

# Seletor de Velocidades

Notas de aula: [www.fap.if.usp.br/~hbarbosa](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa)

LabFlex: [www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

Profa. Eloisa Szanto  
[eloisa@dfn.if.usp.br](mailto:eloisa@dfn.if.usp.br)  
Ramal: 7111  
Pelletron

Prof. Henrique  
Barbosa  
[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)  
Ramal: 6647  
Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin  
[nelson.carlin@dfn.if.usp.br](mailto:nelson.carlin@dfn.if.usp.br)  
Ramal: 6820  
Pelletron

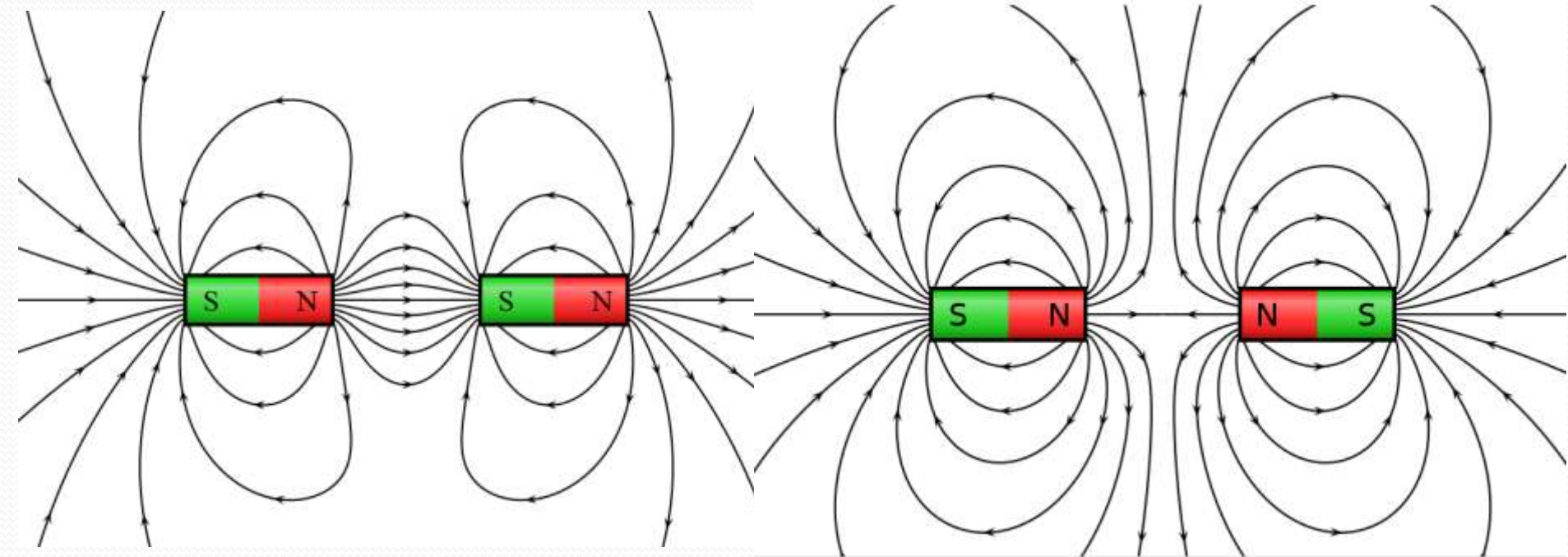
Prof. Paulo Artaxo  
[artaxo@if.usp.br](mailto:artaxo@if.usp.br)  
Ramal: 7016  
Basílio, sala 101

Física Exp. 3  
Aula 2, Experiência 2  
Movimento em campo magnético

# Exp. 2 – Seletor de Velocidades

## PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
  - Movimento em campo elétrico
- Semana 2
  - Movimento em campo magnético
- Semana 3
  - Simular o campo elétrico e mapear o campo magnético
- Semana 4
  - Modelo para B e calibração do seletor
- Semana 5
  - Modelo para E e resolução do seletor de velocidades



1. Deslocamento em função do campo magnético

# Seletor de Velocidades

**... Um acelerador de partículas “simples”**

- Um seletor de velocidades é um dispositivo que seleciona as partículas, de um feixe de partículas carregadas, de acordo com sua velocidade.
- Esse dispositivo é também chamado de **filtro de velocidades**, ou **filtro de Wien**:

**Todo filtro faz uma seleção dos objetos que o atravessam.**

# Seletor de velocidades: como funciona

- O princípio de funcionamento do seletor de velocidades está baseado no fato de que **partículas carregadas** em movimento sofrem a ação de **forças** quando cruzam uma região onde existe um **campo elétrico** ou um **campo magnético**, ou ambos.
- Se queremos separar partículas com velocidades diferentes:

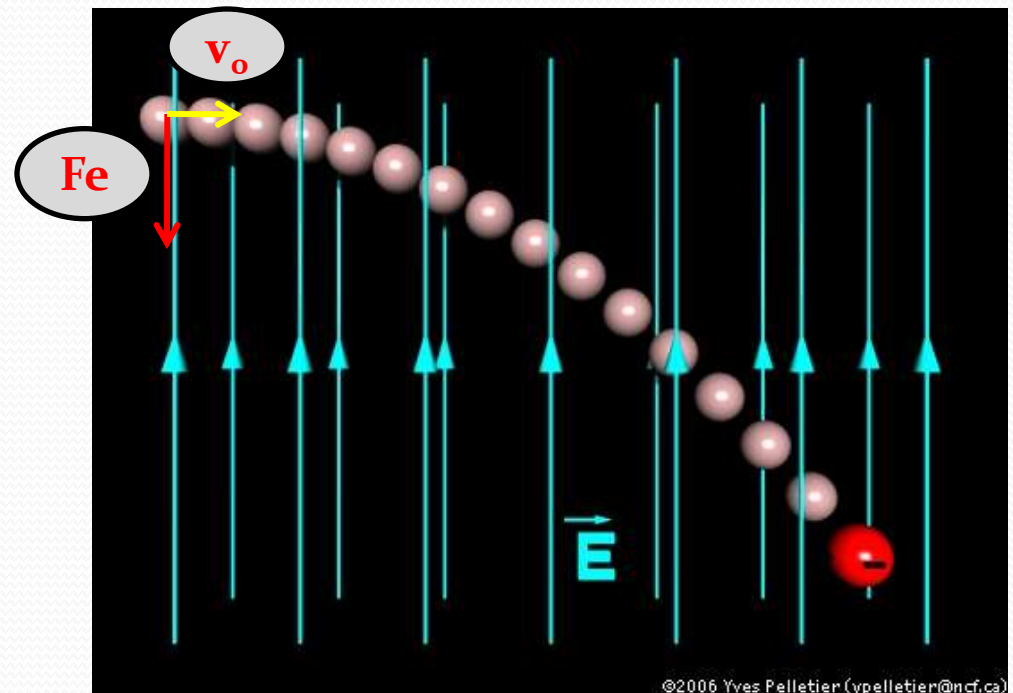
Precisa-se aplicar uma força dependente da velocidade!  
... e que atua em algumas partículas (ie, velocidades) e em outras não...

