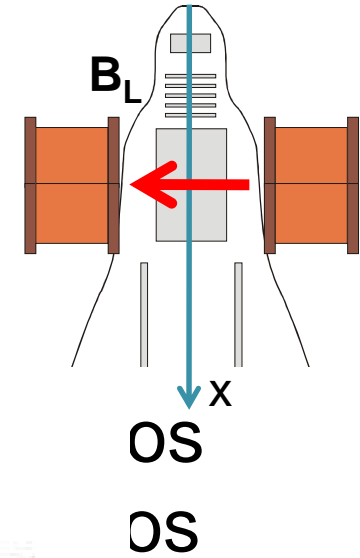


Definição do centro

Transversal em X



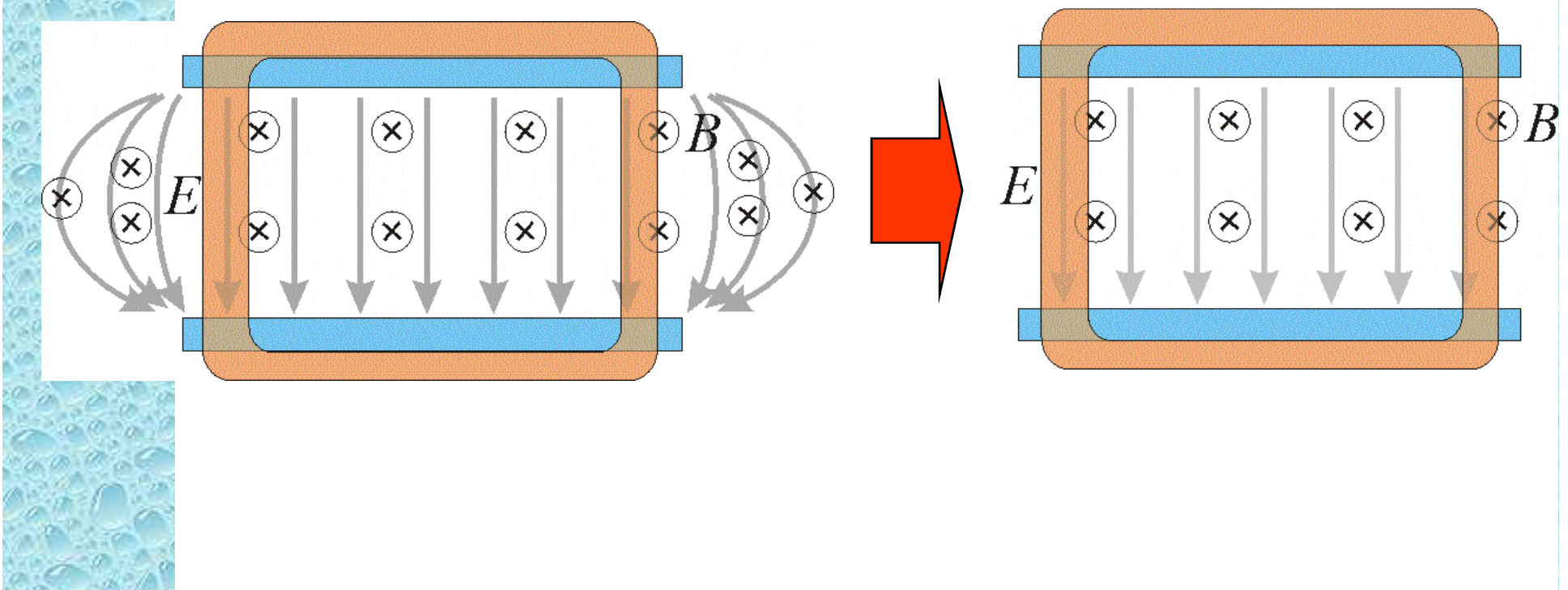
Longitudinal em X



Da p
está

O seletor de velocidades ideal

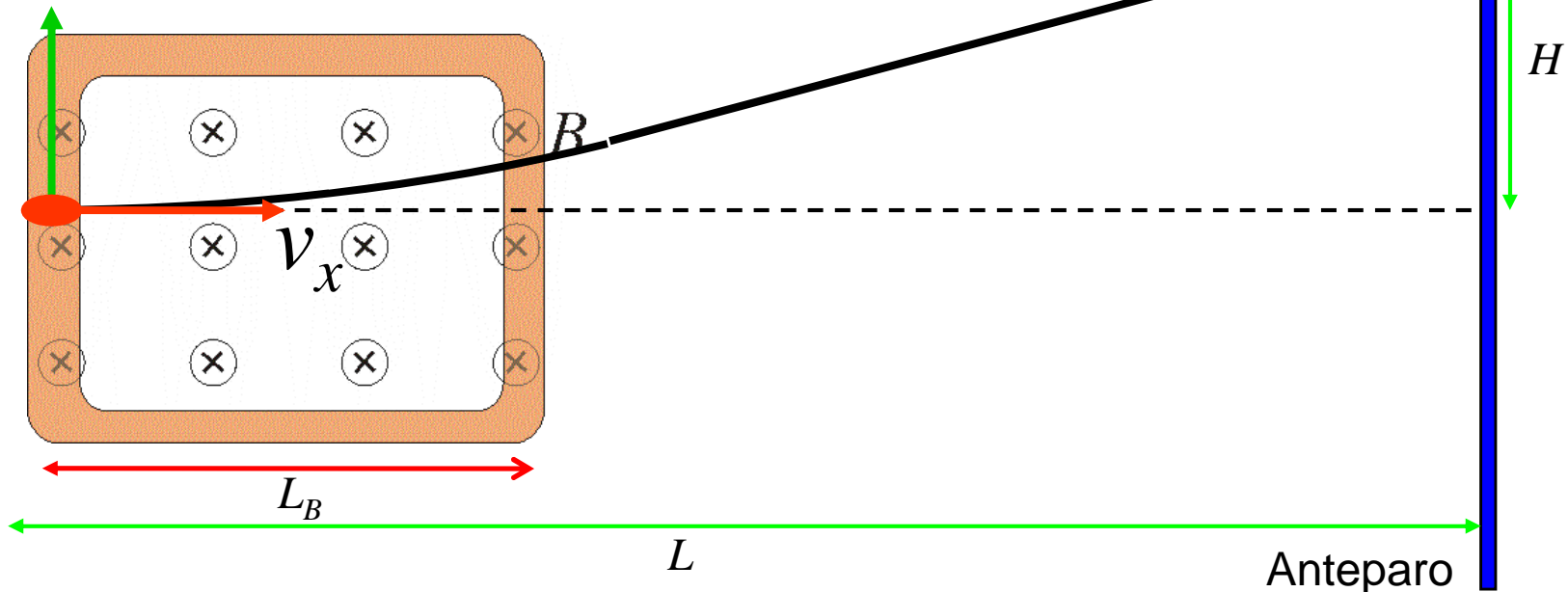
- Equipamento composto de um campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares), uniformes, contantes e superpostos



Movimento de uma partícula em campo magnético (semana passada)

