



Física Experimental III

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

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

Aula 9

Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

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 teoricamente?

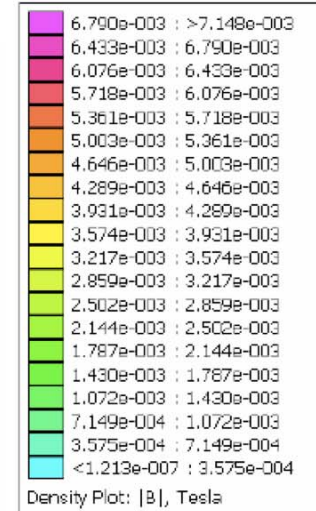
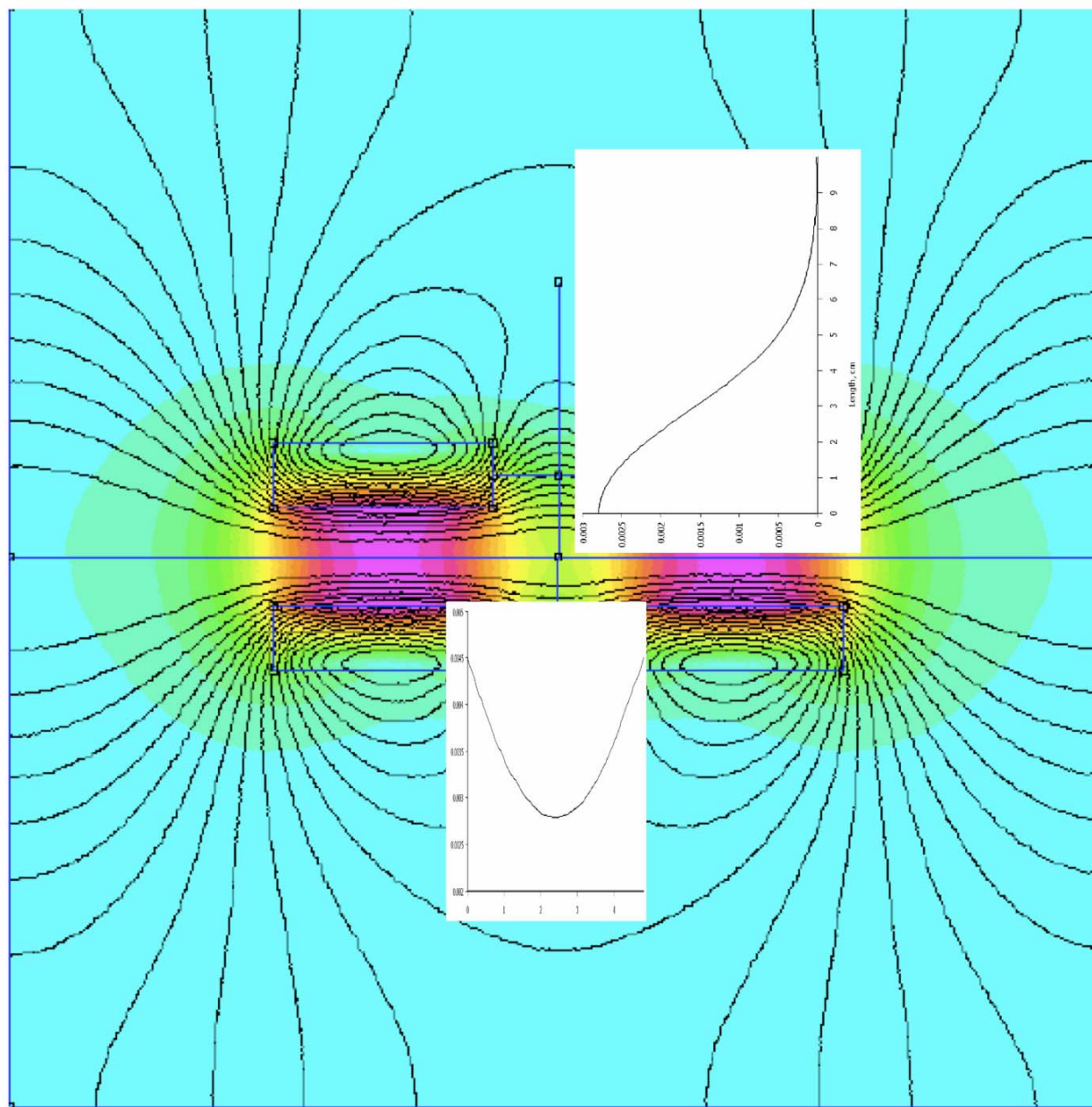
- Lei de Biot-Savart

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

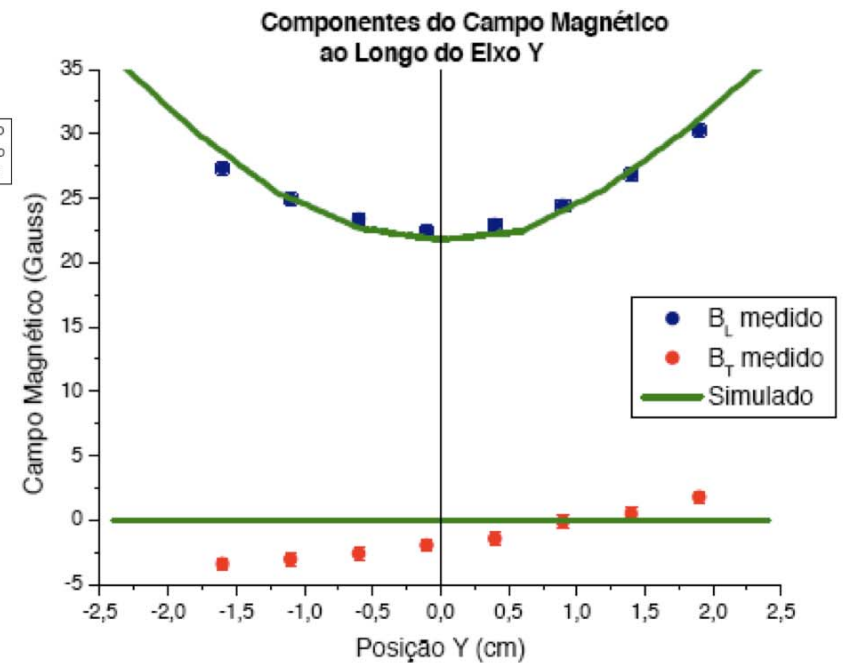
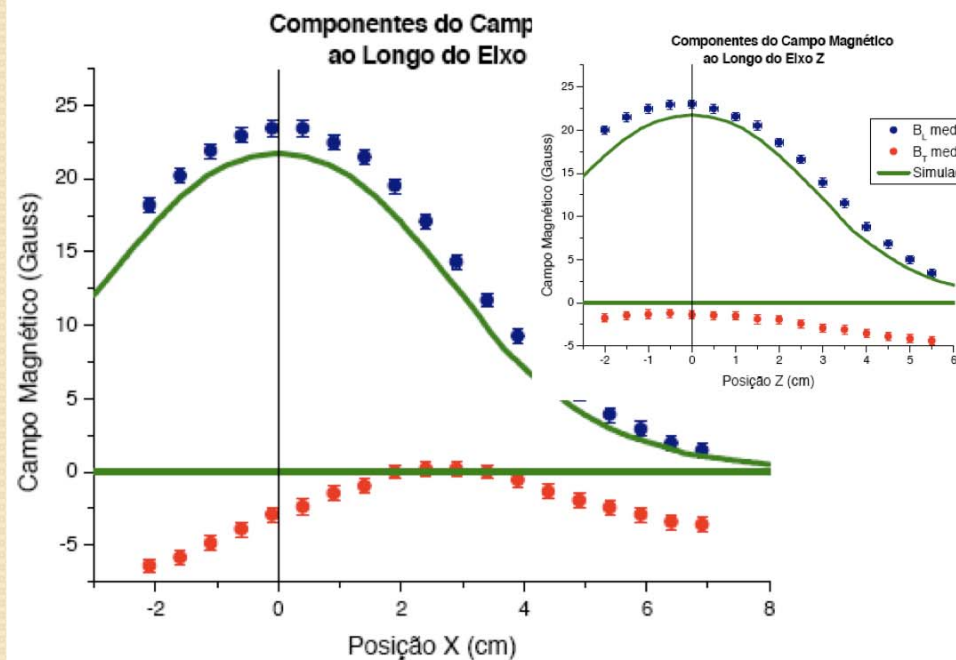
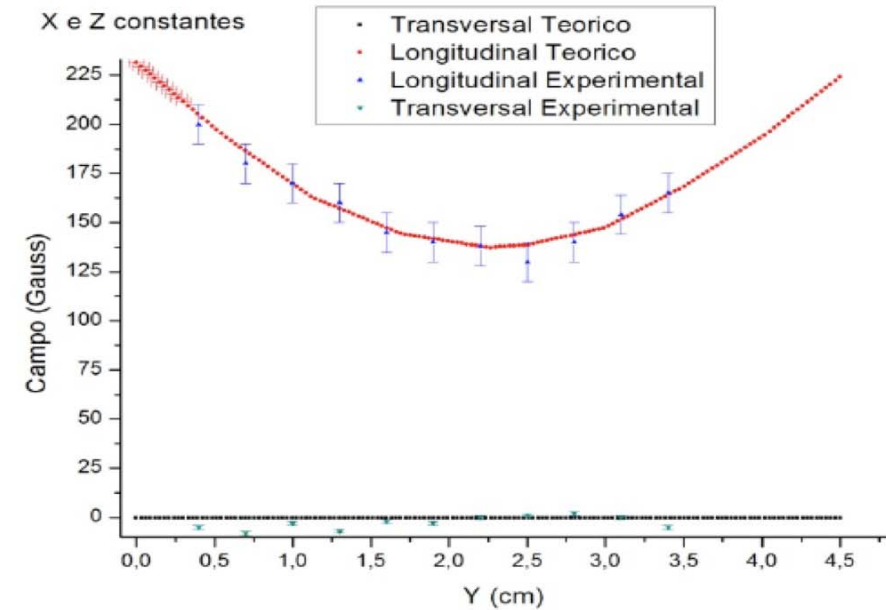
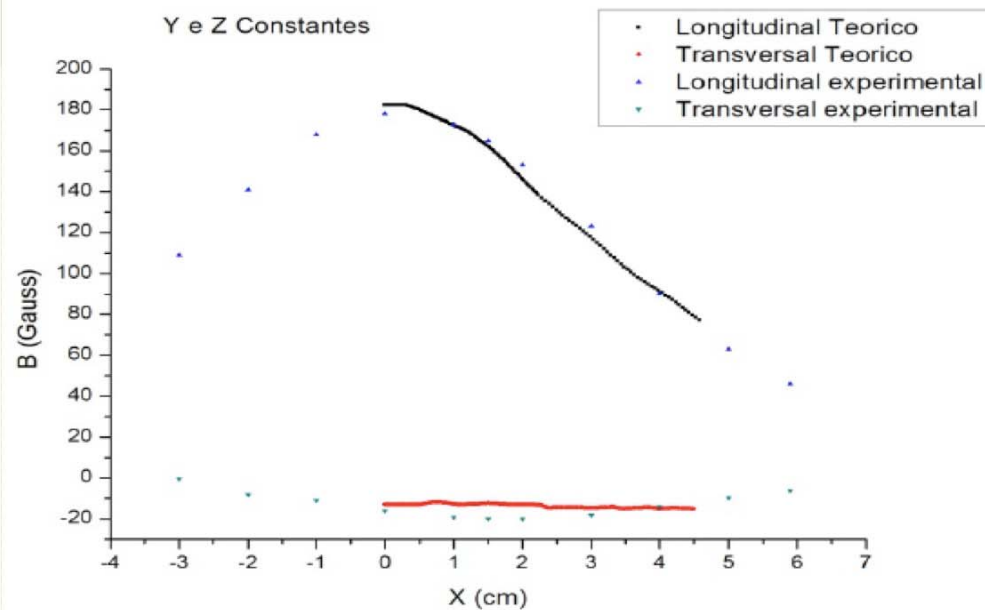
- Lei de Amperè