# Campo elétrico

- Quando um feixe de partículas carregadas de carga  $q$ , atravessa uma região onde existe um campo elétrico,  $\vec{E}$ , perpendicular à trajetória das partículas, ele vai sofrer uma força  $\vec{F}_e$  igual a:

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

Se a partícula for positiva, o sentido da força é o sentido do campo, se for negativa, o sentido da força é oposto ao sentido do campo.



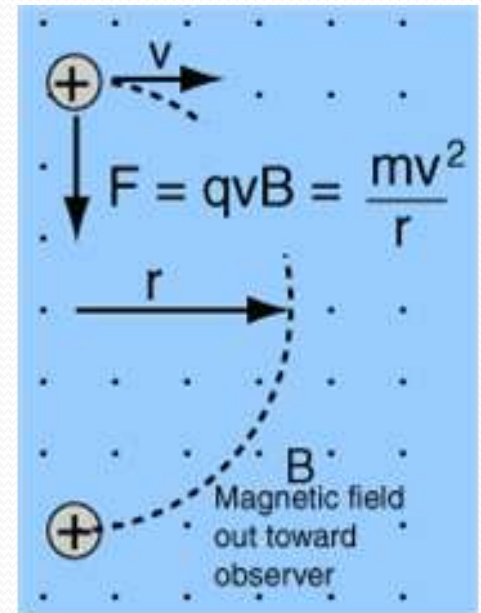
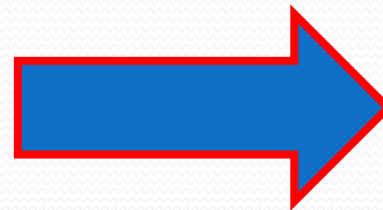
# Campo magnético

- O que ocorre com o feixe de partículas (de carga  $q$  e velocidade  $\mathbf{v}$ ) que atravessa uma região onde existe um campo magnético constante e perpendicular à sua trajetória?

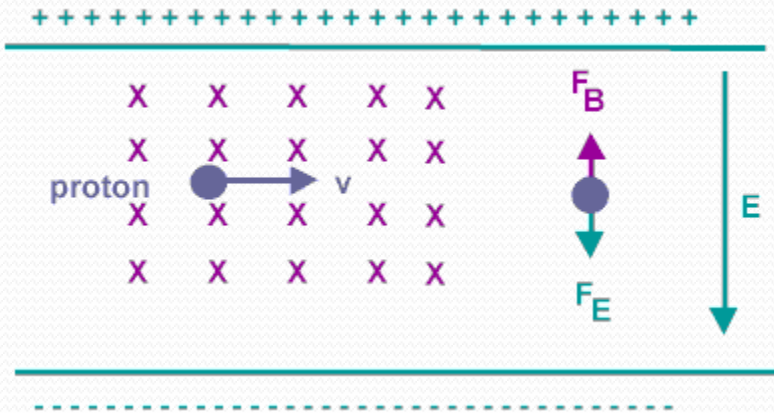
Vai aparecer uma força magnética,  $\mathbf{F}_m$ , proporcional à velocidade:

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Se  $B \perp v$

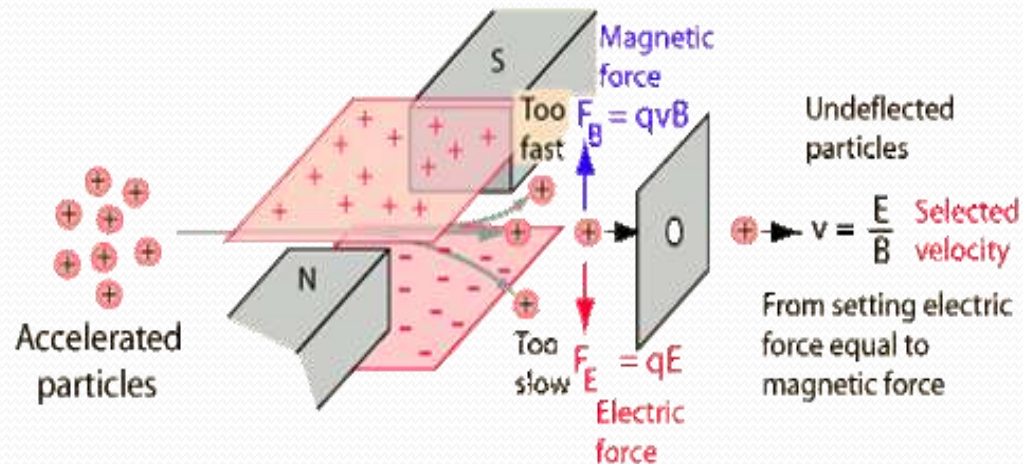


# Funcionamento do Seletor



- São dois campos cruzados e perpendiculares à direção do feixe
  - um campo magnético
  - um campo elétrico
- **O segredo:** os campos são orientados de tal forma que  $F_E$  e  $F_B$  são opostas.