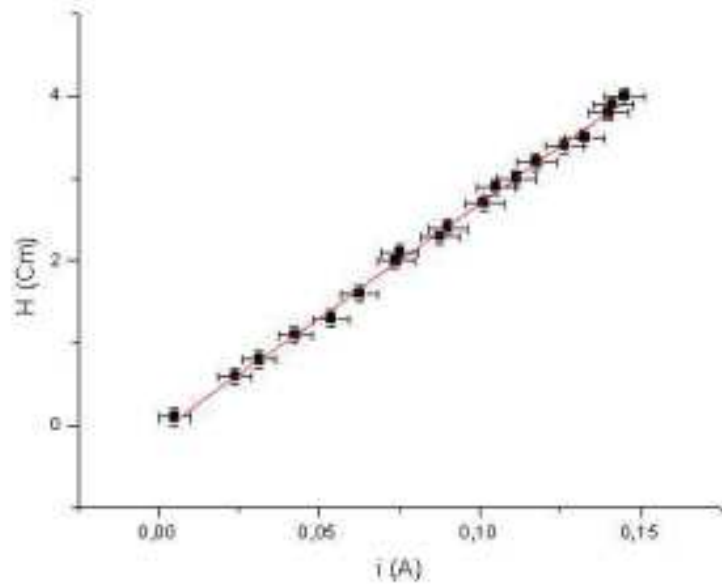
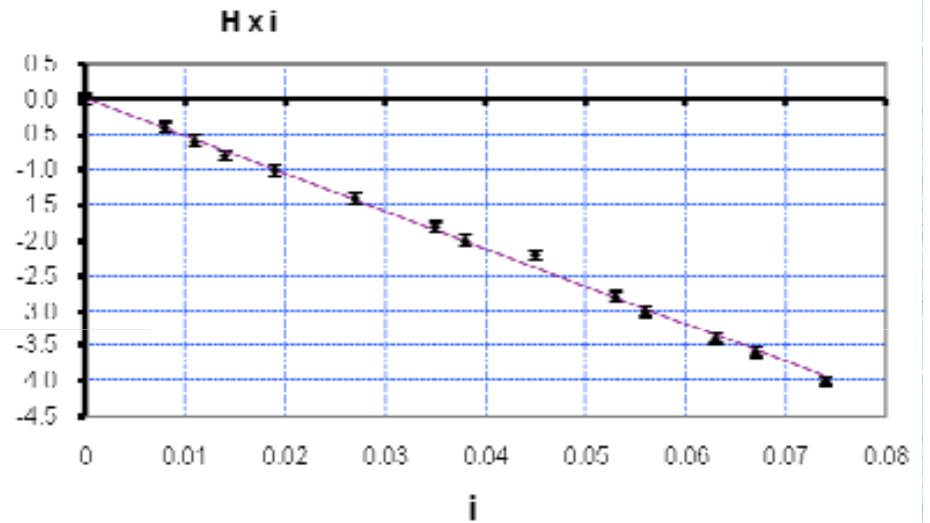
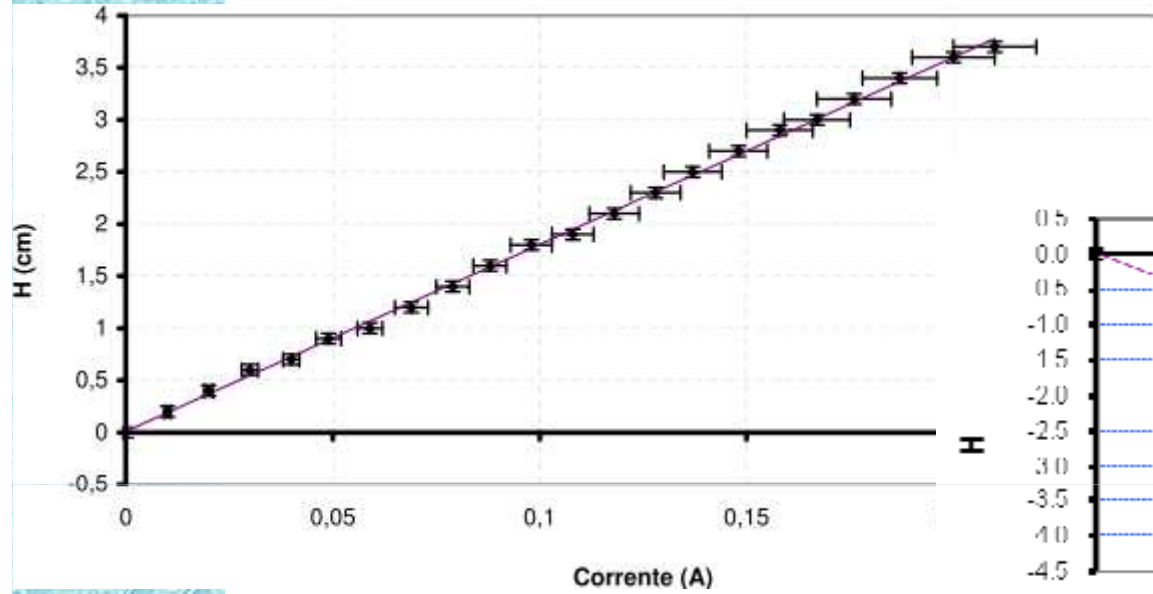
- Campo magnético uniforme e constante entre as bobinas e nulo fora das bobinas

$$H = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}} B = C \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$