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

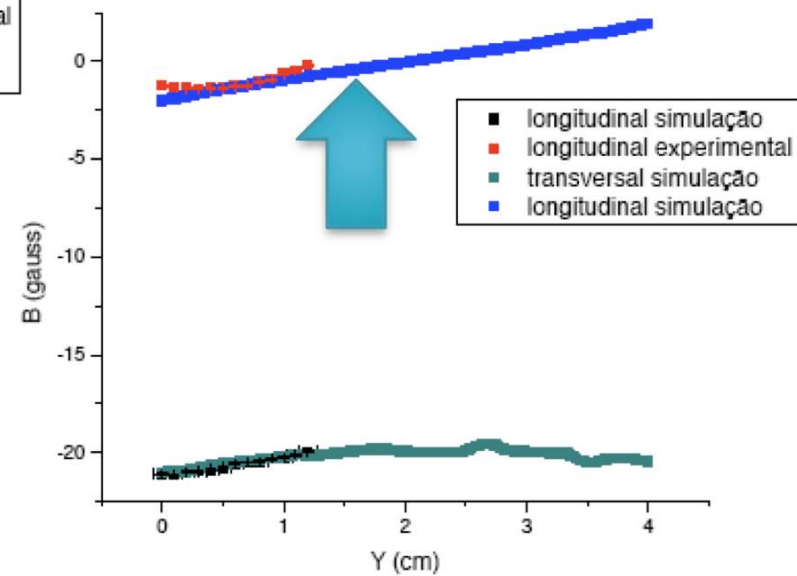
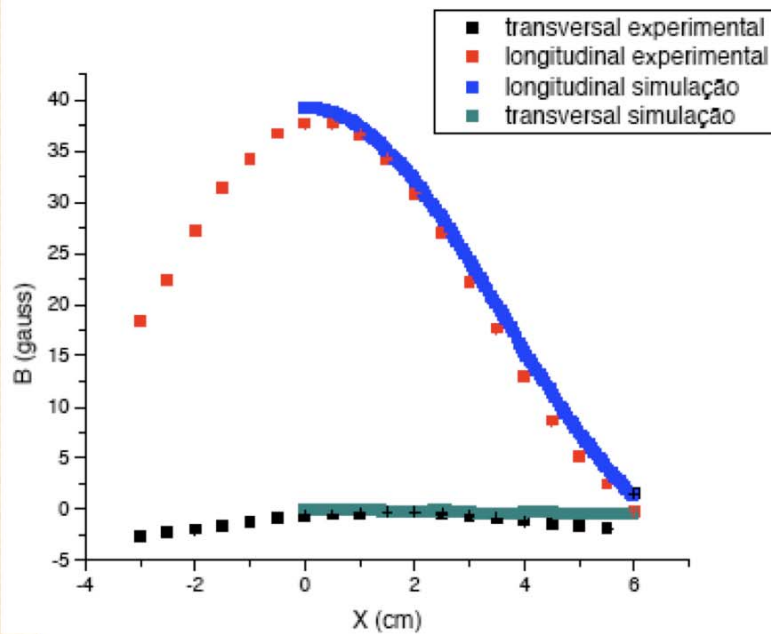
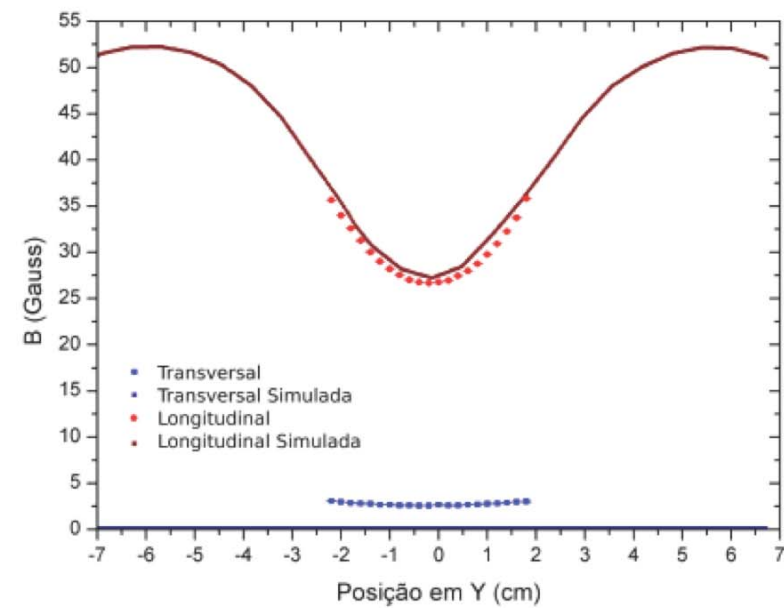
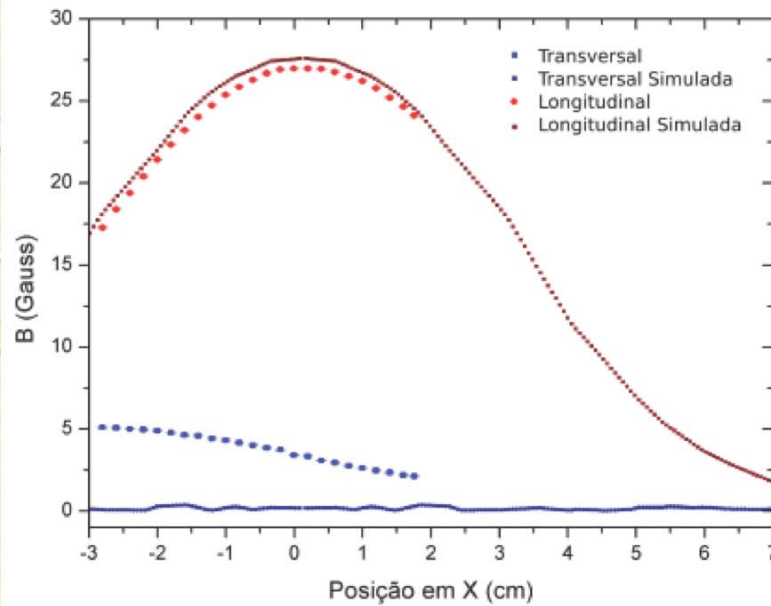
Campo simulado



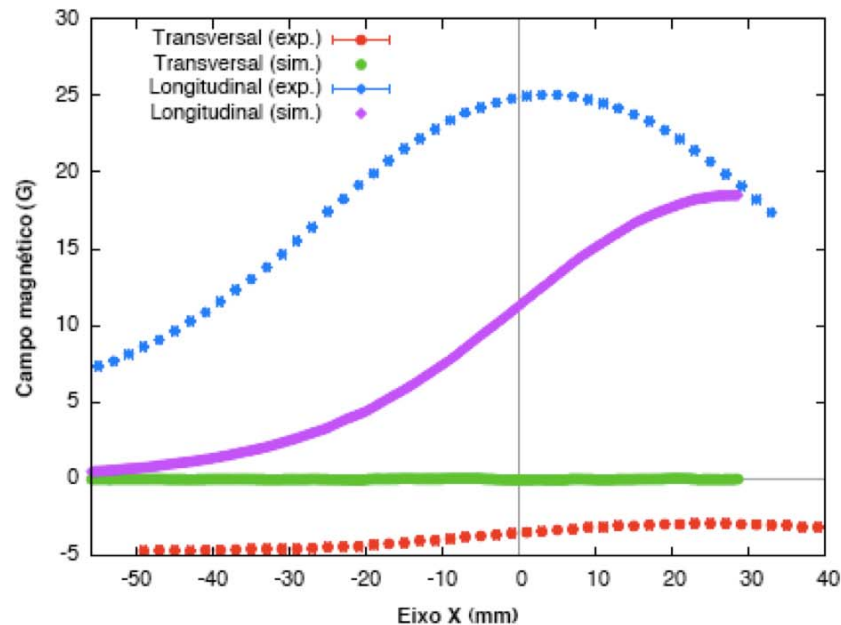
Campo simulado



Campo simulado



Problemas com simulação? Ou dados?



A simetria axial do problema faz com que o campo tenha que ser simétrico no eixo-x. Parece haver algum problema na simulação

Checar densidade de corrente e geometria. Ou dados foram tomados com problemas?

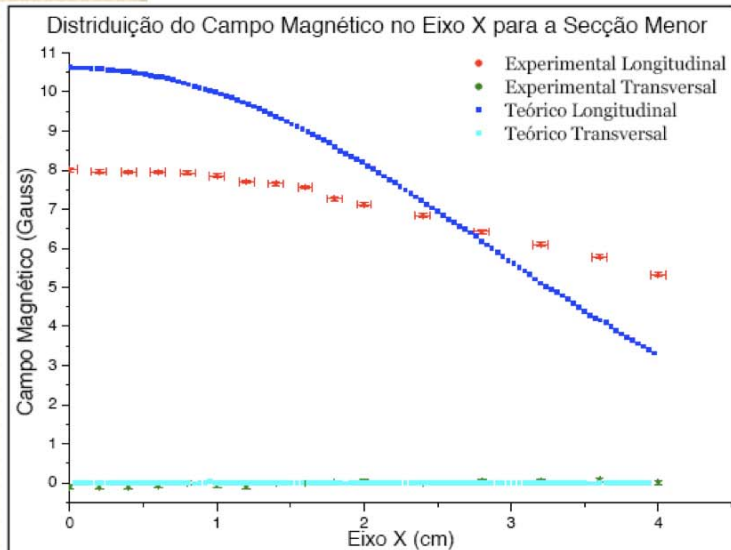


Gráfico 6 – Campo magnético mapeado e simulado para a seção menor

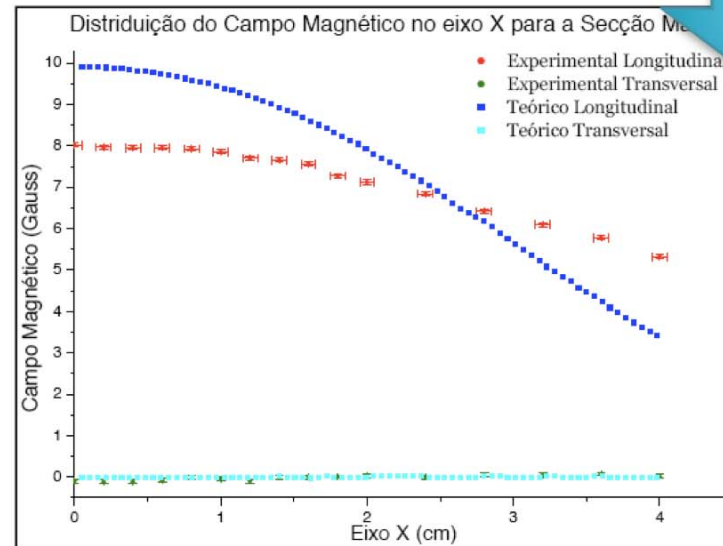
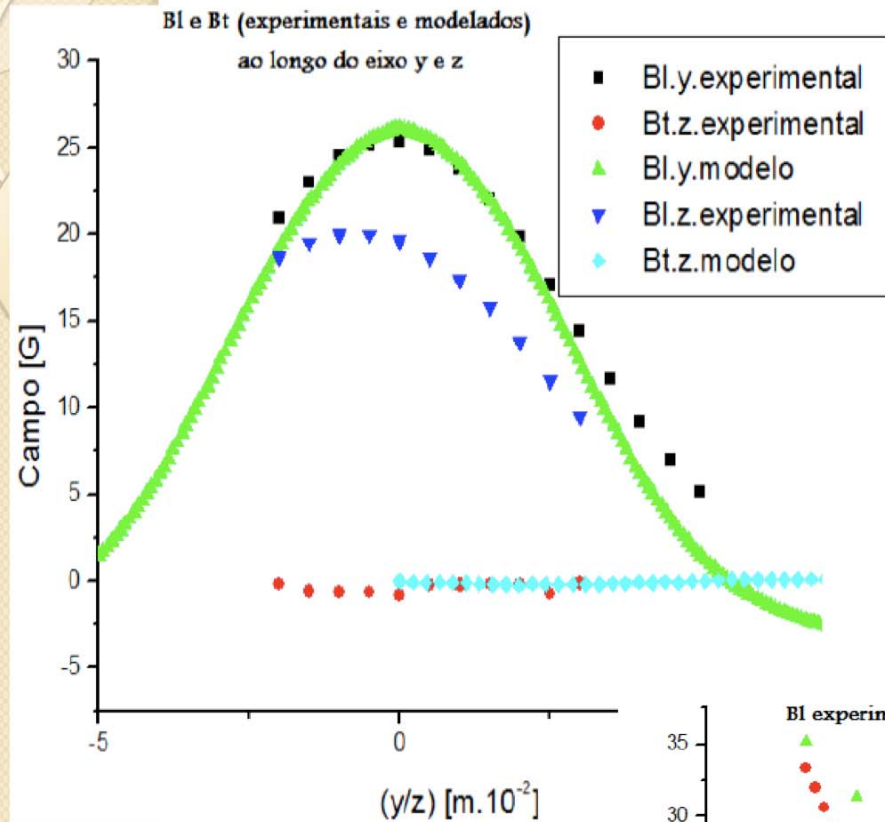
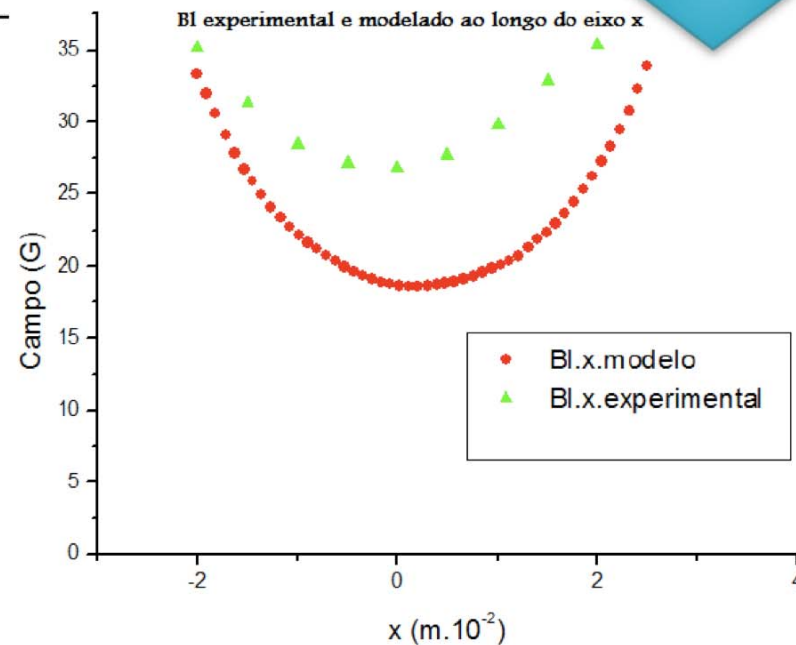