Escolhe-se a intensidade dos campos tal que a partícula da velocidade de interesse passe sem ser desviada:

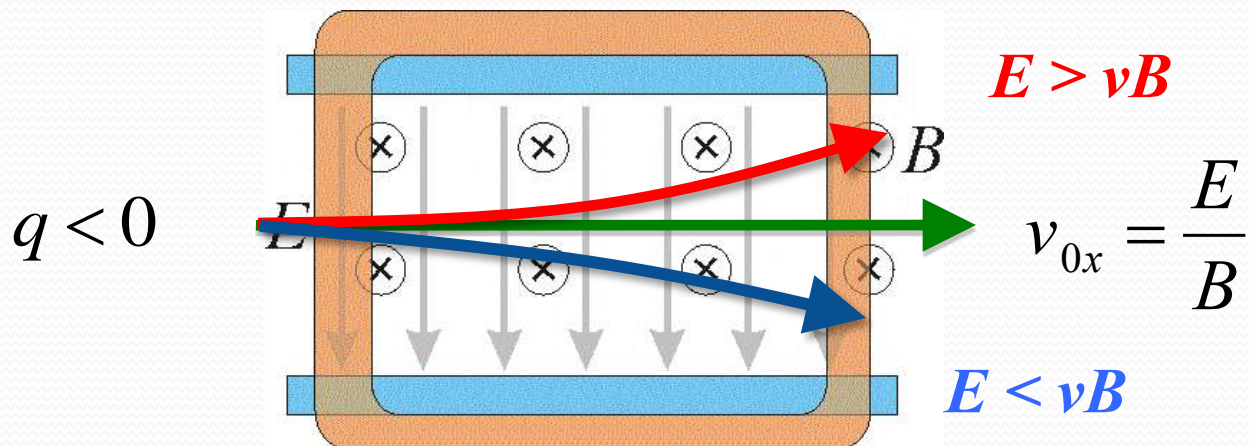
$$\vec{F}_E + \vec{F}_B = 0$$




# Modelo Simplificado

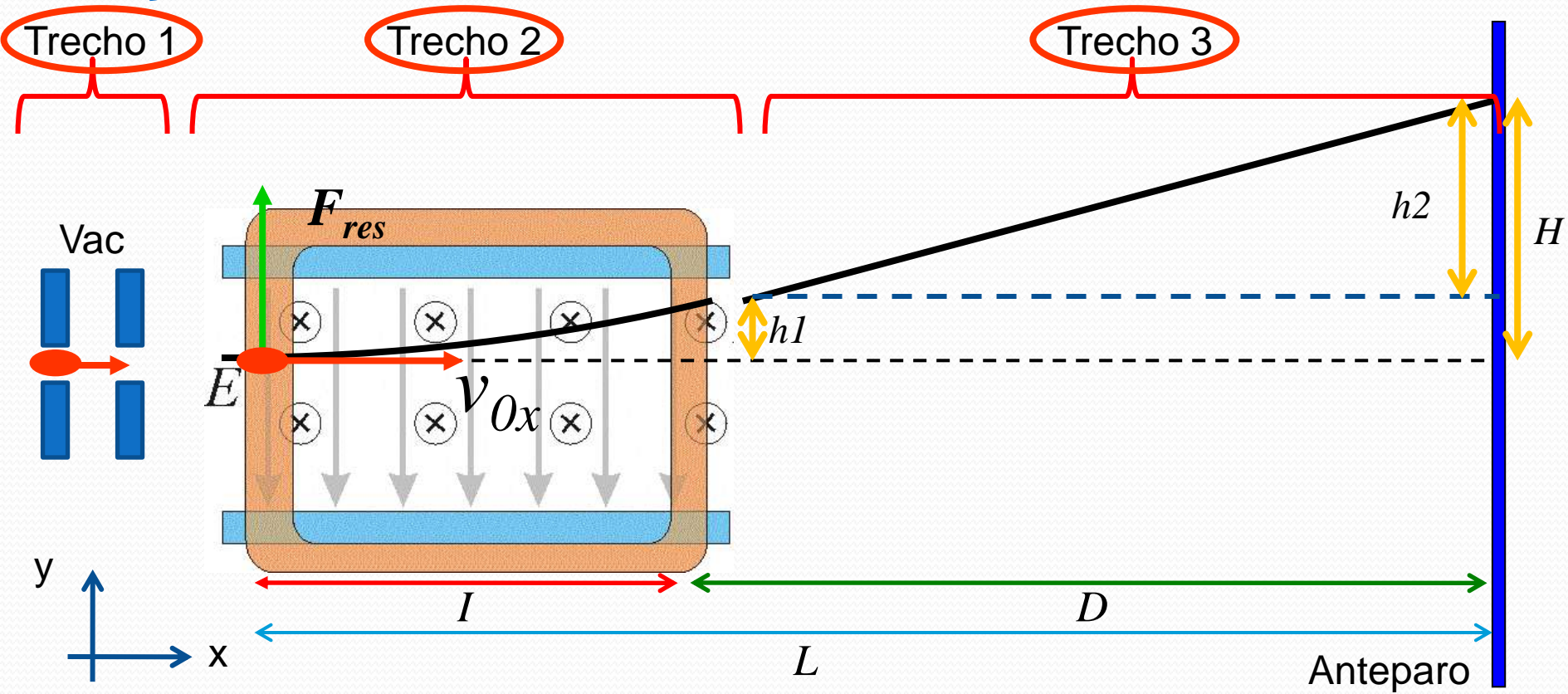
- As forças elétrica e magnética são iguais e opostas no caso da partícula que não sofre deslocamento, ( $\mathbf{H}=\mathbf{0}$ ), isso leva à seguinte expressão para a velocidade dessa partícula:

$$|\vec{F}_E| = |\vec{F}_M| \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} \text{ para } H = 0$$



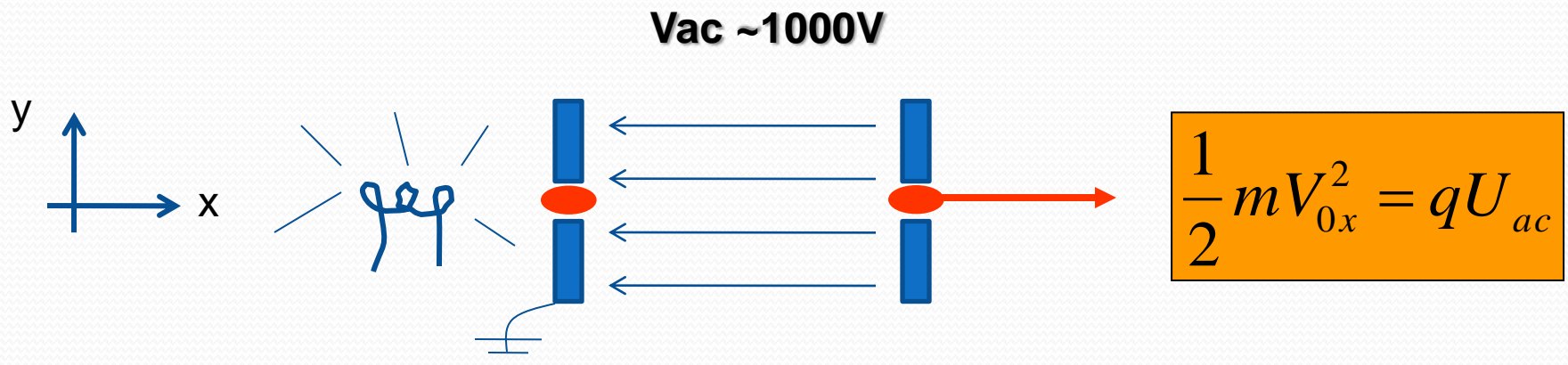
# Modelo Simplificado

- O movimento é composto de três partes:
  1. Aceleração em  $x$
  2. Aceleração em  $y$
  3. Movimento uniforme