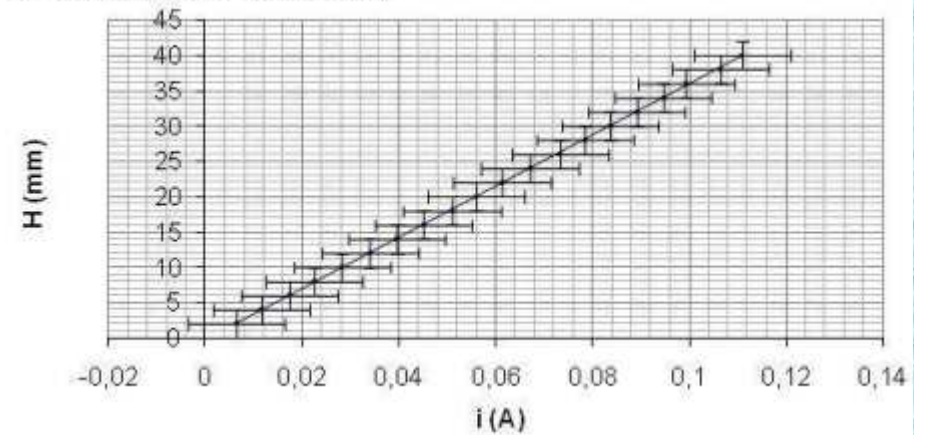




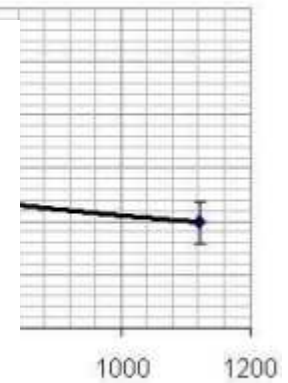
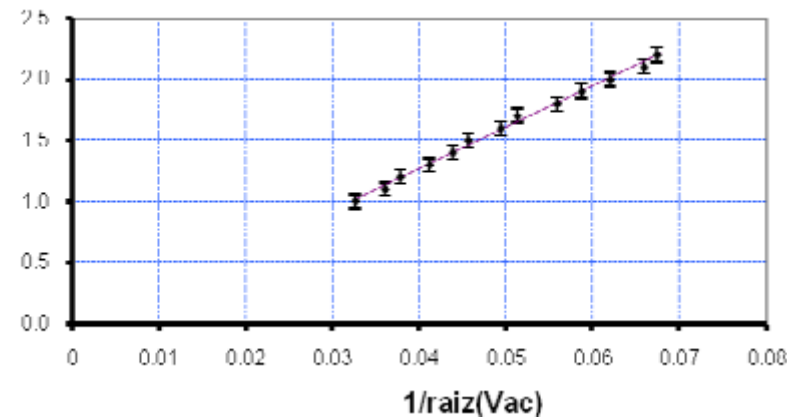
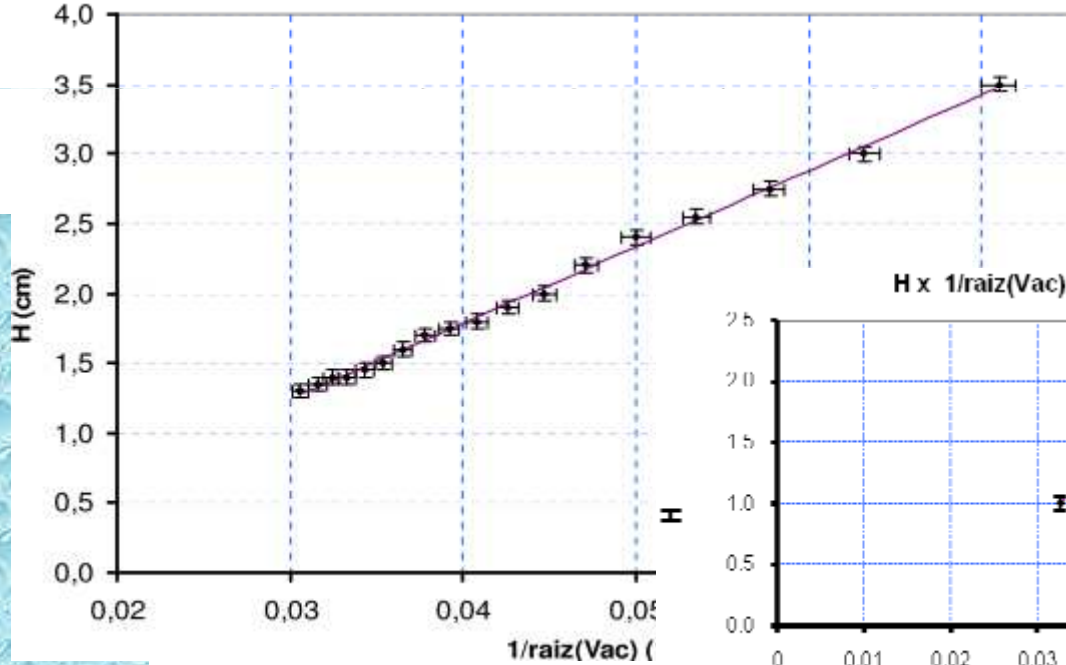
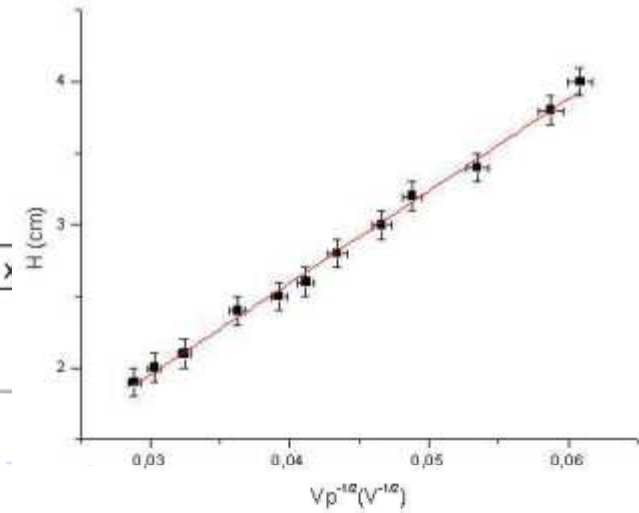
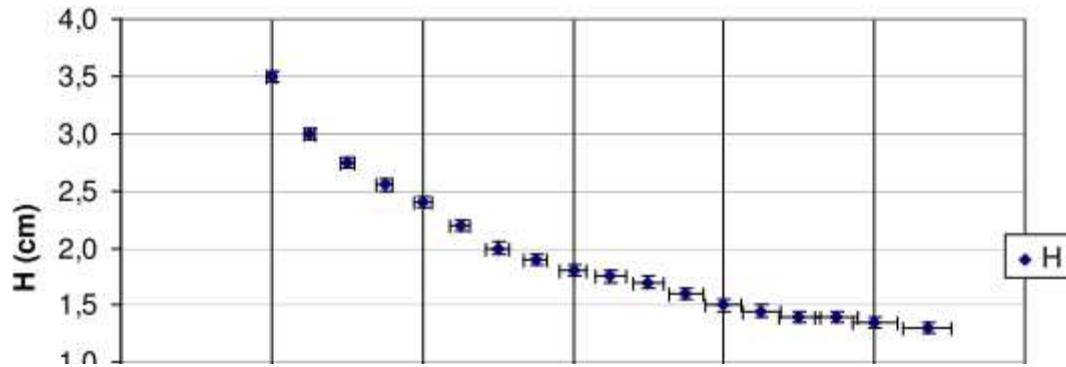
H x I



$$H = 362,02(\pm 3,51)i - 0,29(\pm 0,23)$$



H x Vac



Comprimento da bobina

$$H = C \frac{i}{\sqrt{V_{ai}}}$$

$$C = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q}{2m}} L_b L \beta$$

β (G/A)	C1 (Vac) cm V ^{0.5} A ⁻¹	C2 (i) cm V ^{0.5} A ⁻¹	L1 (cm)	L2 (cm)
1,29	597	611	123	126
31				
18,36	1338	1218	0,472	
0,34				
20,3	903	906	11,8	
1,3				
11,5				
11,3				
	257			
	1690	-1534		
	1713	-1557		

Esta Semana...