Gráfico 7 - Campo magnético mapeado e simulado para a seção maior

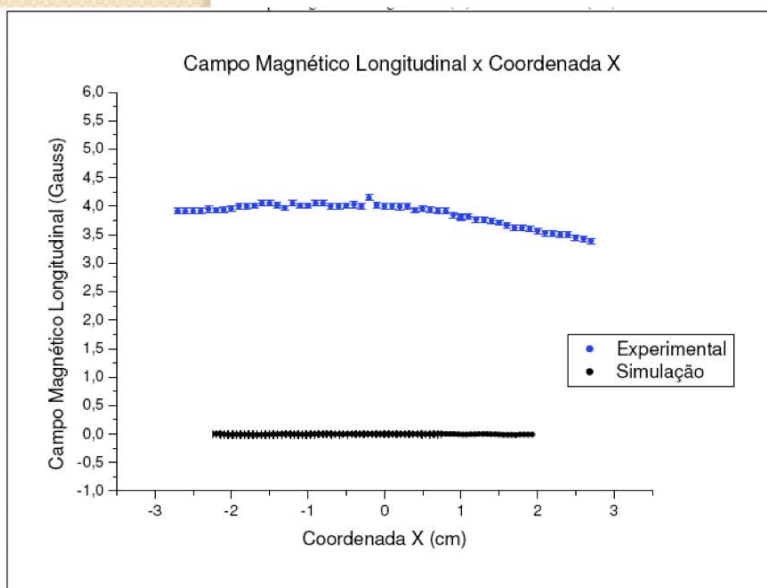
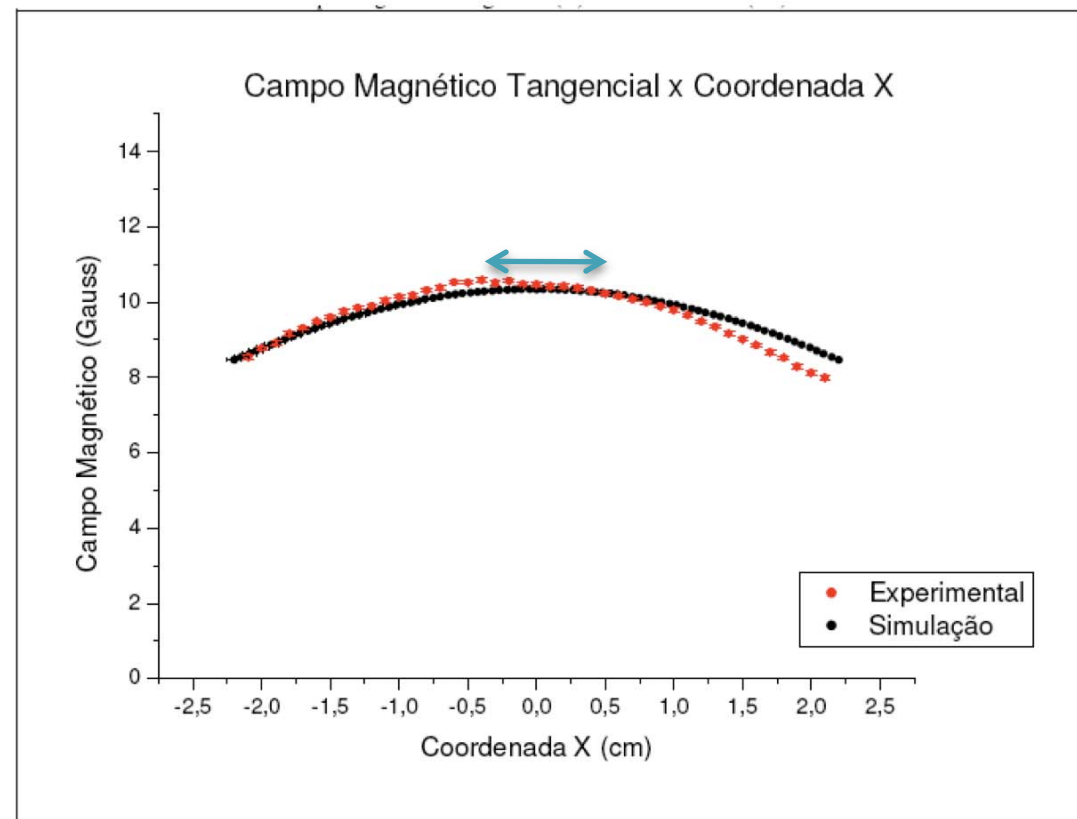
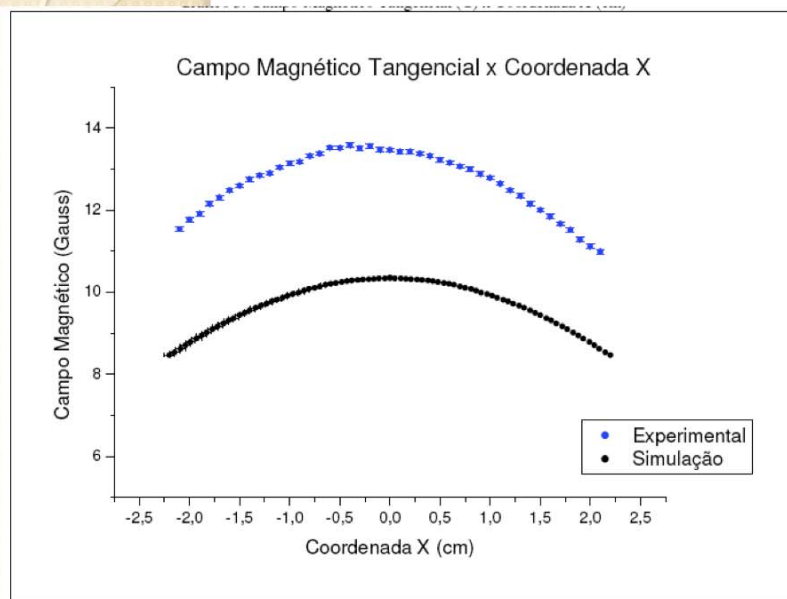
Problemas com simulação? Ou dados?



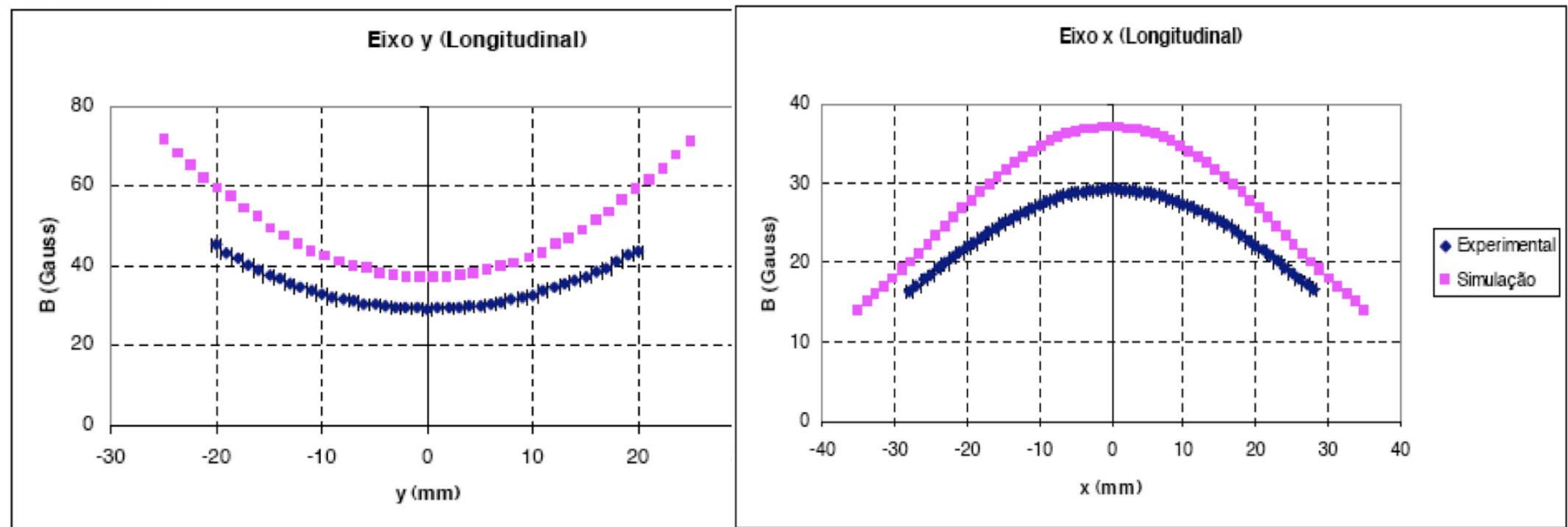
Se olharmos os valores na origem vemos que os dados são consistentes (mesmo campo em zero). Contudo, as simulações estão inconsistentes pois apresentam campos diferentes na origem



Acurácia do medidor?