# Modelo Simplificado – Traj. 1

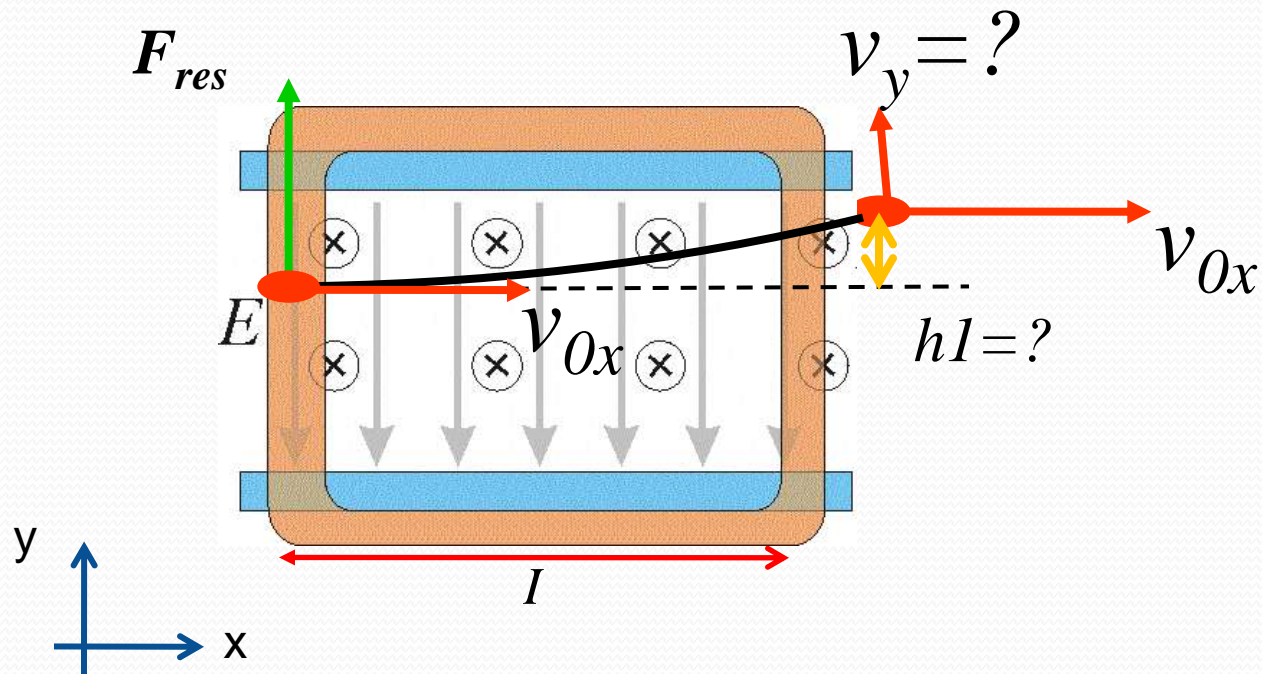
- No primeiro trecho do movimento, a partícula (**um elétron**) é acelerada entre duas placas com alta voltagem (**um capacitor :-)**)
- O elétron é emitido, praticamente parado, por um filamento aquecido (botão de intensidade do TRC)



- A energia potencial elétrica é convertida em energia cinética, então qual a velocidade de aceleração do elétron?

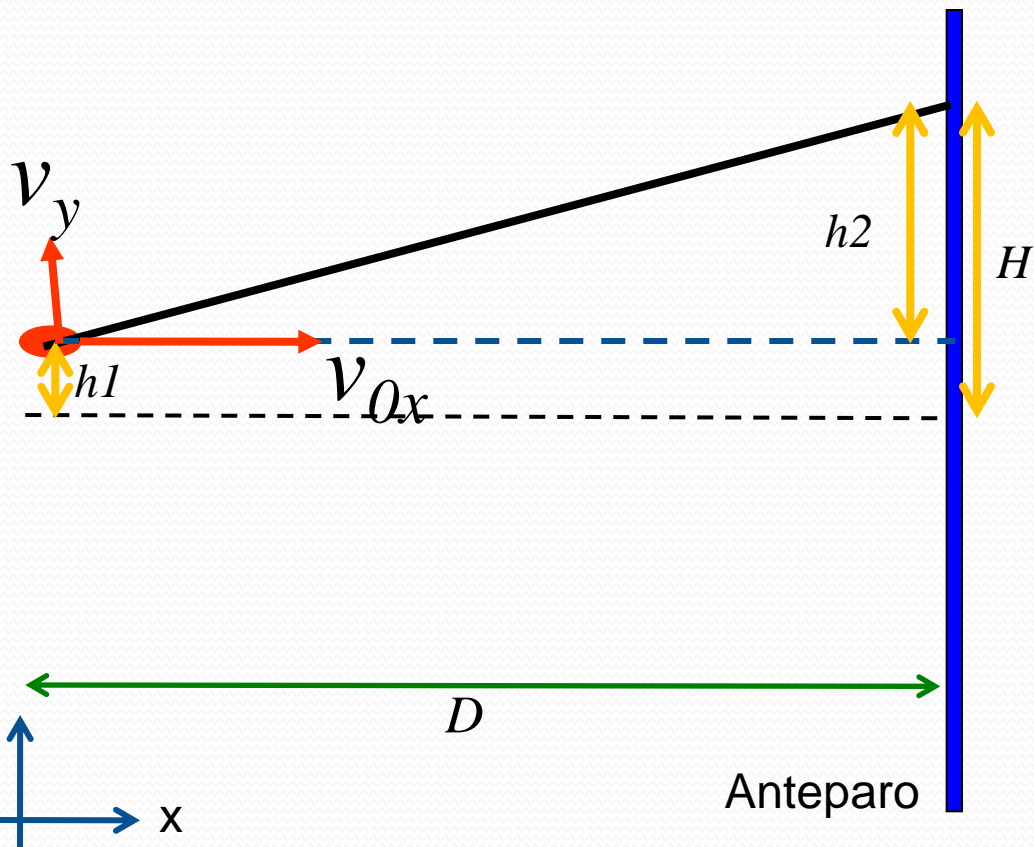
# Modelo Simplificado – Traj. 2

- Na região com  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$ , temos um movimento acelerado em  $y$ , que desvia a partícula, e uniforme em  $x$ 
  - Assumimos que  $v_x = \text{cte}$
  - Calculamos  $v_y$  e  $h_1$  na saída



