

Seletor de Velocidades

Movimento em Campo Magnético

Aula 3

<http://lababerto.if.usp.br>

Prof. Antonio Domingues dos Santos
adsantos@if.usp.br
Ramal: 6886
Mário Schenberg, sala 205

Prof. Leandro Barbosa
lbarbosa@if.usp.br
Ramal: 7157
Ala1, sala 225

Profa. Eloisa Szanto
eloisa@dfn.if.usp.br
Ramal: 7111
Pelletron

Prof. Henrique
Barbosa
hbarbosa@if.usp.br
Ramal: 6647
Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

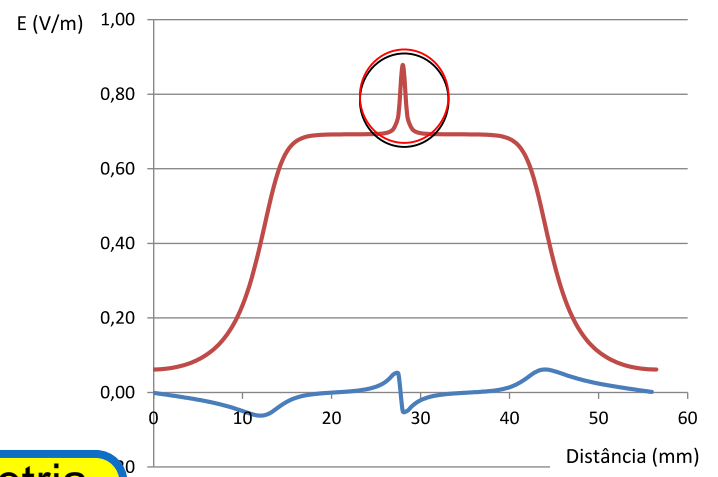
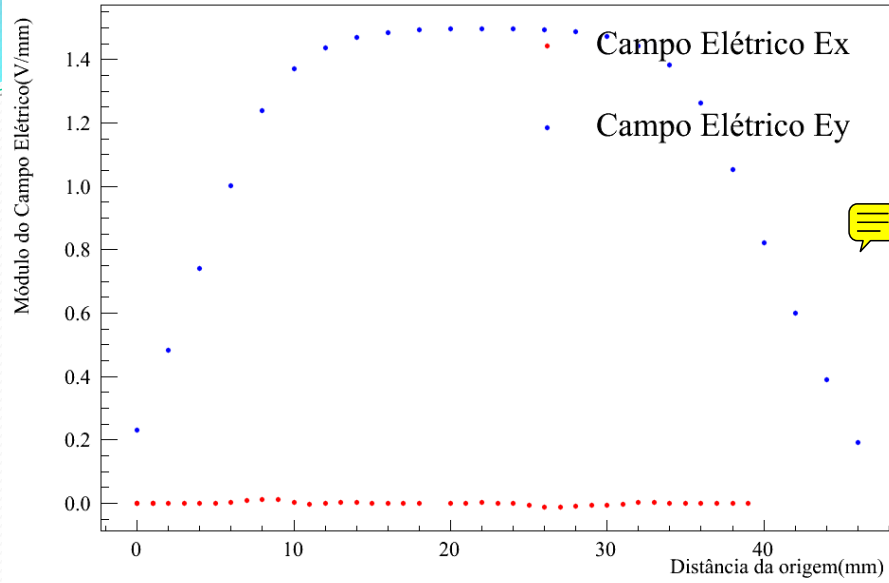
Prof. Paulo Artaxo
artaxo@if.usp.br
Ramal: 7016
Basílio, sala 101

Lista de Discussão

- Lista geral de todas as turmas, professores e monitores:
 - Deve ser usada para tirar dúvidas, trocar experiências, comparar resultados, etc...
 - Os avisos gerais da disciplinas serão distribuídos por esta lista, por isso, assinem!