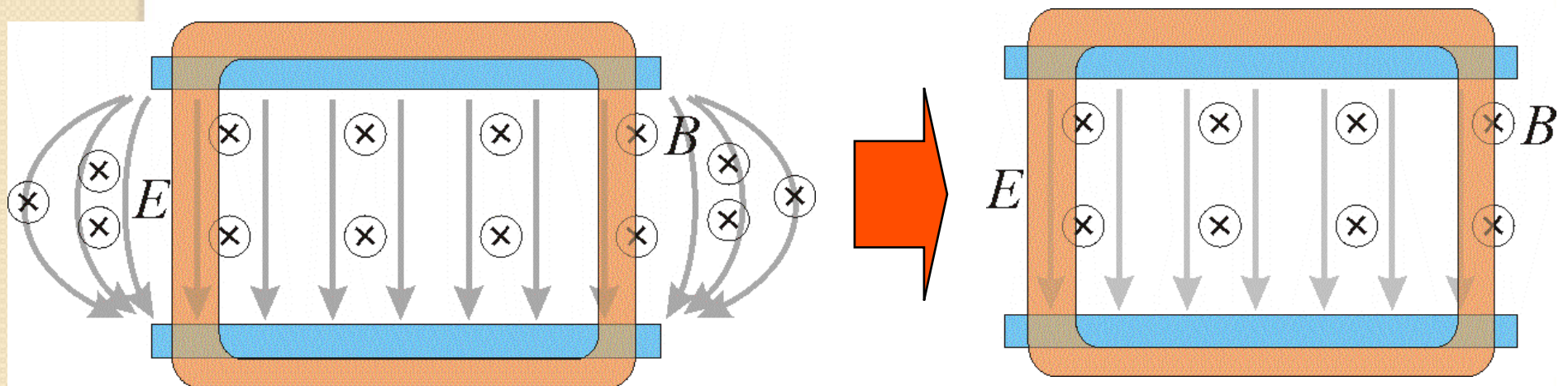
Formato das bobinas?



O segundo fator está relacionado ao que acontece com os campos conforme nos afastamos da origem. Deve ser mencionado que o formato das bobinas simuladas era diferente das bobinas reais. As bobinas reais têm a forma de um cilindro achatado, ou mais precisamente, de um tubo quadrado e arredondado nas pontas, enquanto que as bobinas simuladas têm a forma de um cilindro perfeito. Como já foi dito anteriormente, a forma dos campos são semelhantes perto da origem, como deveria ser, pois não há informação alguma sobre o formato das bobinas quando medimos o campo em $x=y=0$, pois está relativamente longe das bobinas. Mas quando nos aproximamos das bobinas no caso do campo no eixo y , o formato das bobinas começam a interferir nas medidas do campo e percebemos a diferença observada no gráfico. O mesmo acontece no eixo x .

O seletor de velocidades ideal

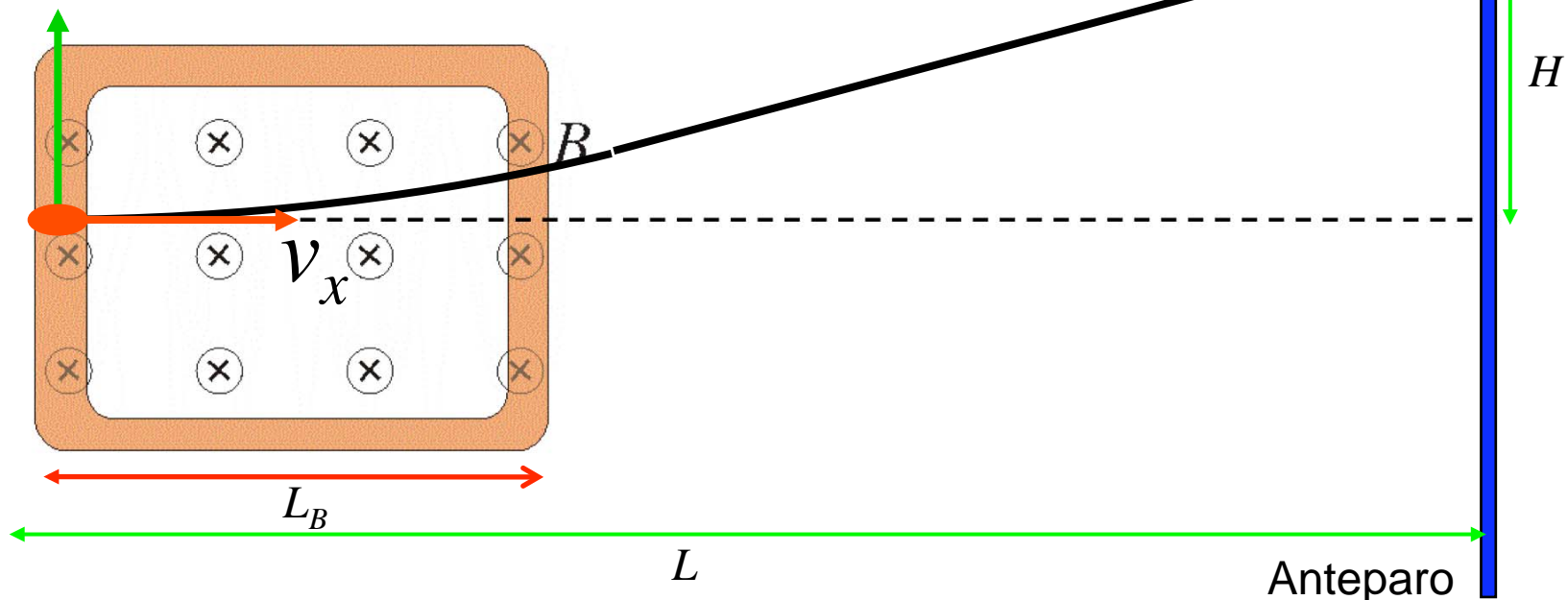
- Equipamento composto de um campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares), uniformes, contantes e superpostos



Movimento de uma partícula em campo magnético (semana passada)

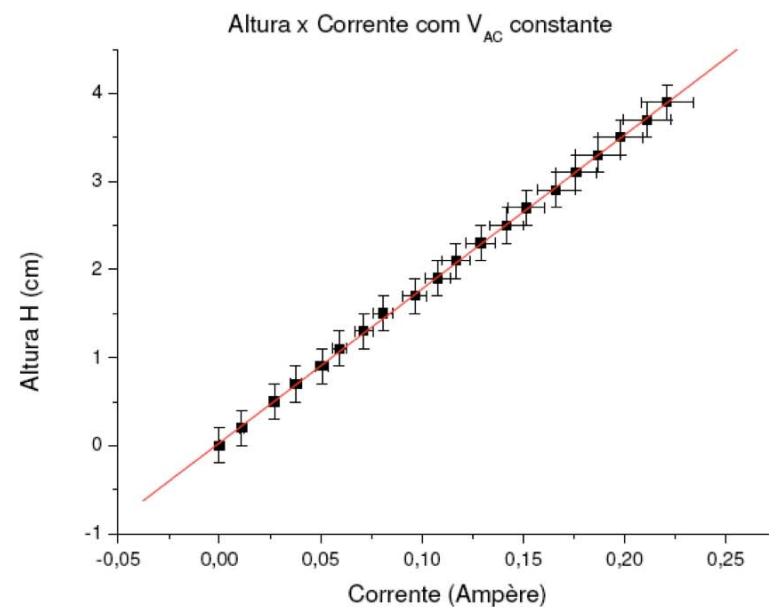
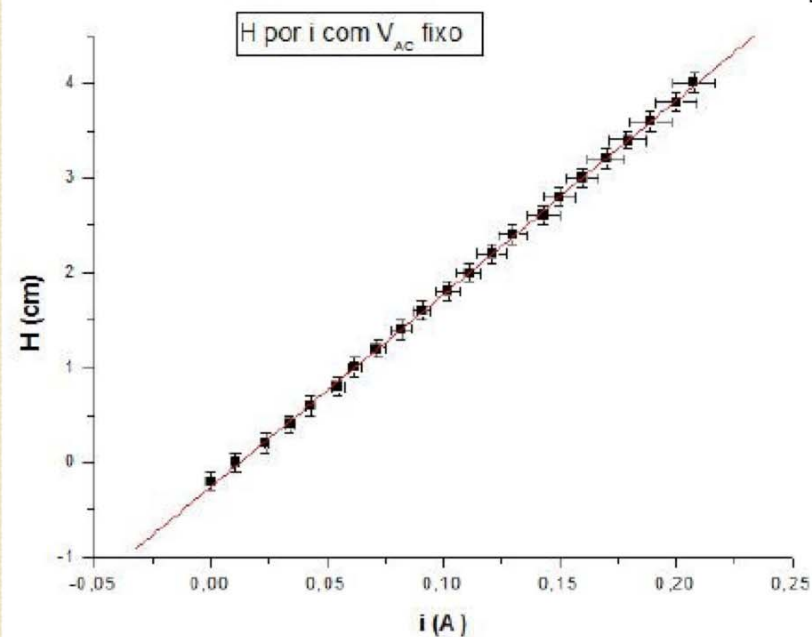
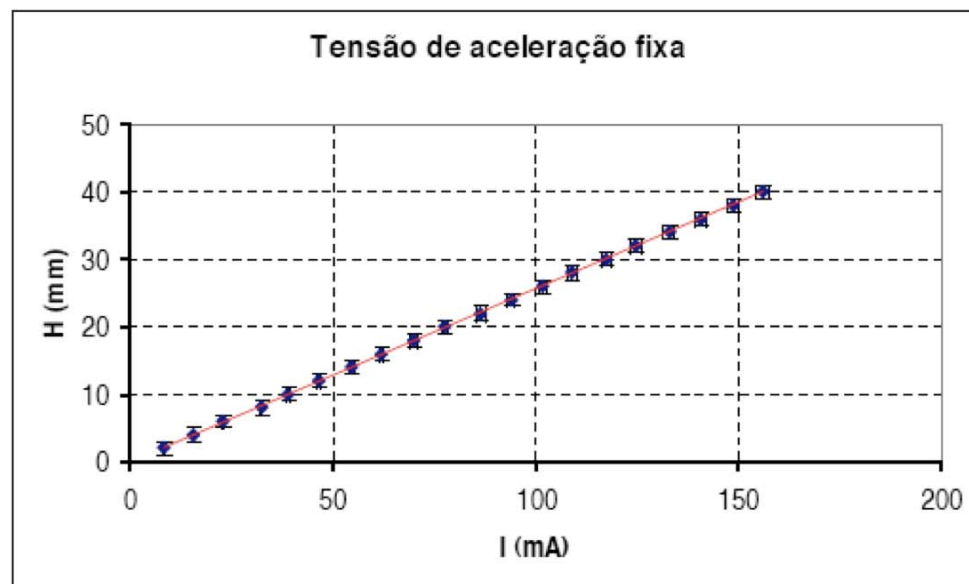
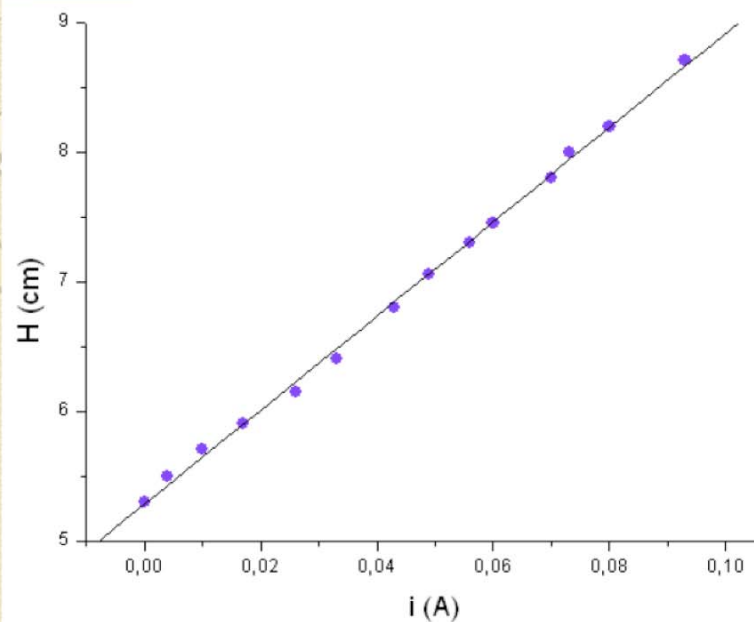
- Campo magnético uniforme e constante entre as bobinas e nulo fora das bobinas

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



H em função de i.

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



H em função de V_{AC} (ou $1/\sqrt{V_{AC}}$).