# Modelo Simplificado – Traj. 3

- Na última parte não há forças agindo sobre a partícula, então o movimento é uniforme em  $x$  e  $y$ 
  - Usamos as velocidades  $v_y$  e  $v_{0x}$ , e a posição  $h_1$ , para encontrar  $H$

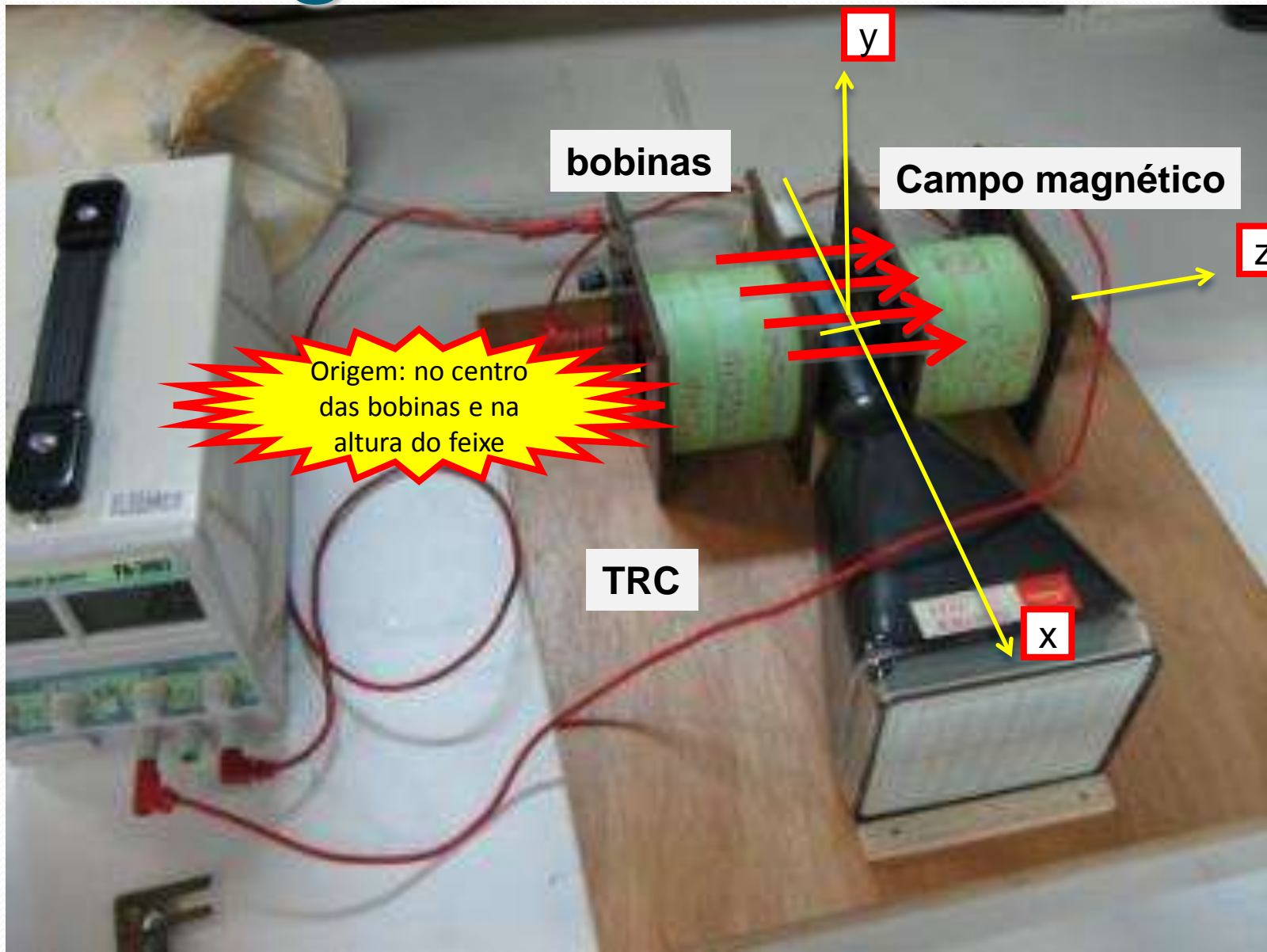


$$(E - v_{0x}B) \propto v_{0x}^2 H$$

$$E / B = v_{reto}$$

- Quanto vale a constante de proporcionalidade?
- Podemos calcular E e B quando a partícula passa direto?

# Montagem com as bobinas



# Para entregar, Parte 1

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
  - Aplique uma tensão aceleradora  **$V_{ac}=700V$**
- Gire o **TRC** e alinhe com o campo magnético local
  - Procure fazer com que o feixe esteja focalizado e pelo menos sobre o eixo horizontal
  - Defina a origem neste ponto e deixe o TRC fixo nesta posição da bancada
- Monte as bobinas de cada lado do tubo do TRC.
  - Elas devem estar alinhadas com as placas desviadoras verticais e entre si.
  - Como verificar se as bobinas estão alinhadas entre si?