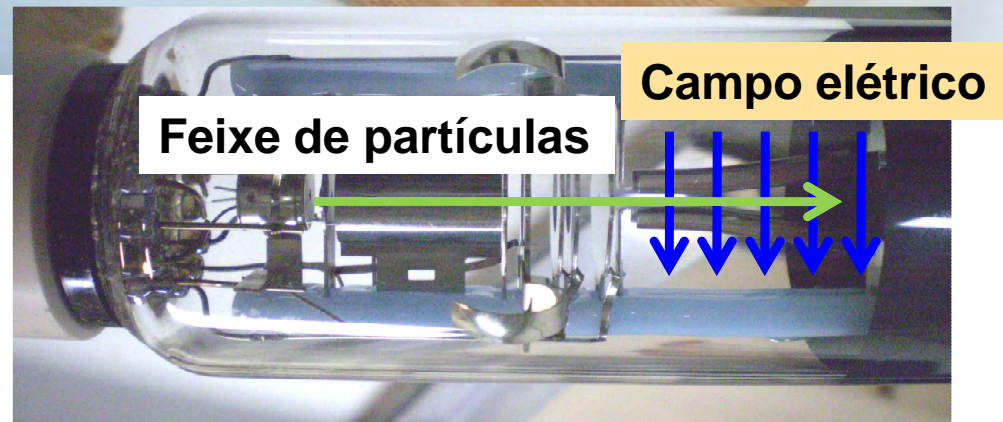
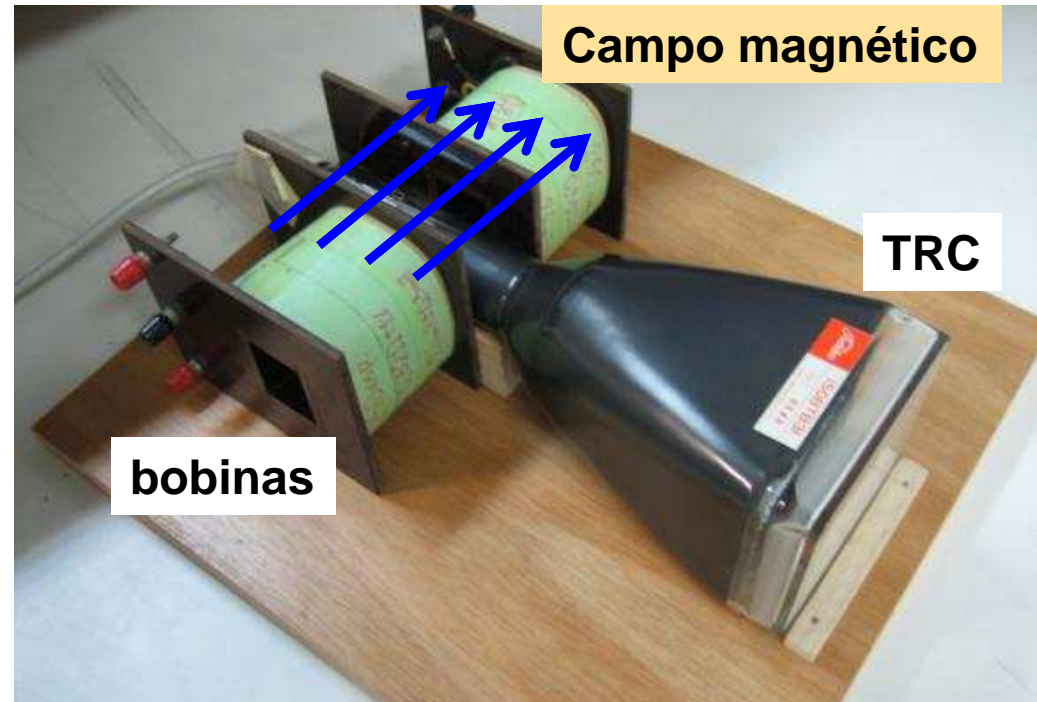


Metodologia adotada

- Resumo do experimento
 - ✓ **Aula 1** - Entender o campo elétrico. Medir o campo elétrico gerado. Quão próximo está o experimento de uma situação de campo ideal (uniforme)
 - ✓ **Aula 2** – Entender como as partículas (elétrons) se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior. FEMM
 - ✓ **Aula 3** - Entender a geração do campo magnético. Como medi-lo e como compará-lo com previsões teóricas.
 - ✓ **Aula 4** - Movimento dos elétrons no campo magnético gerado. FEMM.
 - **Aula 5 e 6** - Ligando o campo elétrico e magnético. Estudar o movimento das partículas no campo EM. Determinar comportamentos gerais do filtro de Wien. Caracterização deste filtro. Comparação com simulações.

O Seletor de velocidades

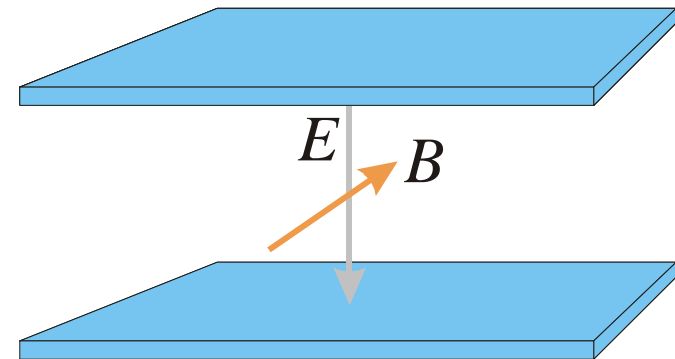
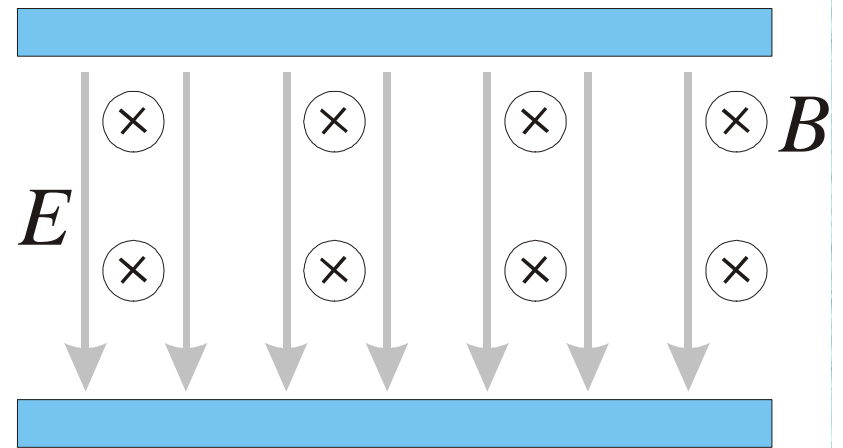
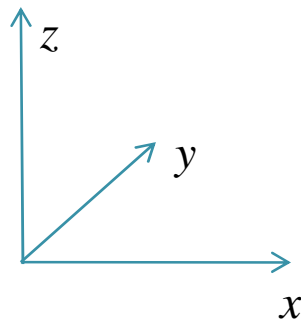
- TRC
 - Produz feixe de elétrons acelerados e propicia campo elétrico
 - Tela é o detector de partículas
- Bobinas
 - Campo magnético



Objeto de estudo: o Filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade **inicial** da partícula incidente

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



Movimento de uma partícula neste campo idealizado

- Vamos resolver o movimento dentro da bobina

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



$$\vec{v}_0 = v_{0x} \hat{i}$$

$$\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} + v_z \hat{k}$$

$$\vec{B} = B \hat{j}$$

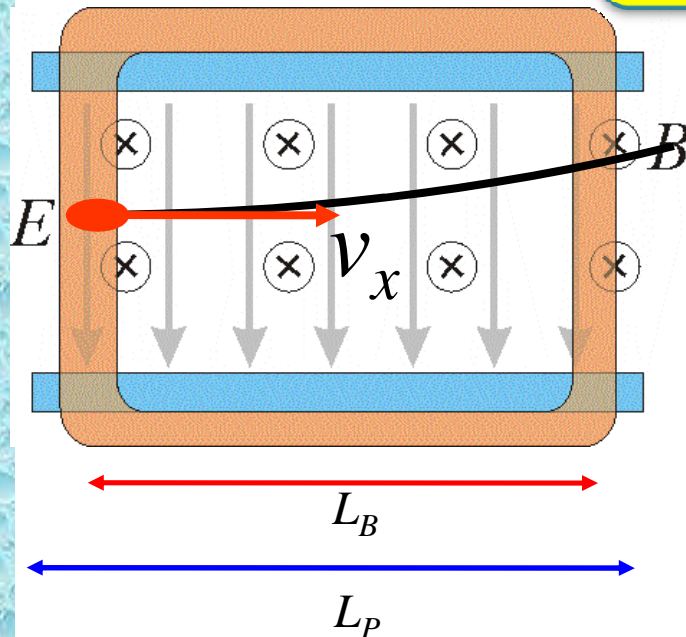
$$\vec{E} = -E \hat{k}$$

$$B(v_x \hat{k} - v_z \hat{i})$$



$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(v_x B - E) \hat{k} - qBv_z \hat{i}$$

Precisamos resolver?