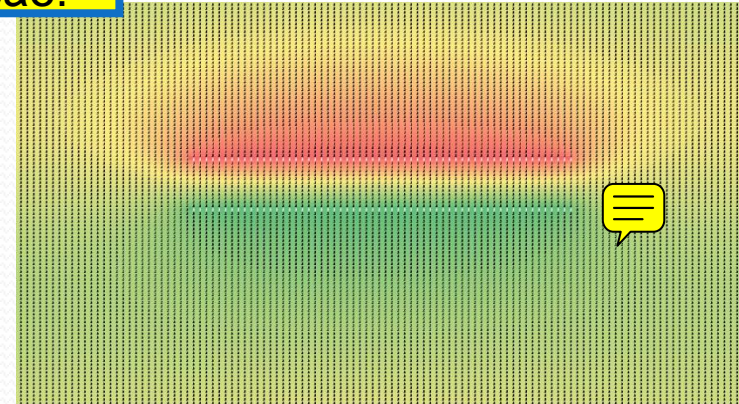
<http://groups.google.com/group/labflex>

Campo Elétrico Excel



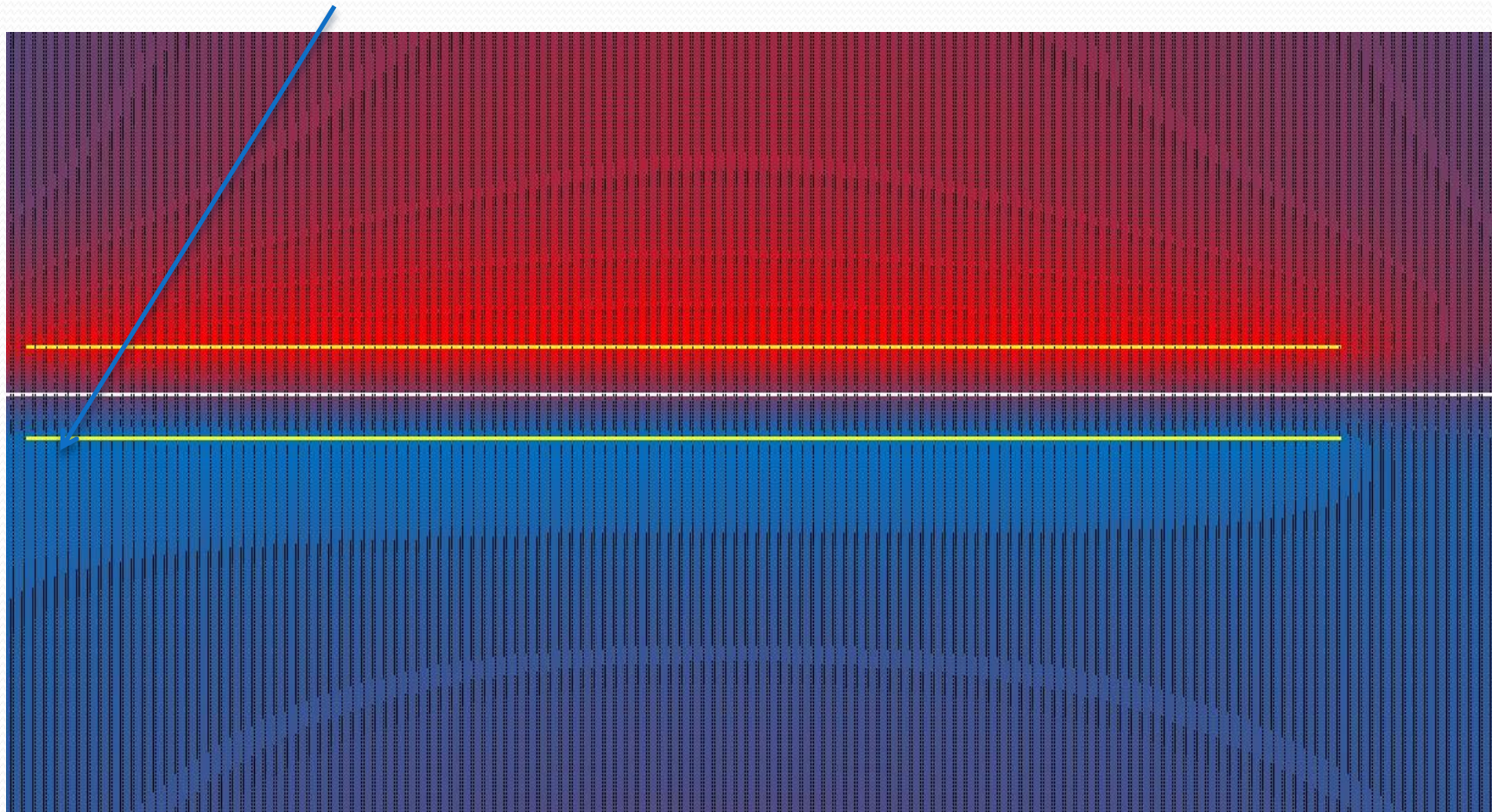
A simetria afeta a solução!