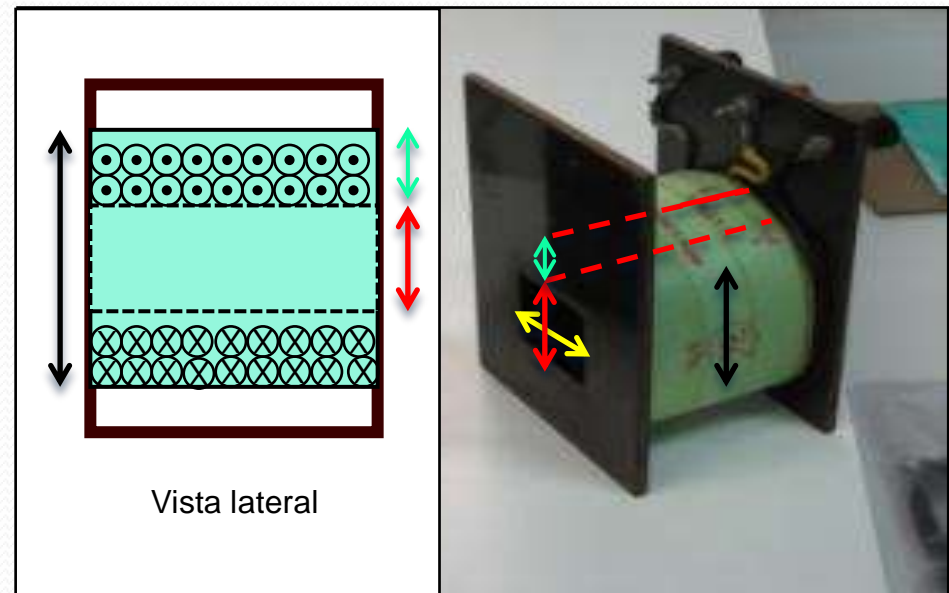
# Parte 2, o campo magnético

- Use um resistor de proteção de **47 ohms** para medir a corrente pelas bobinas
- Aumente e diminua a corrente e verifique o que acontece com o feixe. Comente.
- Veja que a posição depende da corrente aplicada.
- Anote a corrente máxima que permita que o feixe continue visível na tela do **TRC** (com **Uac=700V**).
  - CUIDADO: Não passe de **1.5A** e não mantenha uma corrente alta por muito tempo para não danificar as bobinas e nem o resistor de proteção.



# Parte 3, dimensões

- Anote o número e as dimensões da bobina, internas e externas:
- a espessura e o comprimento do enrolamento e do vão interno
- com as bobinas retangulares, coloque a maior dimensão na vertical e explique porque isto é necessário.



# Parte 4, deslocamento $\times I_B$

- Medir  $h$  em função de  $I_B$  para  $U_{ac}$  fixo ( $=v_{0x}$  fixo).
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

$$h = C i_{bob}^\gamma$$

- Fazer um gráfico de  $I_B$  em função de  $h$  para  $U_{ac}$  fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
  - Se for obtenha o expoente gamma. Compare com os valores obtidos por seus colegas.
  - **Importante**: a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível de pontos medidos.

# Parte 5, deslocamento x $U_{ac}$

- Medir  $h$  em função de  $U_{ac}$  para  $I_B$  fixo.
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

$$h = DU_{ac}^{\delta}$$

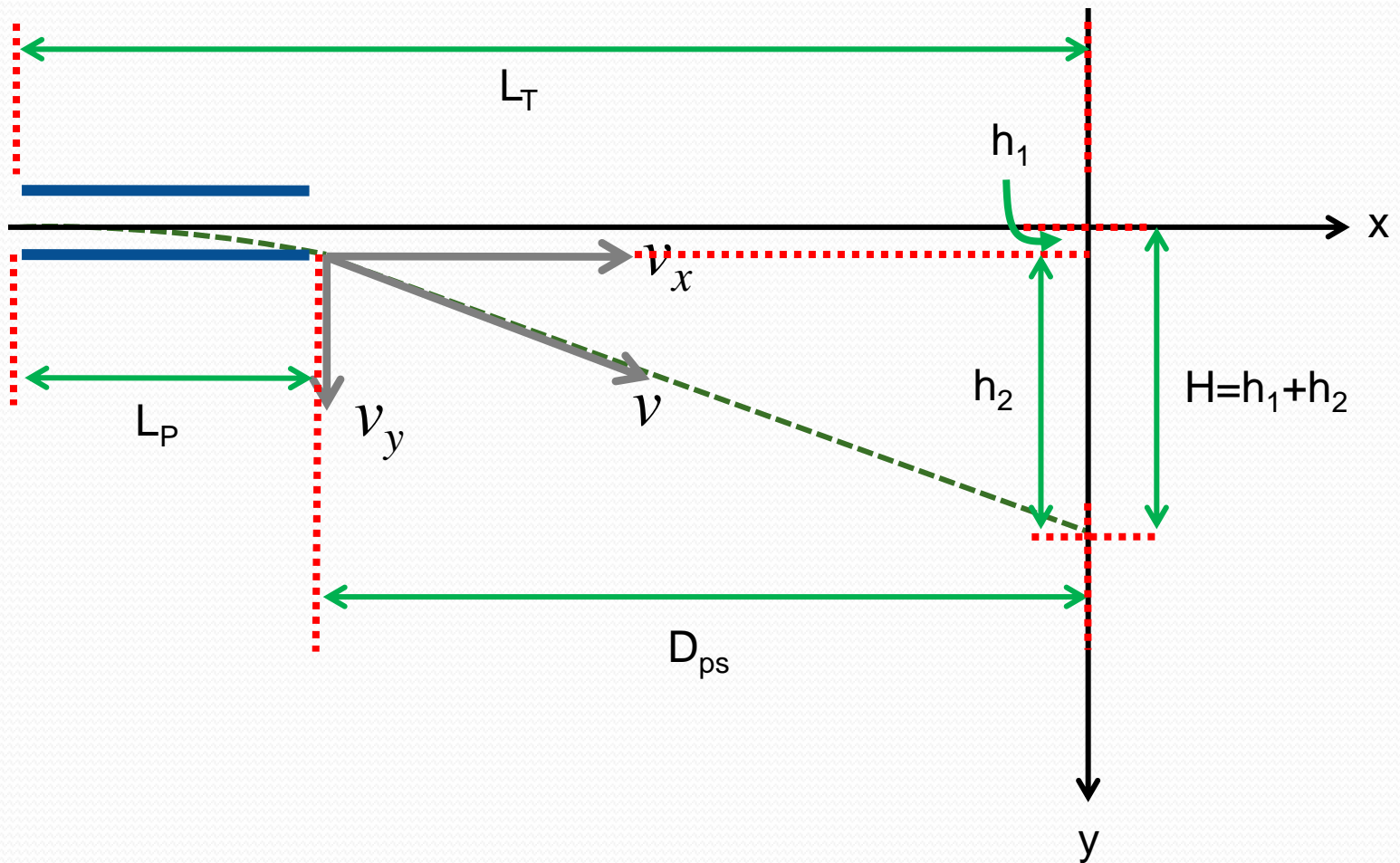
- Fazer um gráfico de  $h$  em função de  $U_{ac}$  para  $I_B$  fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
  - Se for obtenha o expoente delta. Compare com os valores obtidos por seus colegas.
  - **Importante:** a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível de pontos medidos.