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

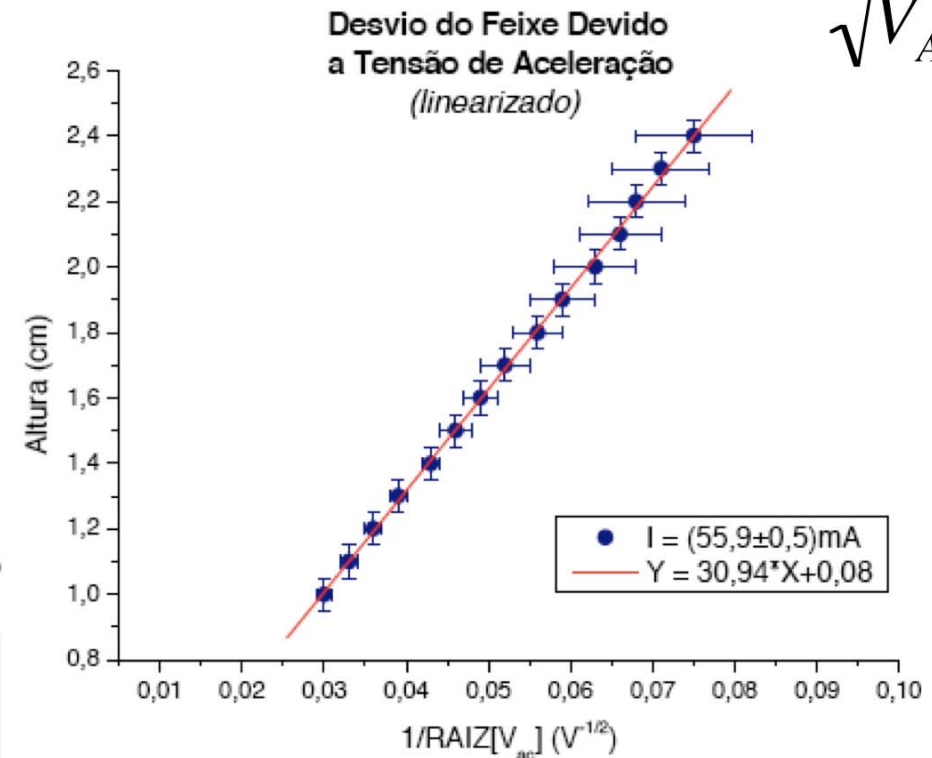
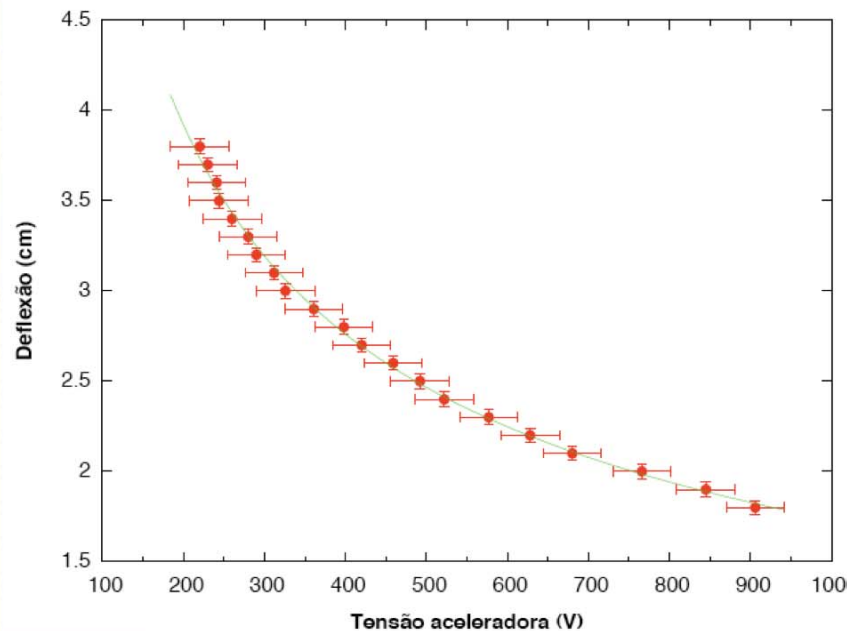
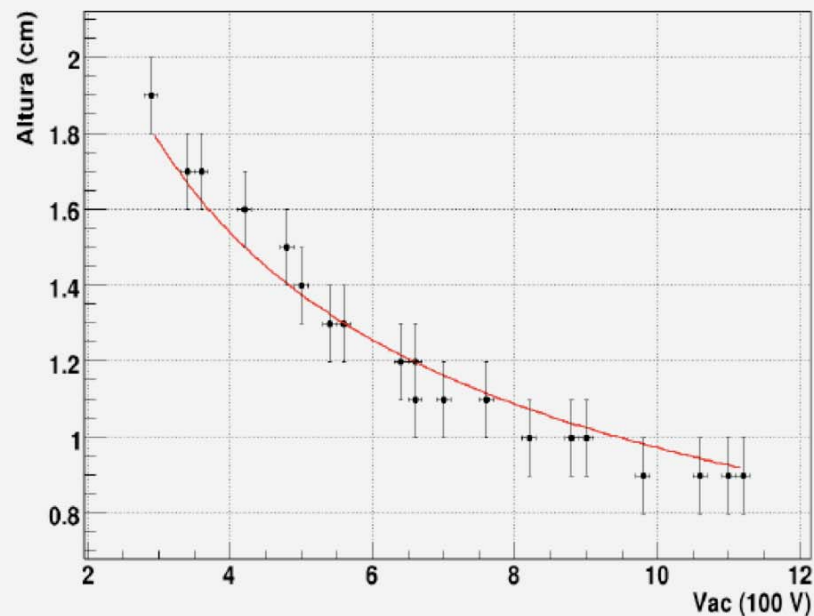
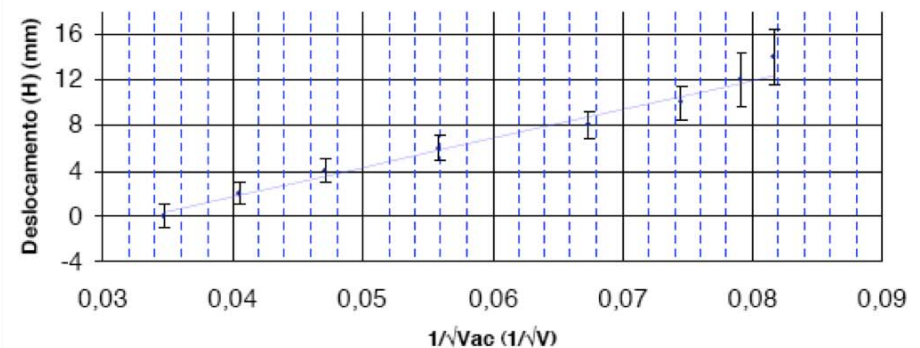


Grafico H x Vac



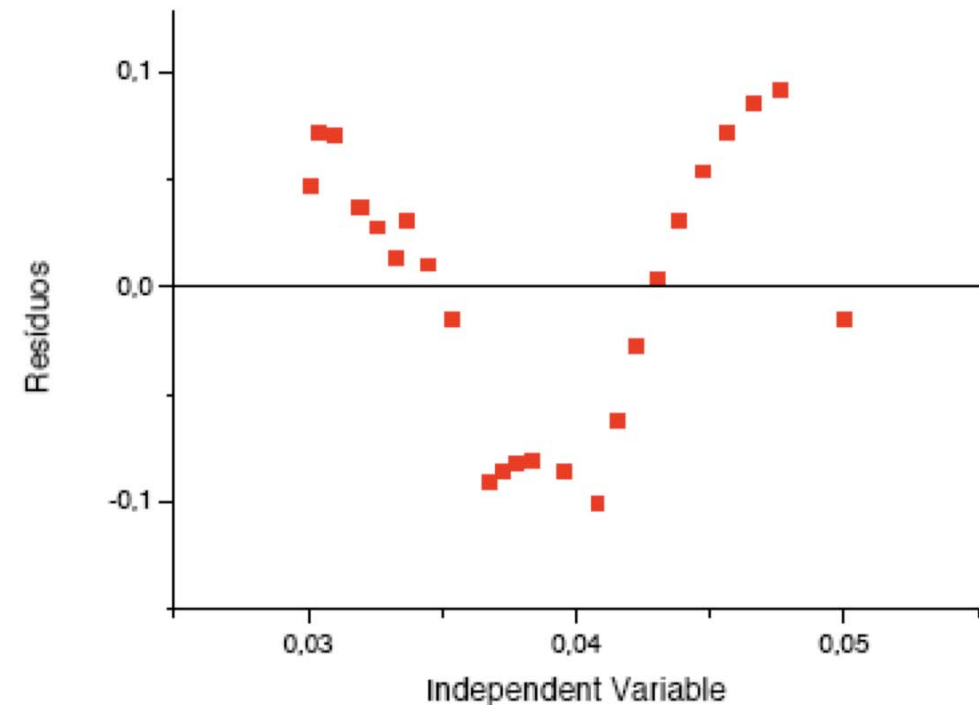
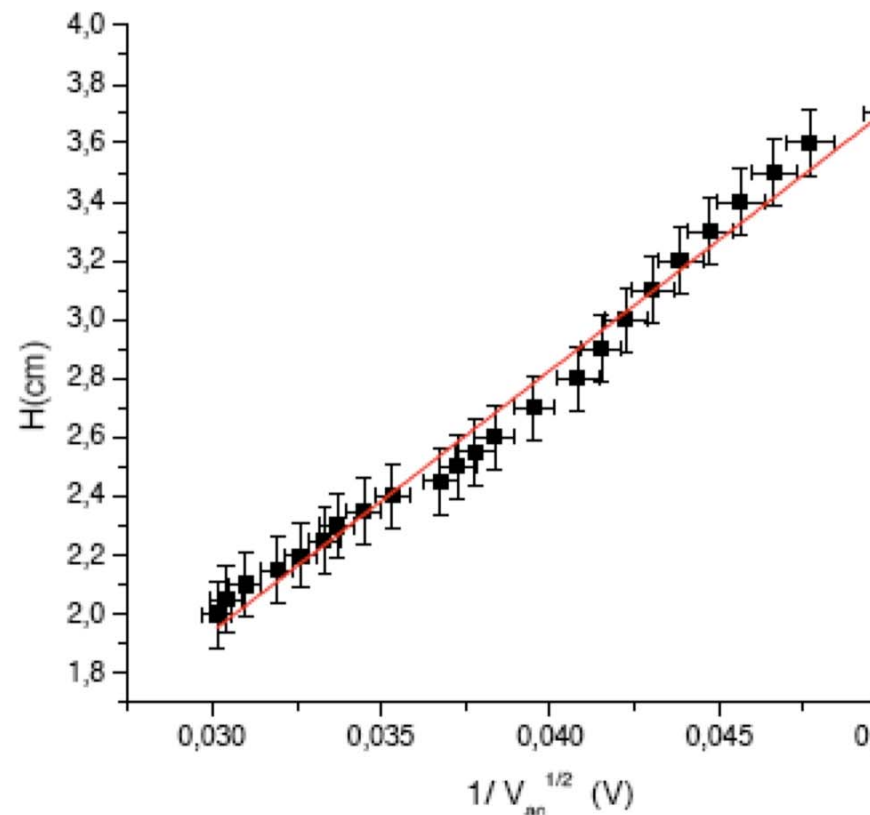
Ajuste bobina - H x $1/\sqrt{Vac}$

$$H = 256(30) \cdot 1/\sqrt{Vac} - 8,5(1,6)$$



H em função de V_{AC} .

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



É possível perceber que existe uma clara tendência nos resíduos, dessa forma, não seria possível aproximar o gráfico da figura 7 por uma reta. Um dos possíveis motivos para esse acontecimento é que a escolha para a corrente fixa do sistema não foi adequada. Por mais que os resíduos não

Quem é a constante obtida?

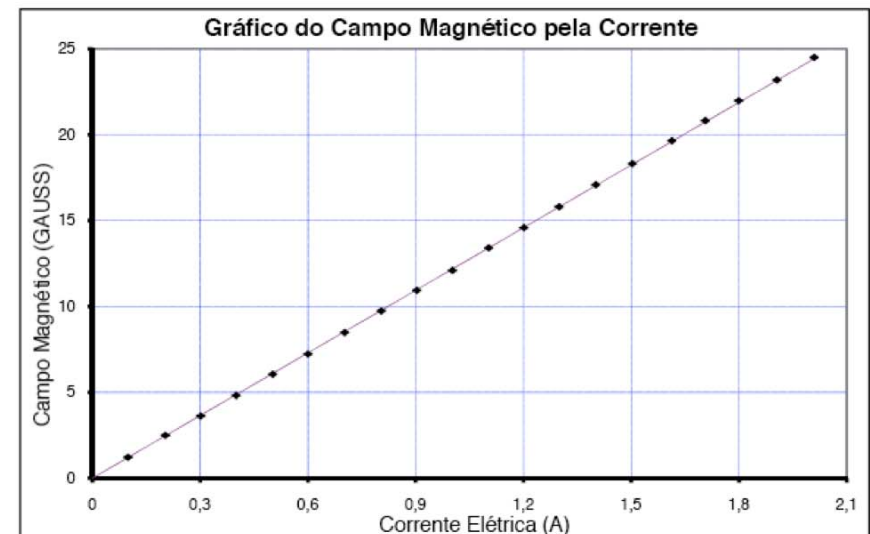
Como obter o comprimento da bobina?