Figura 1: A linha azul representa o Ey e a linha rosa representa o Ex.



feito a partir do Excel. O vermelho representa o valor mínimo, o amarelo

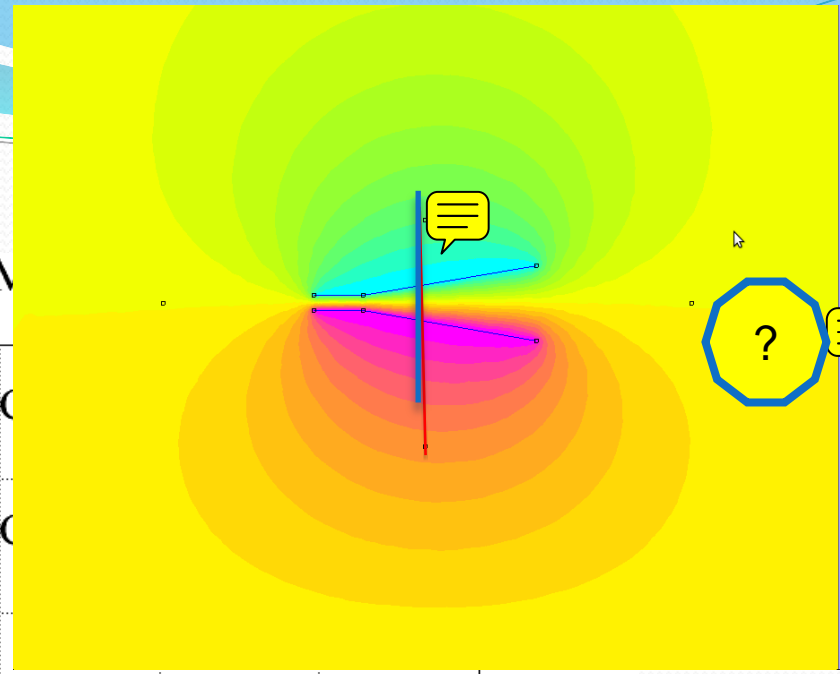
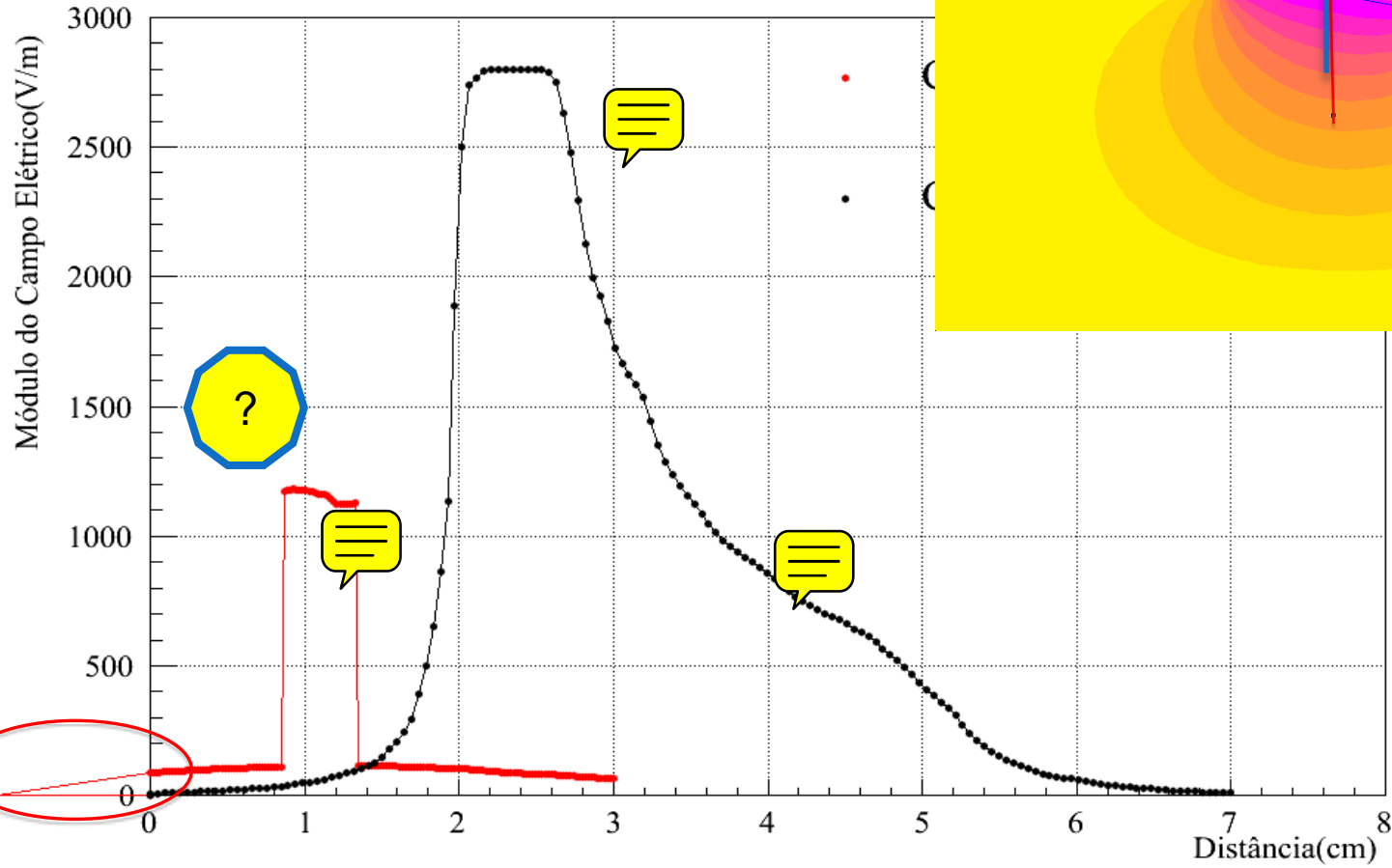
Fazer uma região maior em torno do capacitor, p/ não acontecer essas distorções