Vamos olhar de perto este seletor

- Qual é a condição na qual a partícula não sofre desvio?

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(v_x B - E) \hat{k} - qBv_z \hat{i}$$

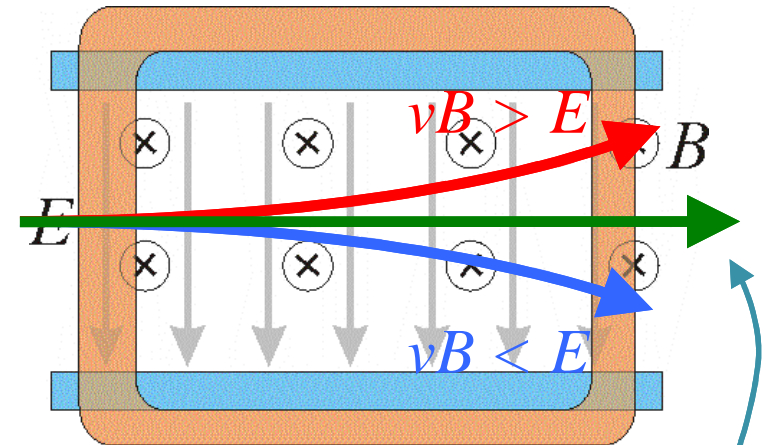
- Condição de força resultante nula:

v_z inicial é nula. Se não houver força na componente k isto não muda

$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

$$\vec{F} = q(v_x B - E) \hat{k} - qBv_z \hat{i} = 0$$

$$v_{0x} B - E = 0 \quad v_{0x} = \frac{E}{B}$$



Se a velocidade da partícula for igual à razão entre campo elétrico e magnético o desvio sofrido é nulo

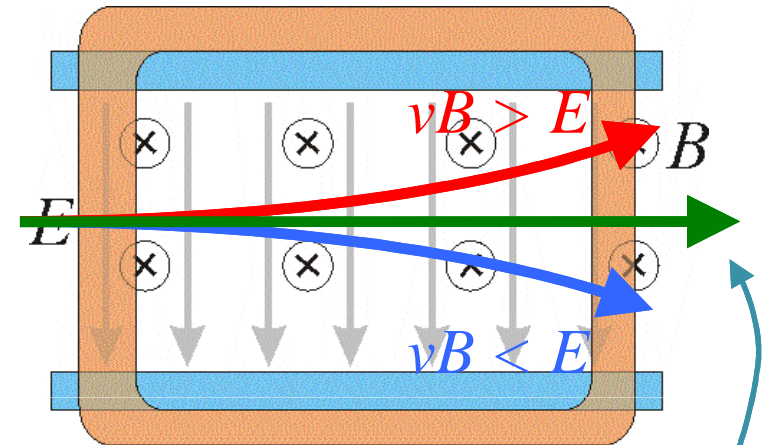
Vamos olhar de perto este seletor

- Mas também podemos pensar em cada movimento separadamente
- Já estudamos que a deflexão devido ao campo elétrico (apenas) vale:

$$h_E = \frac{qL_P E}{mv_{0x}^2} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right)$$

- E a deflexão devido ao campo magnético vale:

$$H_B = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}} B$$



$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

Vamos olhar de perto este seletor

- Na situação que não há desvio da partícula, um movimento compensa o outro e assim:

$$h_E = H_B$$

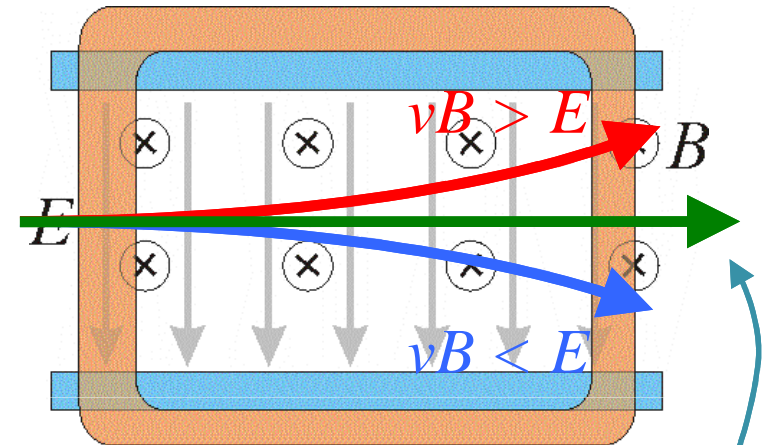
- Ou seja:

$$\frac{qL_P E}{mv_{0x}^2} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}} B$$

$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- Assim:

$$v_{0x} = \frac{2L_P}{L_B L} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) \frac{E}{B}$$



Vamos olhar de perto este seletor

- Mas nós sabemos, pelas equações de movimento, que a velocidade de filtro é:

$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

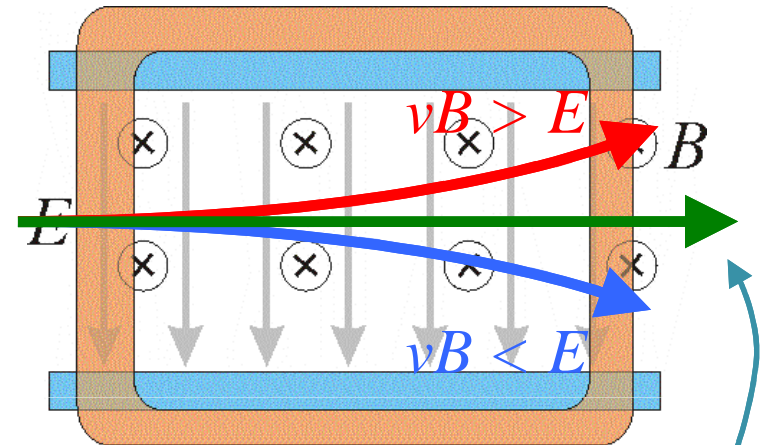
- Sabendo que:

$$v_{0x} = \frac{2L_P}{L_B L} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) \frac{E}{B}$$

$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- Para que o nosso modelo seja válido precisamos que:

$$k = \frac{2L_P}{L_B L} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) \sim 1$$