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

- Mas nós vimos, dos dados, que $B = \beta i$

- E (ver aula 7) que: $\frac{1}{2}mv_{0x}^2 = qV_{AC}$

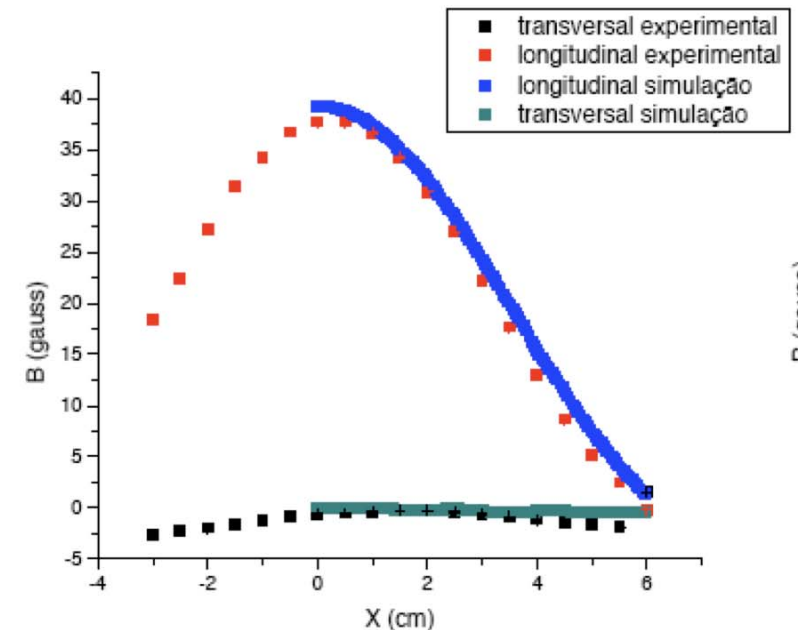
$$C = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q}{2m}} L_B L \beta$$



Comparando os resultados.

β [G/A]	C [cmV ^{1/2} A ⁻¹]	L _B [cm]
11,5	671 ± 47	17,4
11,3	1100 ± 50	23,9
	434	8,29 ± 0,21
	456,9 ± 4,4	8,76 ± 0,13
4π×10 ⁻⁷	576 ± 9	1,08 ± 0,02
		12,6 ± 0,4
12,3 ± 0,2	409 ± 7	9,3 ± 0,1
	560 ± 10	
	520 ± 4	
		13,2
	901	11,7
15,59 ± 0,46	566 ± 43	8,84 ± 0,68

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



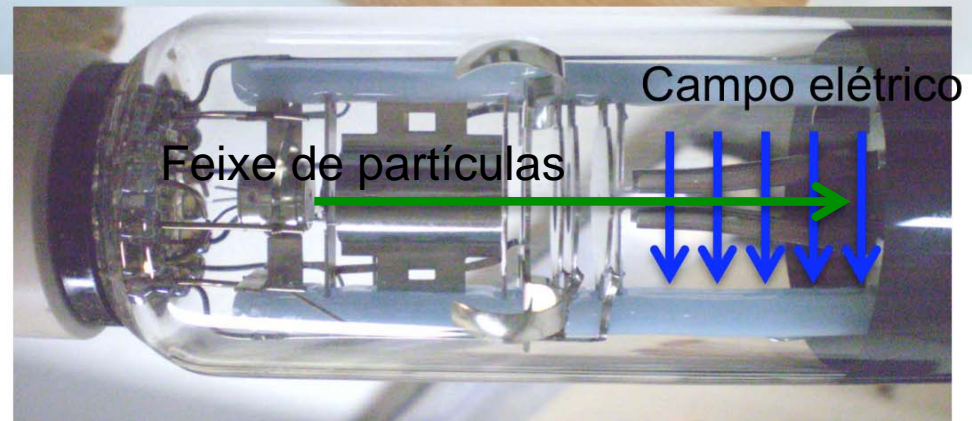
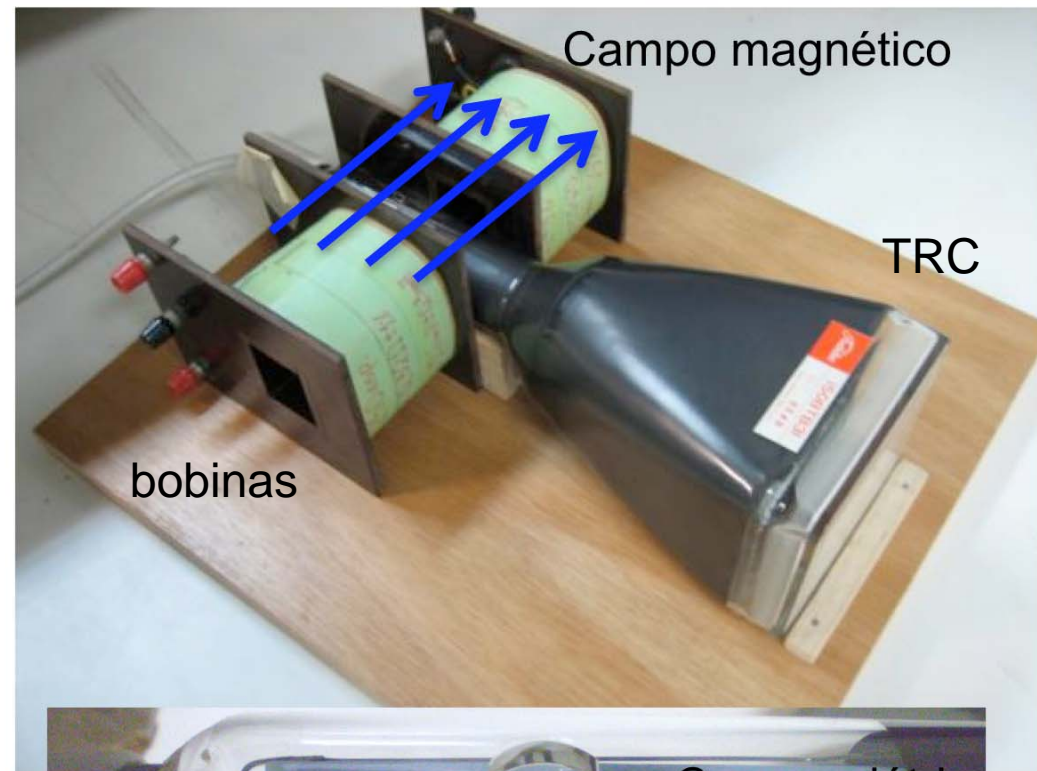


Metodologia a ser adotada

- 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 a geração das partículas (elétrons) e como elas se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior? QField
 - **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. Qfield.
 - **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

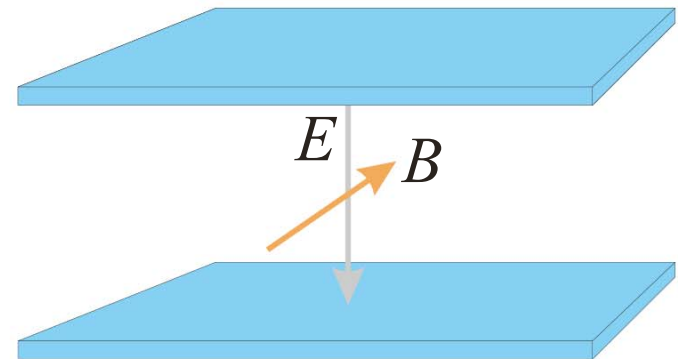
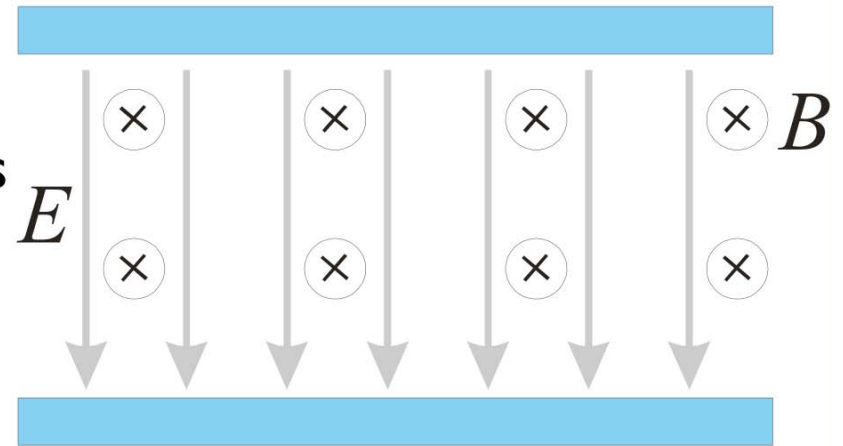
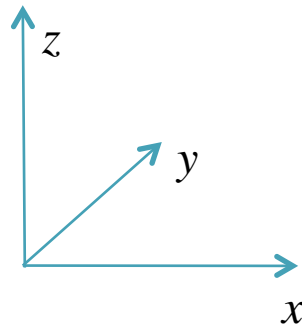
- TRC
 - Produz feixe de elétrons acelerados e propicia campo elétrico
 - Tela é o detector de partículas
- Bobinas
 - Campo magnético



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

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

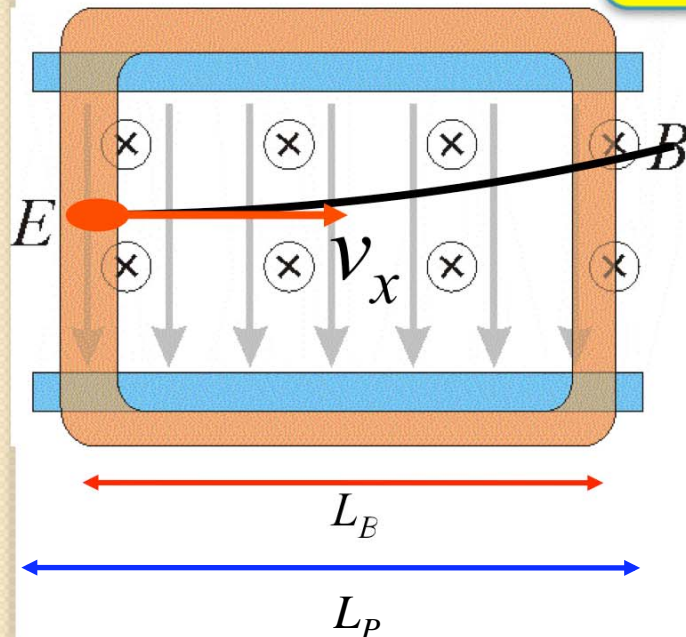
$$B(v_x \hat{k} - v_z \hat{i})$$

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

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

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

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



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

Vamos olhar de perto este seletor

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

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

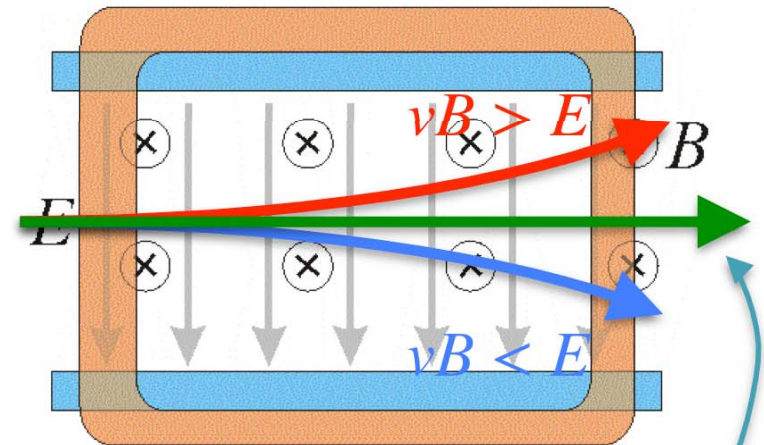
- Condição de força resultante nula:

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

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

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

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



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

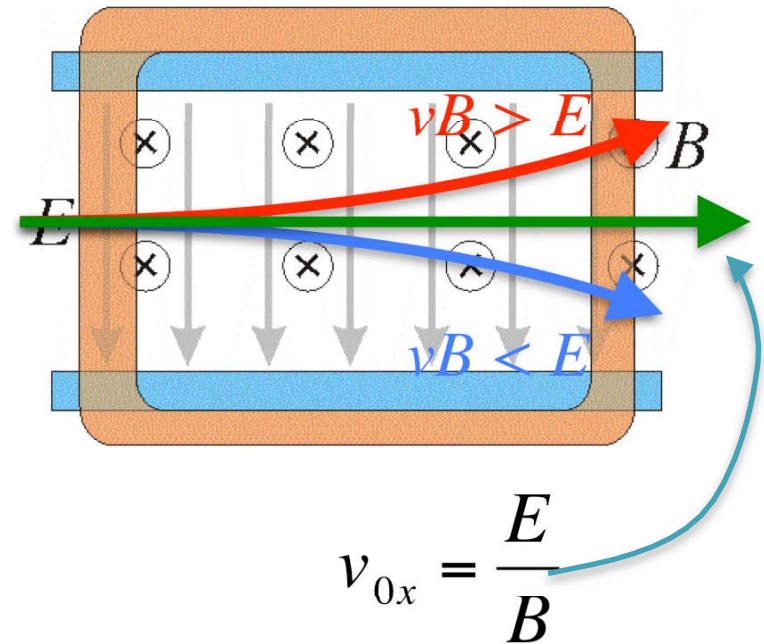
Vamos olhar de perto este seletor

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

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

- E a deflexão devido ao campo magnético vale:

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



Vamos olhar de perto este seletor

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

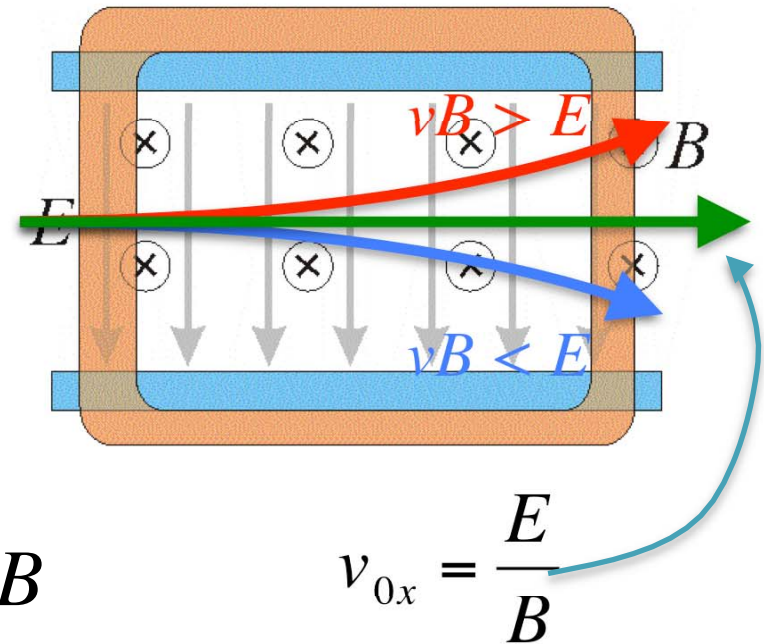
$$h = H$$

- Ou seja:

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

- 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:

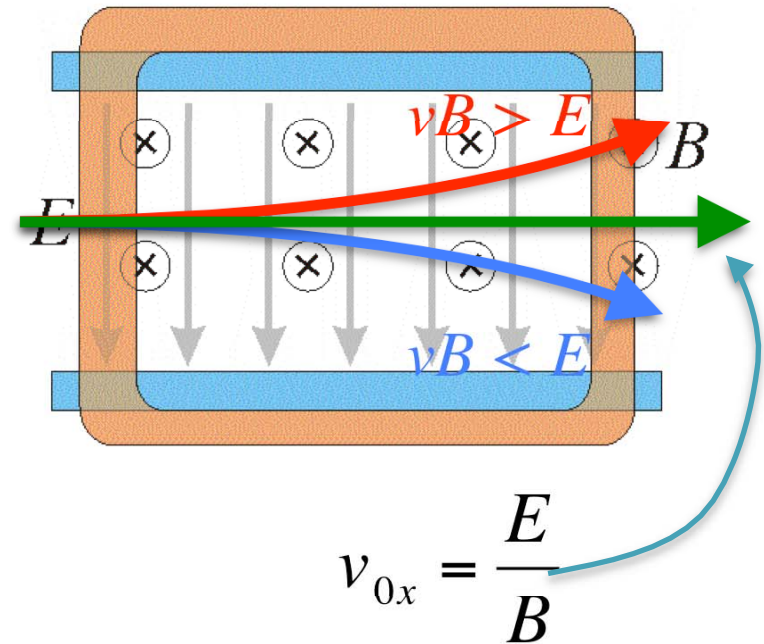
$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- Sabendo que:

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

- Para que o nosso modelo seja válido precisamos que:

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



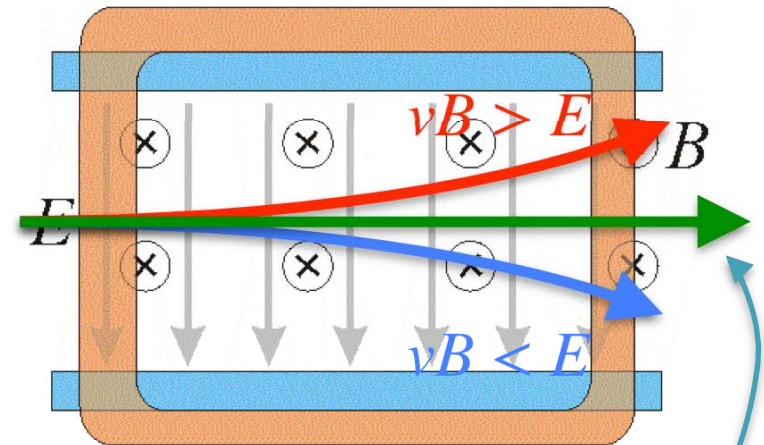
Calibração do seletor de velocidades

- 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 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:

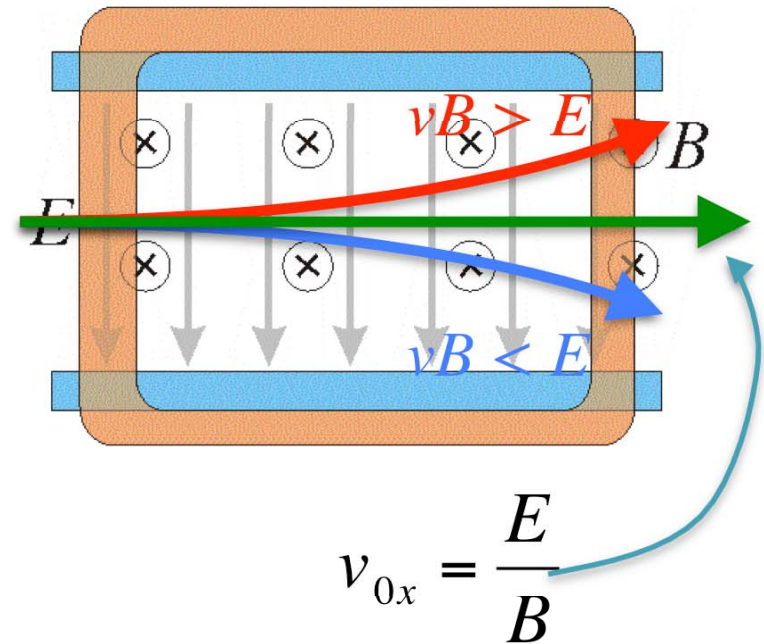
$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- Podemos fazer que:

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

- Ou seja:

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



IMPORTANTE!

Esta equação só se aplica à velocidade de filtro. Não é uma relação aplicável a qualquer velocidade!

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:

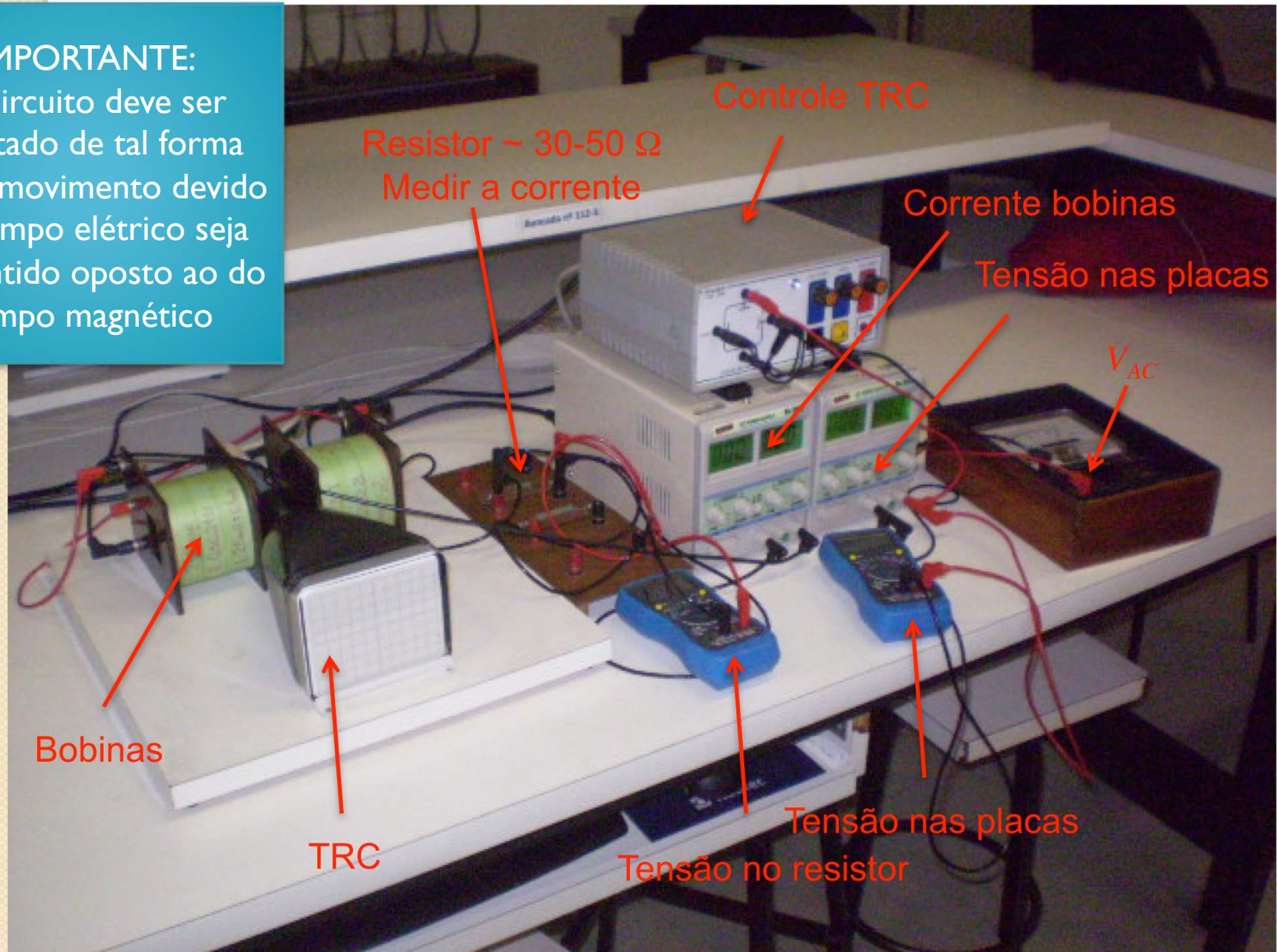
$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