# Tarefa 5: Modelos

- Construir um modelo para o deslocamento  $h$  em função de  $V_p$  e  $U_{ac}$  supondo um capacitor de placas paralelas.
  - **Usar a notação que está na aula e que é repetida nos próximos 2 slides!!!**
- Construir um modelo para o deslocamento  $h$  em função do  $I_{bob}$  e  $U_{ac}$  supondo bobinas ideais de comprimento  $L_{bob}$ .
  - **Usar a notação que está na aula e que é repetida nos próximos 2 slides!!!**

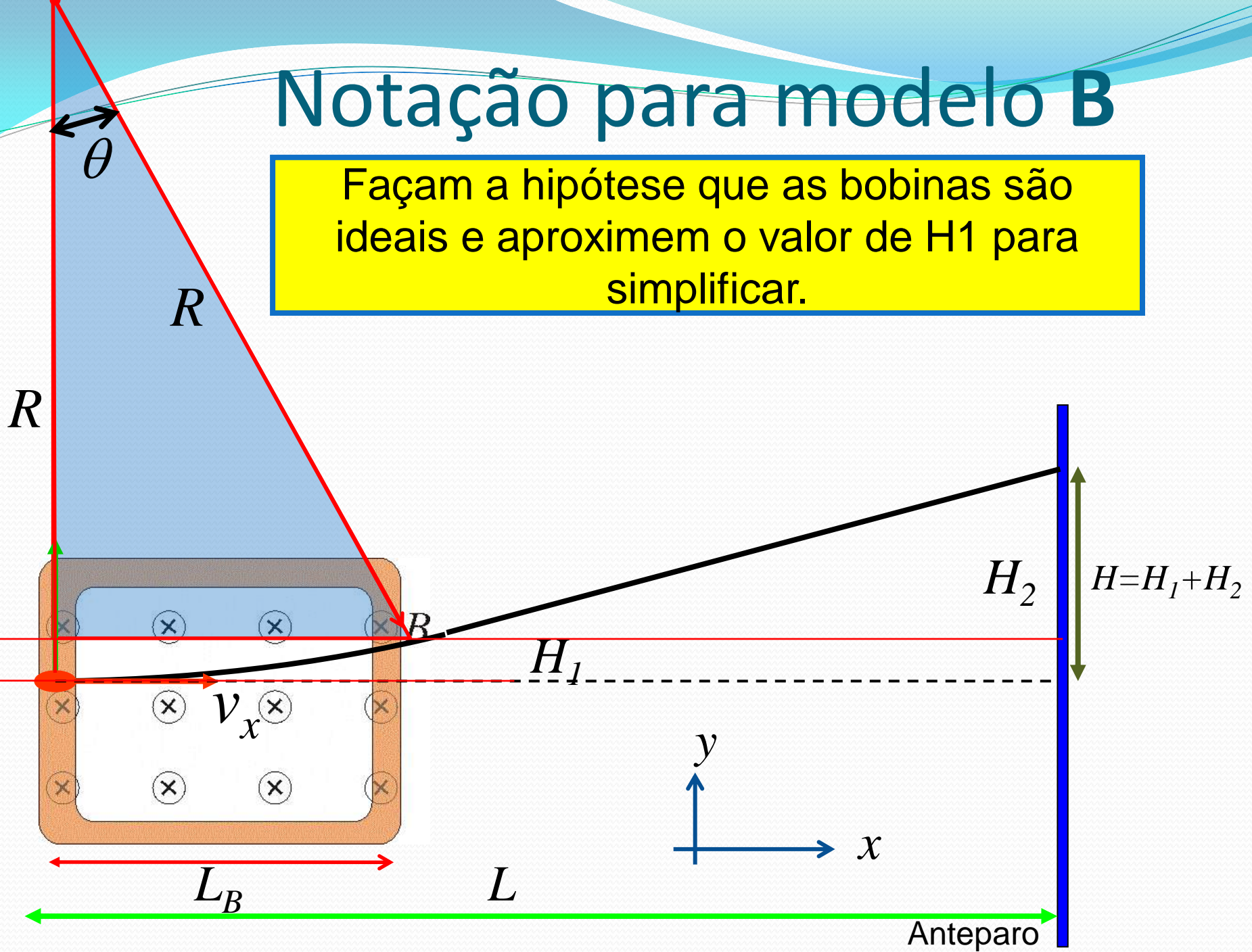
# Notação para modelo E

Façam a hipótese que as placas são um capacitor ideal



# Notação para modelo B

Façam a hipótese que as bobinas são ideais e aproximem o valor de  $H_1$  para simplificar.



### 3. Dicas



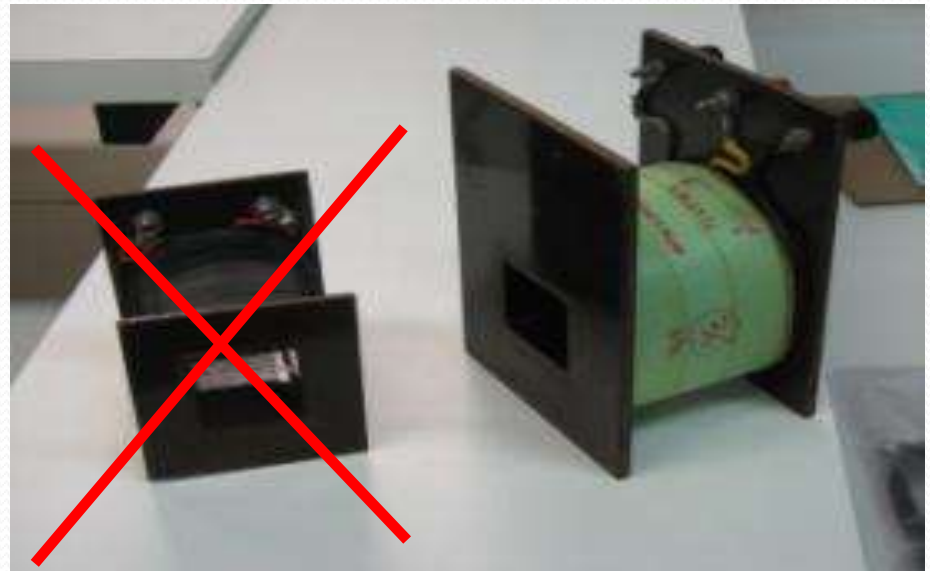
# Para pensar:

- Quantos pontos medir em cada caso?
  - O maior número possível, levando em conta os erros experimentais.
- O zero está no centro?
  - Medir para cima, para baixo ou em ambas as direções em relação à origem? Precisa?
- Determinação dos erros experimentais:
  - Qual o erro da medida da posição?
  - O tamanho da “mancha” na tela deve ser levado em conta?
  - E se a mancha duplica?
  - Há erro sistemático? Ele pode ser “descontado”?