simulação do campo elétrico do capacitor feito pela planilha excel , a linha branca representando foram calculadas as componentes do campo, as linhas amarelas representam as placas de sendo a superior de 9V e a inferior de 0V.

Foi pedido : Ey ao longo de x e
 Ex ao longo de x, porque x é o
 eixo definido pela linha do feixe!

Campo Elétrico FEM



) +& ! \$ " ' ,) % ! \$ ' ! !
 ' - ' . (%
 / ! 0+1 " !' 2 ! 3+4 ' !) # 5\$) # 6%



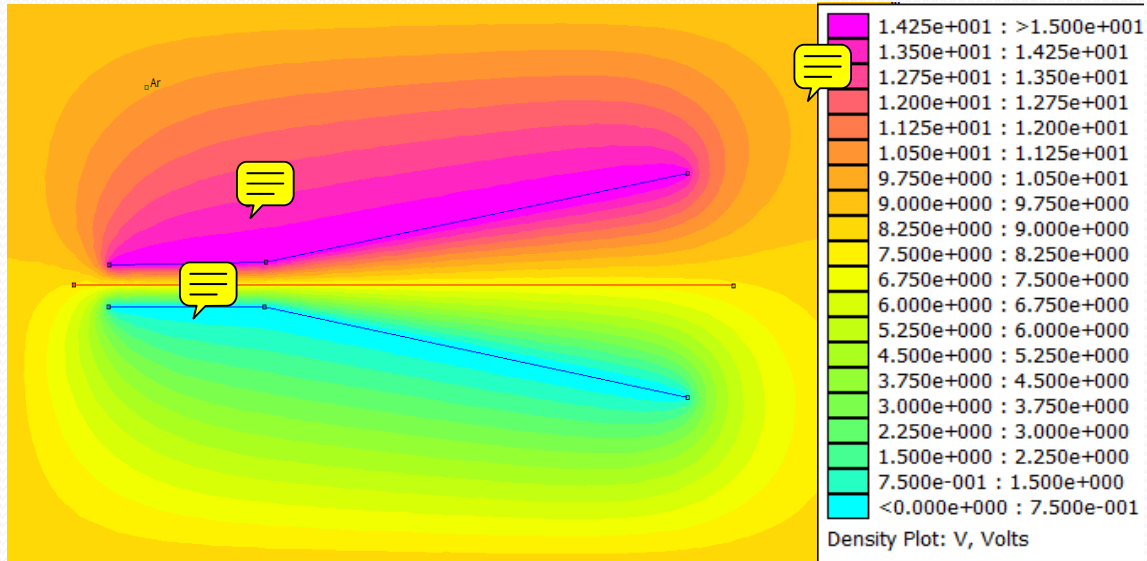


Figura 2: Aspecto da simulação do Campo Elétrico utilizando o programa Femm junto à sua legenda, em que as cores indicam a intensidade do campo.