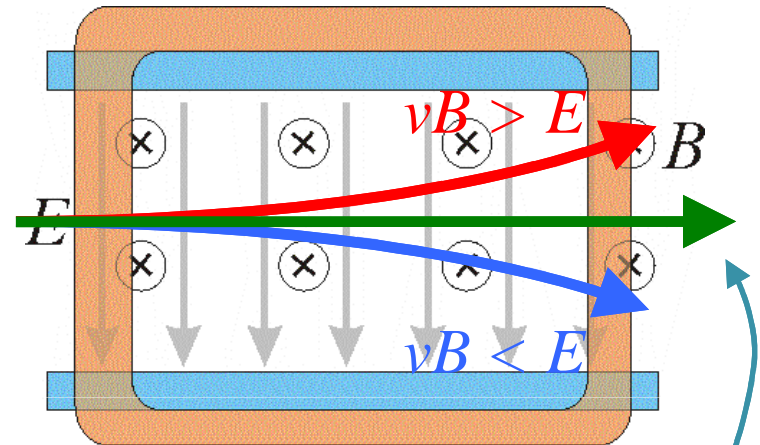
Calibração do seletor de velocidades

- Primeiramente precisamos verificar se o nosso modelo de campos ideais se aplicam. Neste caso, a partir dos dados das semanas anteriores, obter o valor de k e checar se:

$$k \sim 1$$

- Nós sabemos também que o campo elétrico é $v_{0x} = \frac{E}{B}$ proporcional à tensão entre as placas e que o campo magnético é proporcional à corrente nas bobinas, ou seja:

$$E = \frac{V_P}{d}, \quad B = \beta i$$



Calibração do seletor de velocidades

- Ou seja, para a velocidade de filtro, sem desvio:

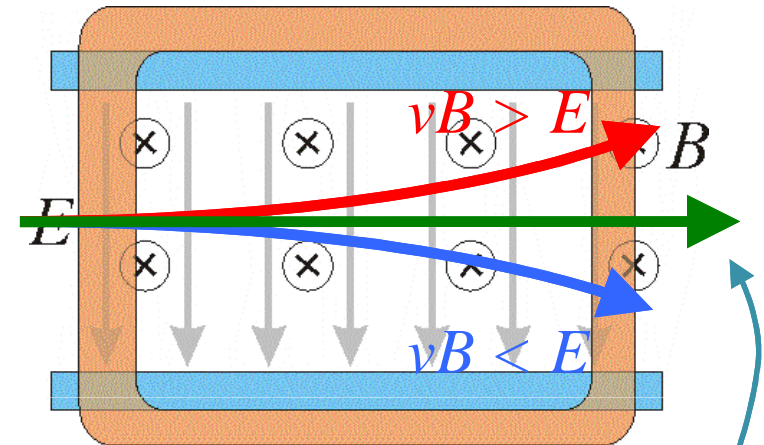
$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- Podemos fazer que:

$$v_{0x} = \frac{1}{\beta d} \frac{V_P}{i}$$

- Ou seja:

$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$



$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

Selecionamos as velocidades apenas controlando V_p e i
Só vale para a partícula que passa reto

Objetivos da semana

- Verificar se o nosso modelo de campos ideais se aplicam. Neste caso, a partir dos dados das semanas anteriores, obter o valor de k e checar se:

$$k = \frac{2L_P}{L_B L} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) \sim 1$$

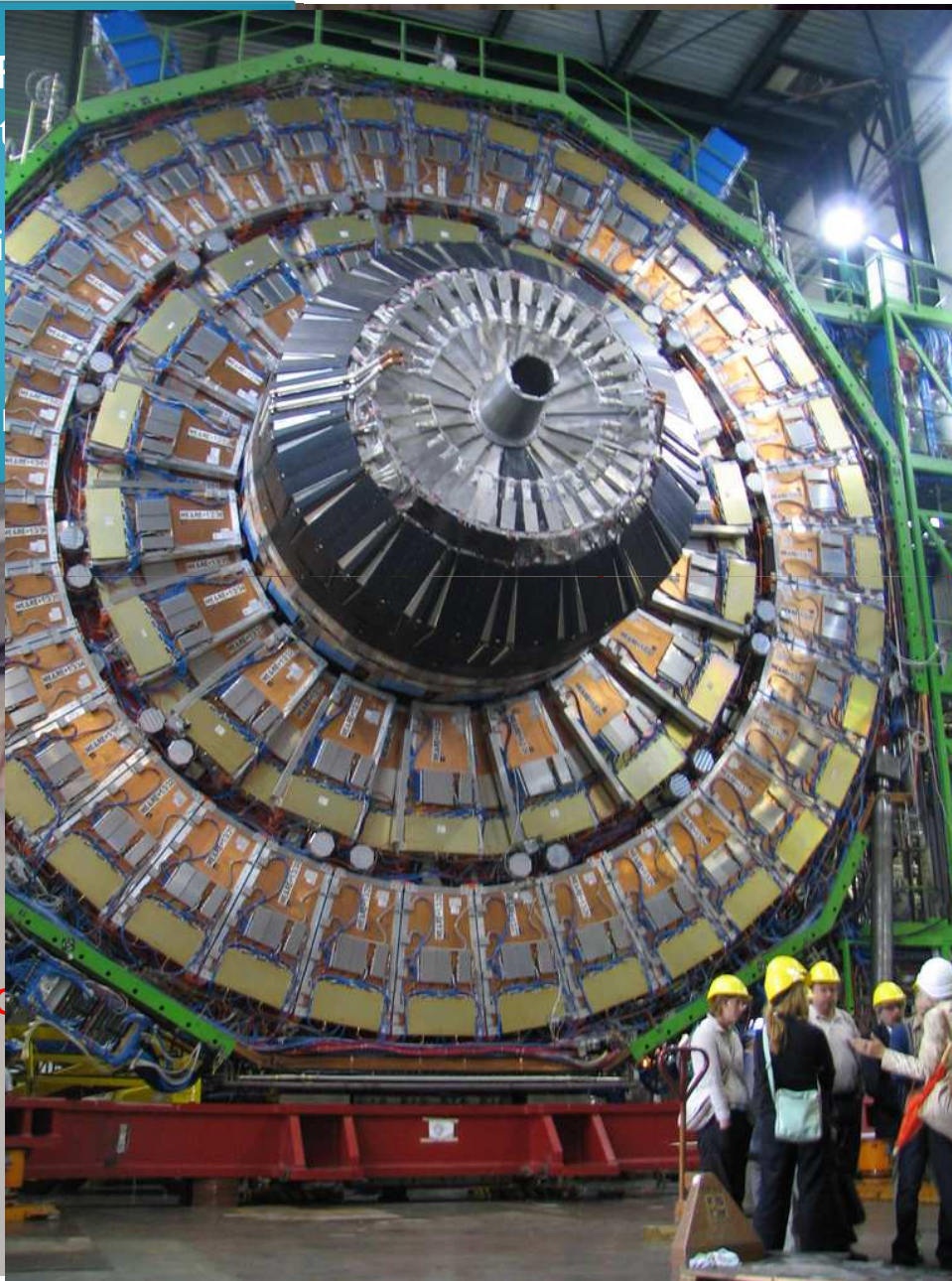
- Calibrar o seletor de velocidades. A partir da relação:

$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

- Determinar a constante α . Sabendo que $\alpha = 1/\beta d$, obter o valor de d e comparar com os resultados obtidos há duas semanas