# Cuidado experimental 1

- Parear bobinas
  - Temos 3 tipos de bobinas
    - 100, 250 e 500 espiras
      - Usar o mesmo tipo pois senão o campo não será simétrico
- Anotar o numero da bobina utilizada

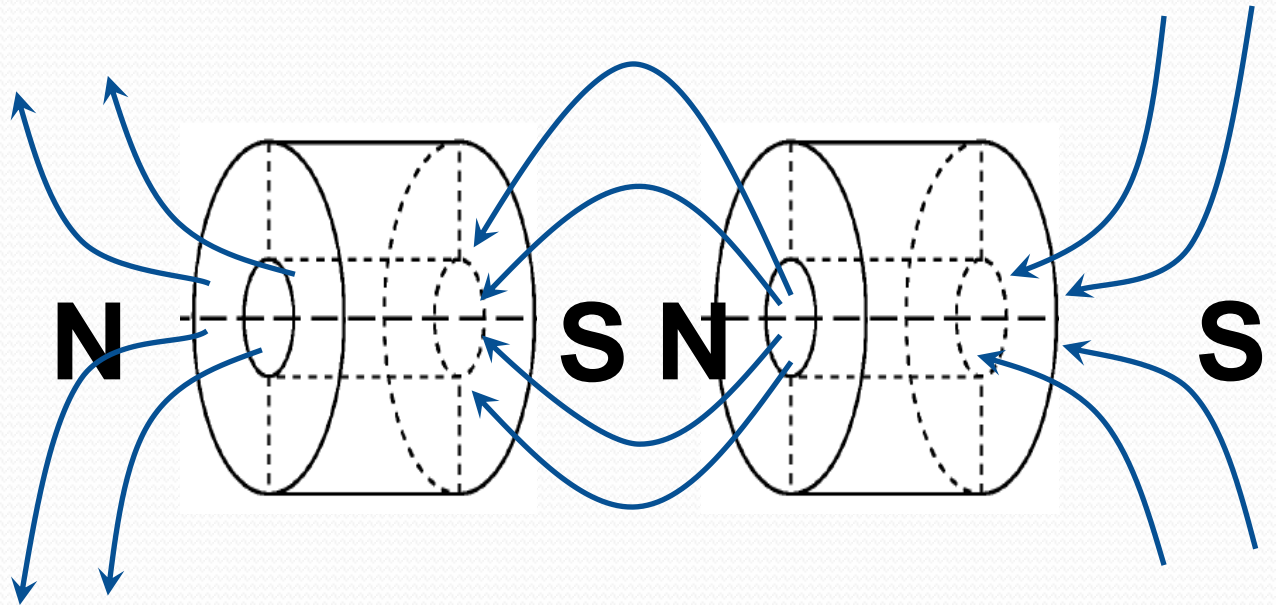
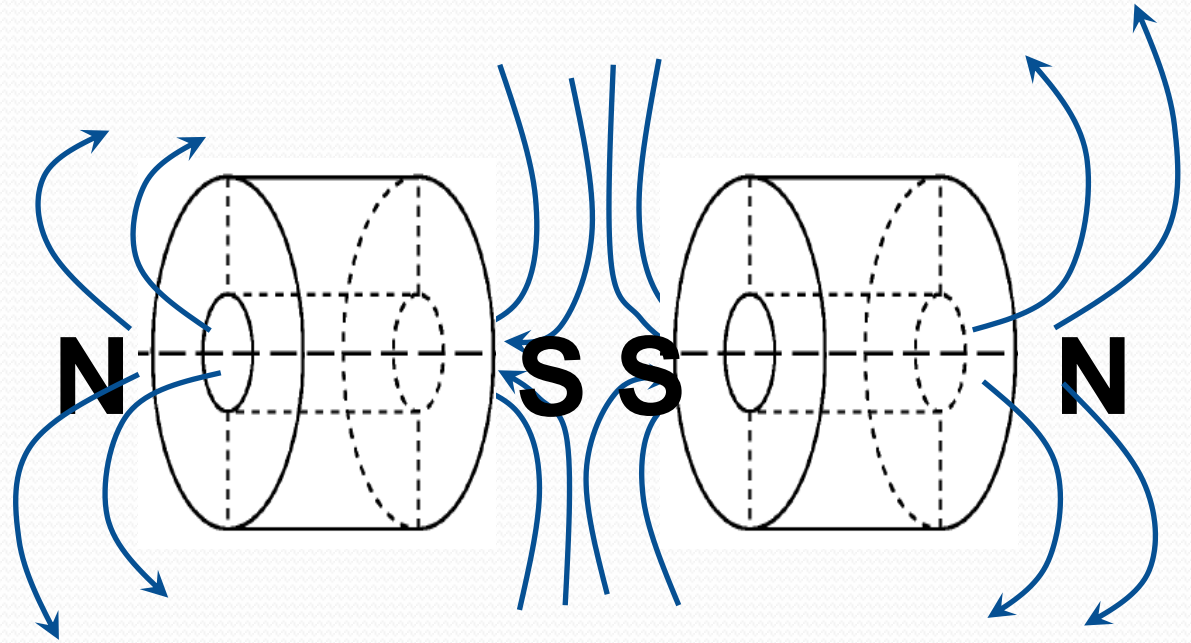


# Cuidado experimental 2

- Não confiêm na leitura da corrente ou tensão diretamente na fonte DC
  - Não usem o multímetro com amperímetro!
  - Usar um resistor de proteção de 10 ohms que limite a corrente máxima no circuito em 1.5 amps.
- 
- NÃO DEIXEM O RESISTOR ESQUENTAR



# Cuidado 3



# Aterramento

- Nesta semana vocês vão usar apenas as bobinas, ou seja, as placas ficarão desligadas. Portanto, deixem todas aterradas para que todo o desvio do feixe seja devido ao campo magnético das bobinas