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

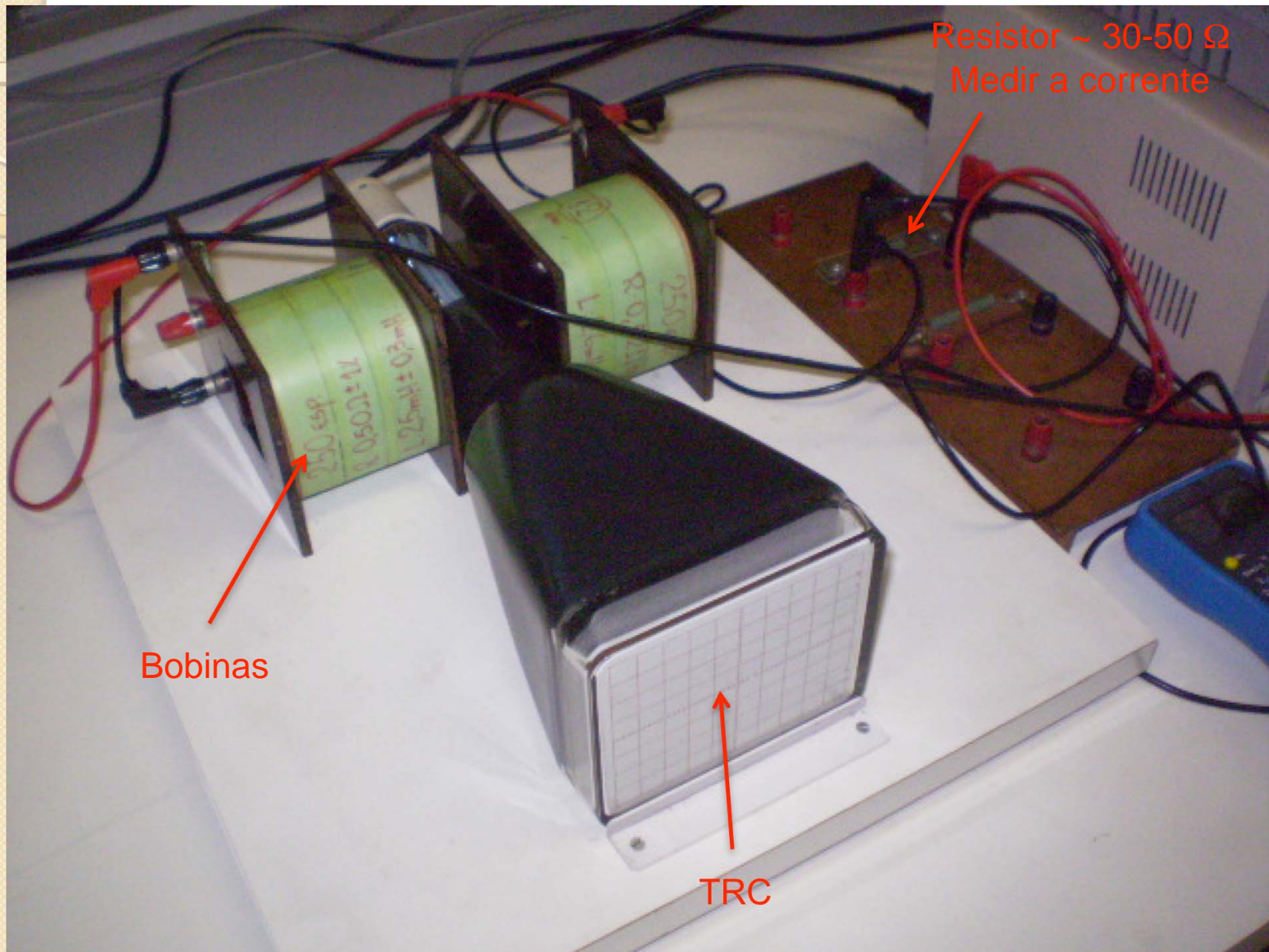
O Seletor de velocidades

IMPORTANTE:

O circuito deve ser montado de tal forma que o movimento devido ao campo elétrico seja no sentido oposto ao do campo magnético



O Seletor de velocidades

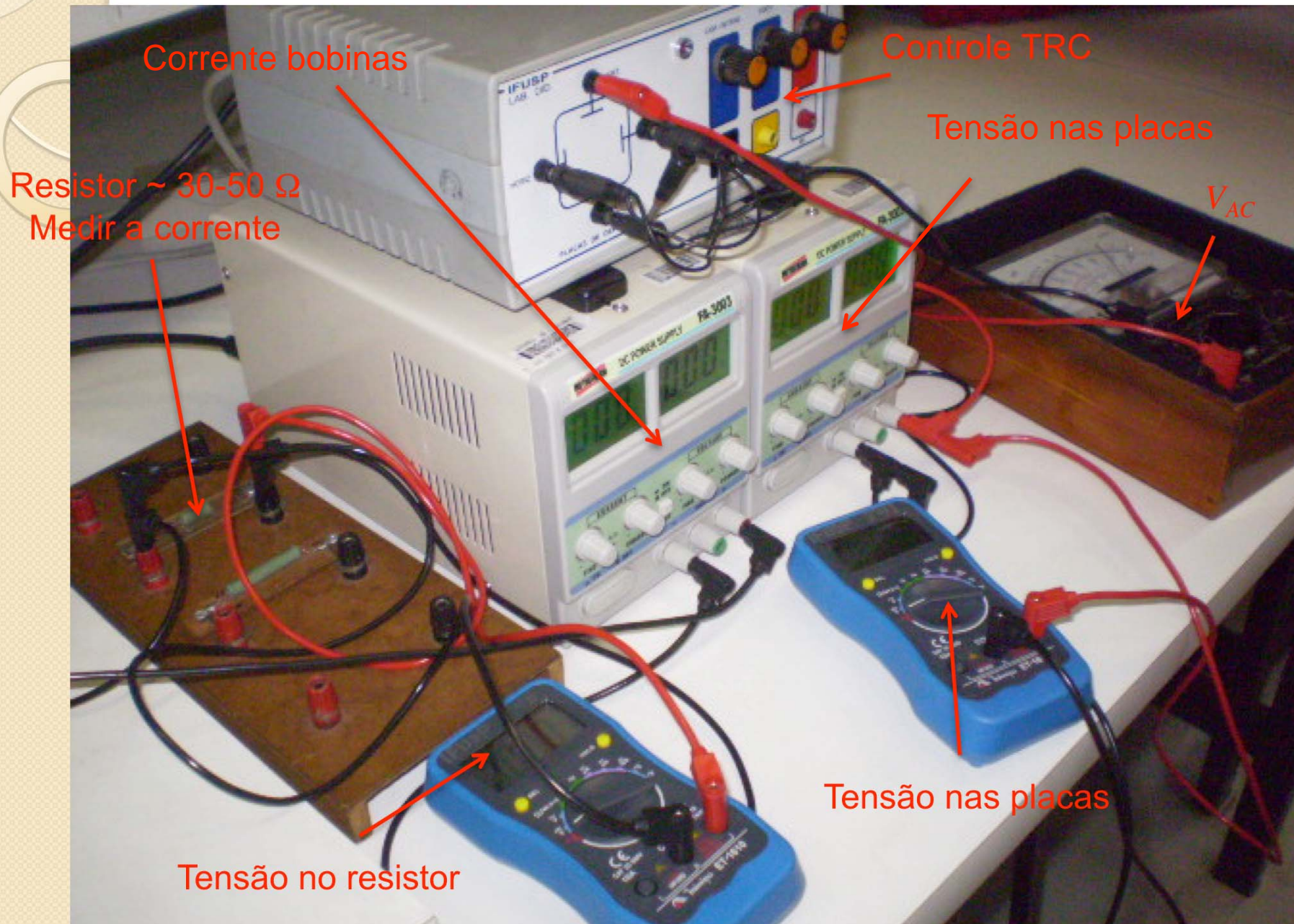


Bobinas

Resistor ~ 30-50 Ω
Medir a corrente

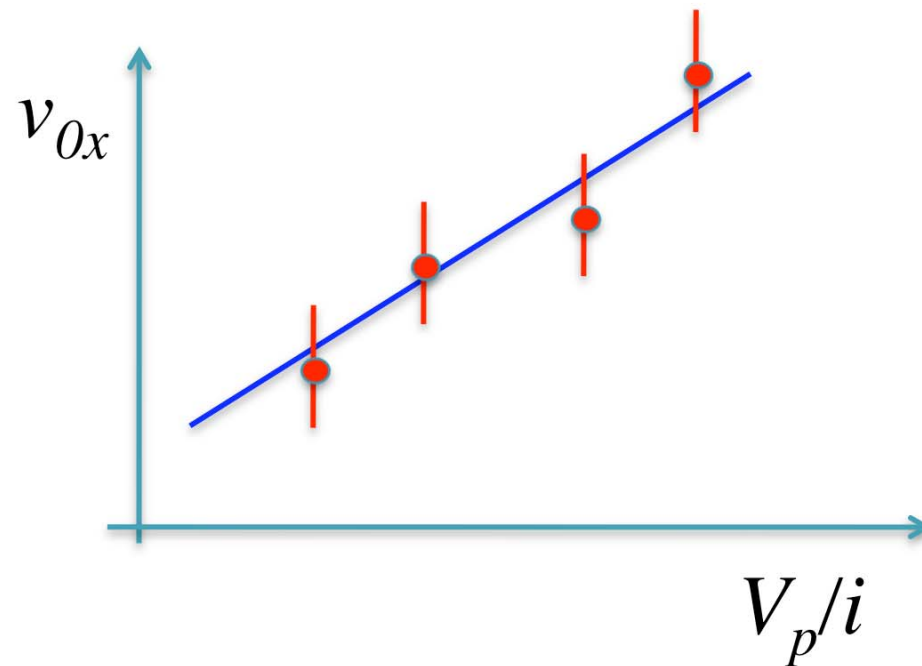
TRC

O Seletor de velocidades



Como calibrar o seletor e obter α ?

- Precisamos fazer o gráfico

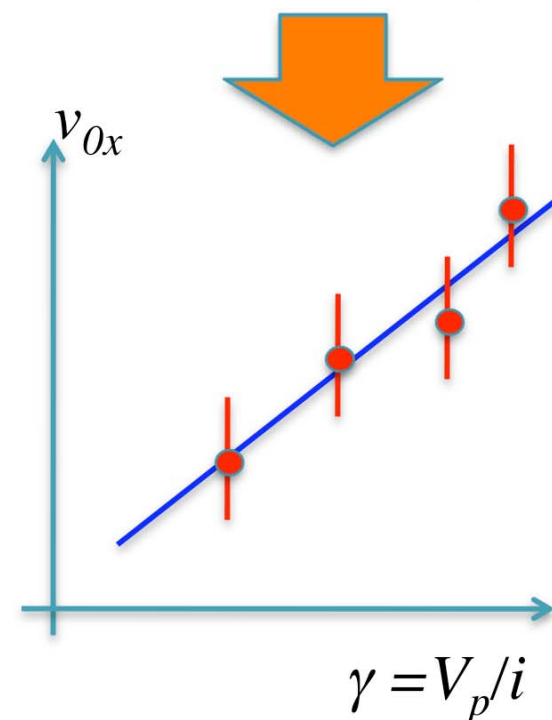
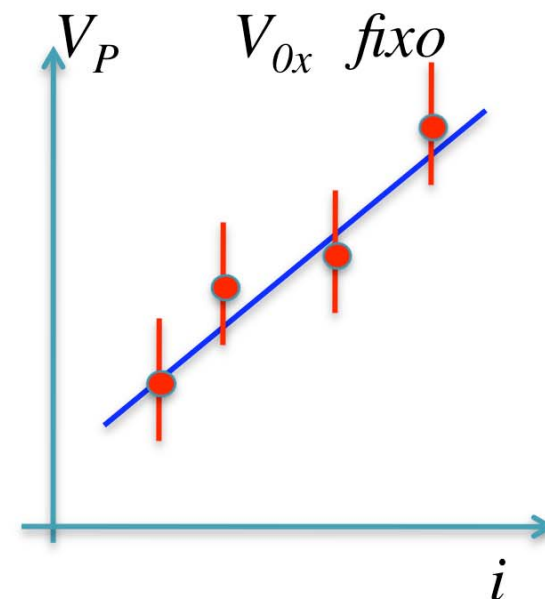


$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

- Como obter cada ponto do gráfico de forma precisa?

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



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.