O Seletor de velocidades

IMPOR
O circui
montado
que o movi
ao campo
no sentido
campo



rolo TRC

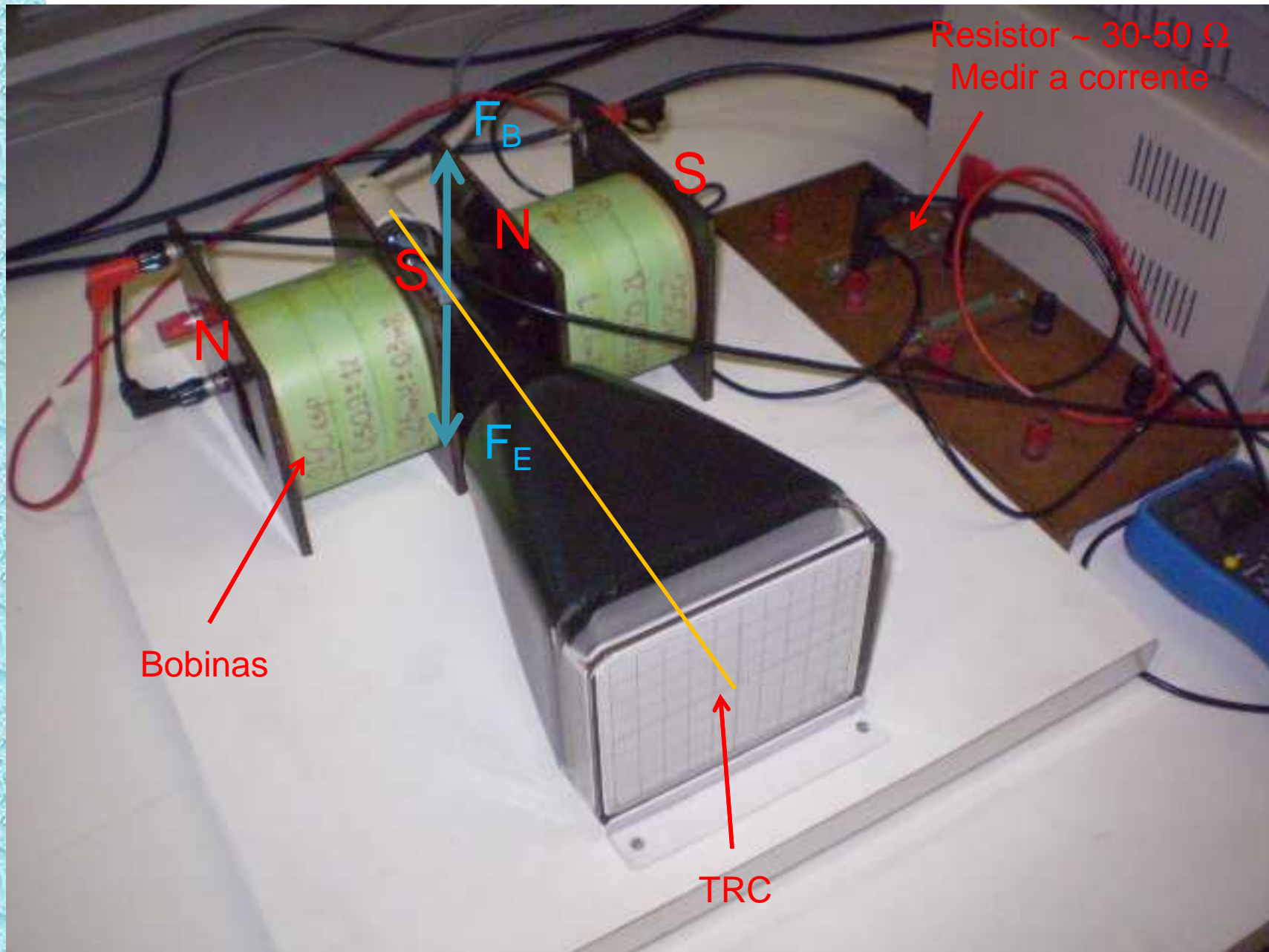
Corrente bobinas

Tensão nas placas

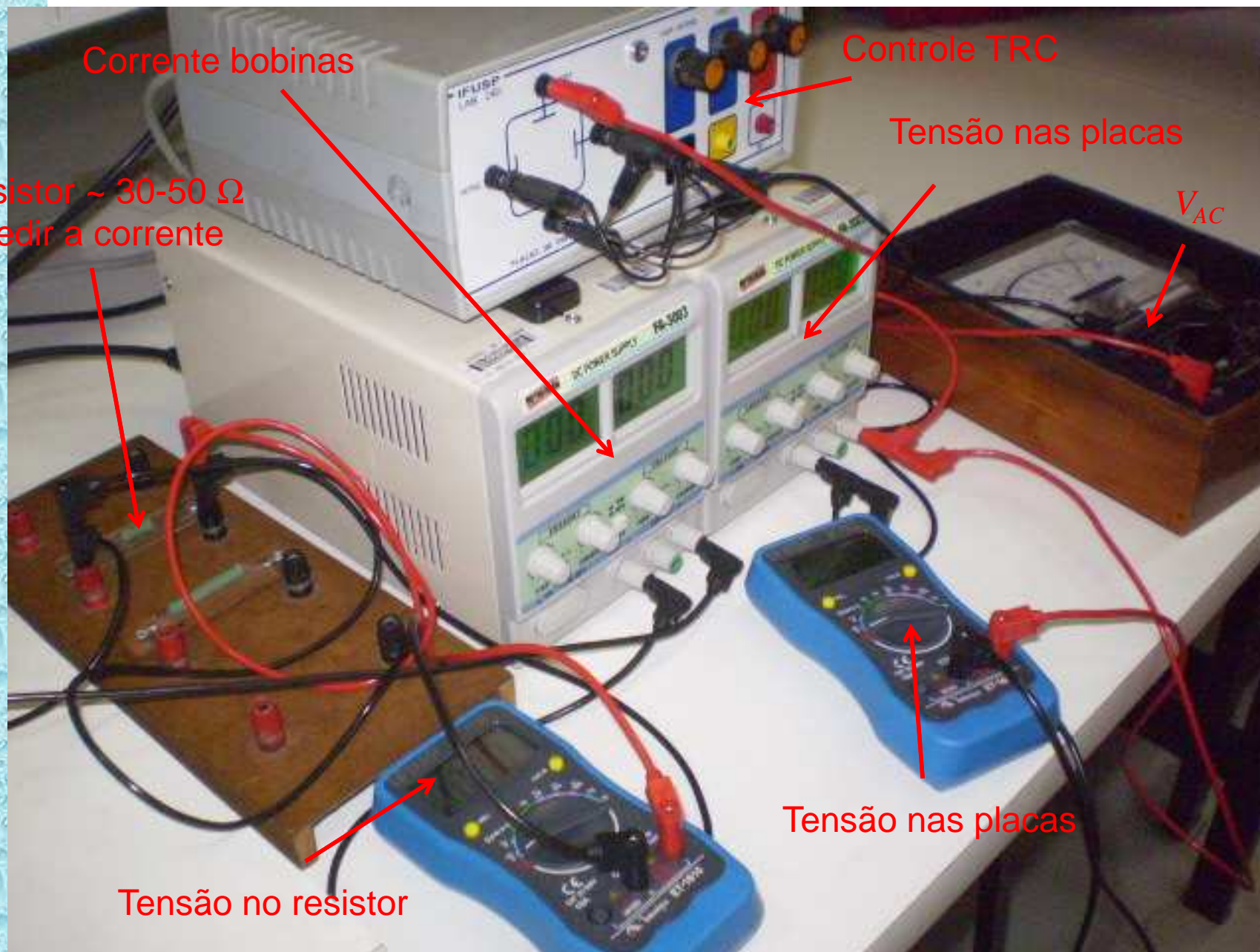
V_{AC}

Tensão nas placas
resistor

O Seletor de velocidades

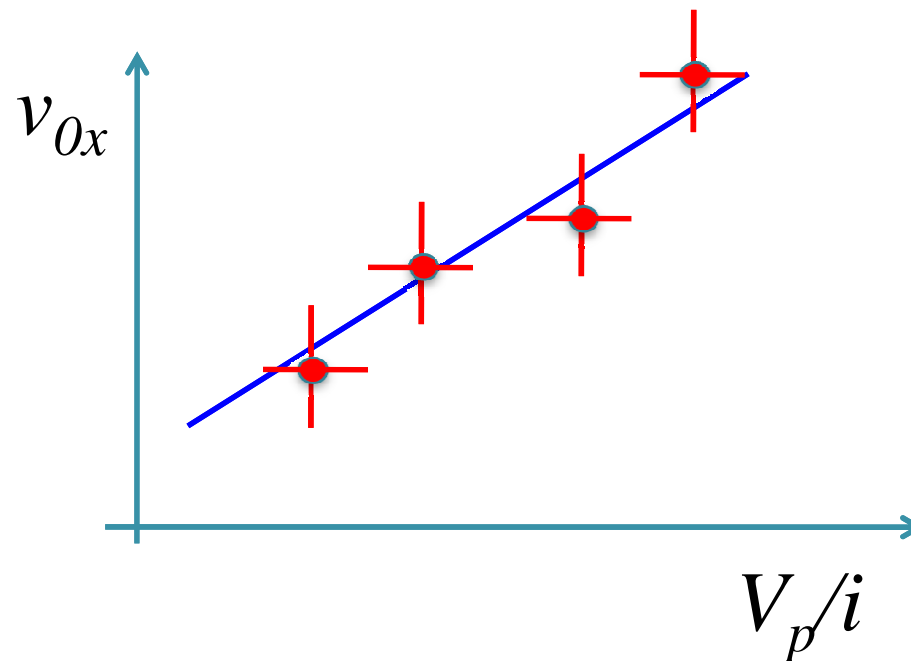


O Seletor de velocidades



Como calibrar o seletor e obter α ?

- Precisamos fazer o gráfico



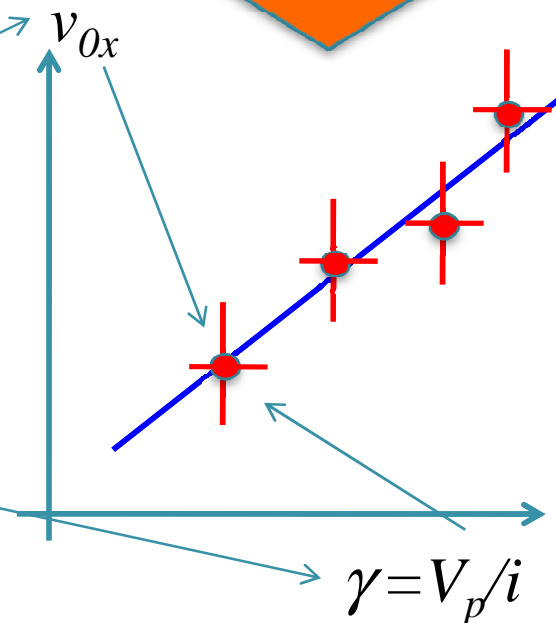
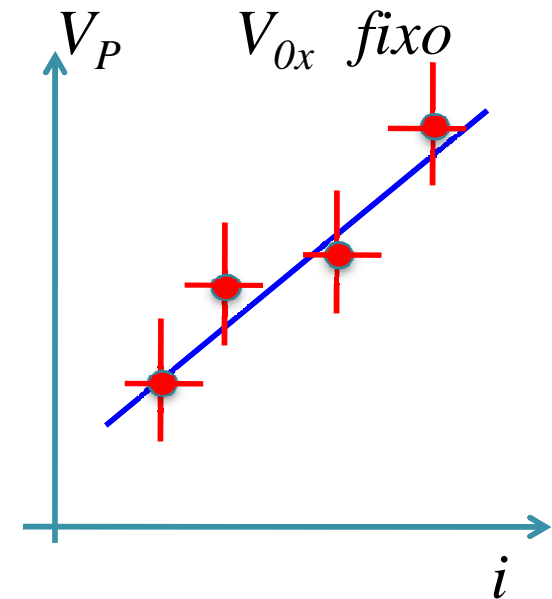
$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

- Como obter cada ponto do gráfico de forma precisa?

IMPORTANT!

Procedimento

1. Selecione uma tensão de aceleração (V_{AC}) e obtenha v_{0x} .
2. Com tensão entre as placas NULA ($V_P = 0$)
 1. Ajuste a corrente (i) para que o deslocamento devido ao campo magnético seja 1 cm . Meça i .
 2. Ajuste a tensão entre as placas para compensar este deslocamento e voltar a partícula para a origem. Meça V_P .
 3. Repita os passos 1-2 para $h=1, 2, 3$ e 4 cm .
 4. Faça o gráfico de V_P em função de i para estes dados.
 5. O coeficiente angular obtido é o valor $\gamma = V_P/i$ para o v_{0x} selecionado.
3. Repita os passos acima para, pelo menos, mais 3 valores de v_{0x} (V_{AC}) e faça o gráfico ao lado
 1. Total de pelo menos 4 pontos



IMPORTANTE!

Atividades da semana

- Verificar se a aproximação teórica para o seletor se aplica
 - Calcular a constante k e verificar se a ordem de grandeza é próxima de 1. Discutir os resultados.
- Calibrar o seletor de velocidades
 - Obter a constante α que relaciona a velocidade de filtro com a tensão entre as placas e a corrente nas bobinas
 - Gráficos ajustados de V_P em função da corrente para cada v_{0x} .
 - Gráfico ajustado de v_{0x} em função de V_P/i obtido dos ajustes acima.
 - Obtenha a distância efetiva entre as placas (d) e compare com valores obtidos anteriormente.
 - Discuta os resultados obtidos.

IMPORTANT!

Síntese e Relatório

- Verifiquem as unidades
- Escrevam todos os valores que entram em uma fórmula
- ... E façam as contas com estes valores:

$$C_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q}{2m}} L_b L \beta = \sqrt{V_{ac}} \cdot \text{cte de ajuste linear}$$

$$L_b = \sqrt{V_{ac}} \cdot \text{cte} \sqrt{\frac{2m}{q}} \frac{2}{L\beta}$$

$$= \sqrt{1065V} 27.75cmA^{-1} \sqrt{\frac{2 \cdot 9.1 \times 10^{-31} kg}{1.6 \times 10^{-19} C}} \frac{2}{25.45cm \cdot 20.3GA^{-1}}$$

$$= 0.12m$$