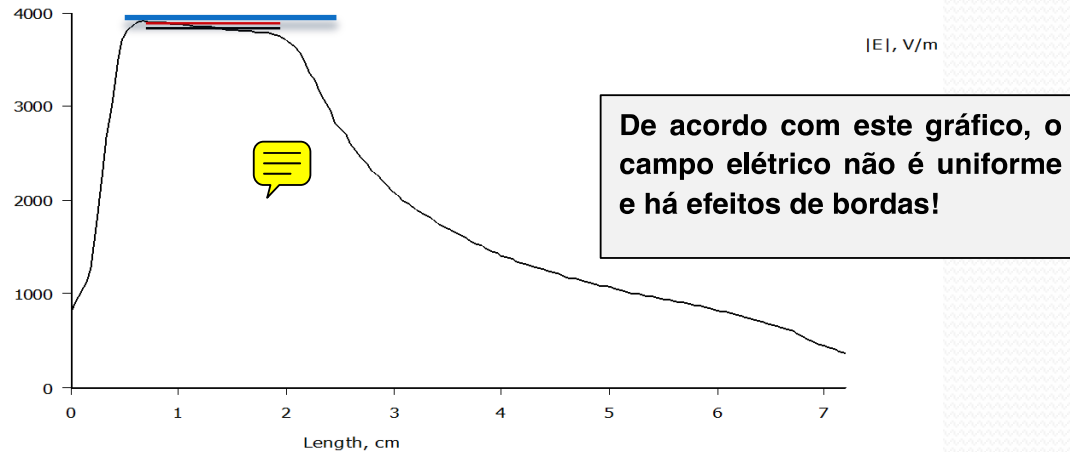


Figura 3: Gráfico do Campo Elétrico em função da distância às placas.

Ok, a menos da cond de contorno das bordas.

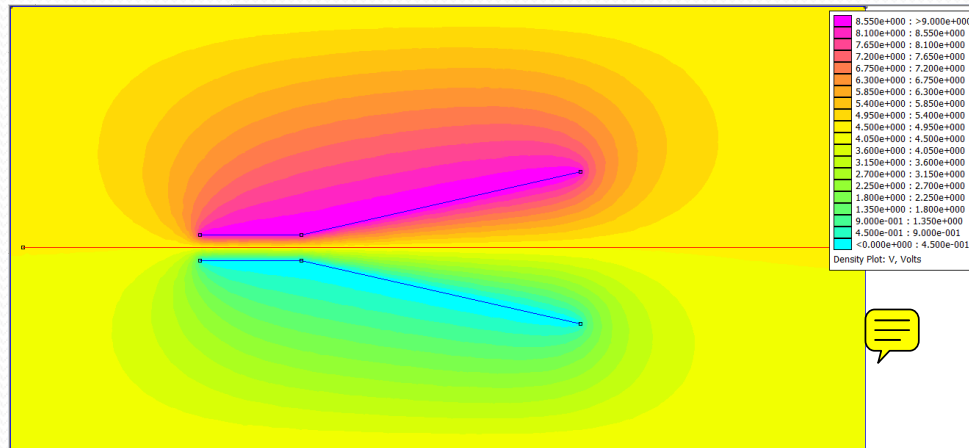


Figura 3: simulação do campo elétrico feito no programa feem , a placa superior tem valor de 9V e a inferior de 0V.

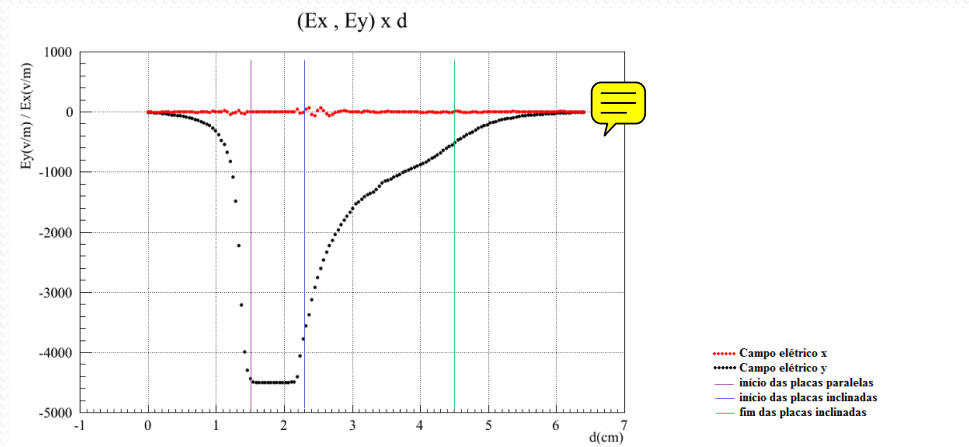
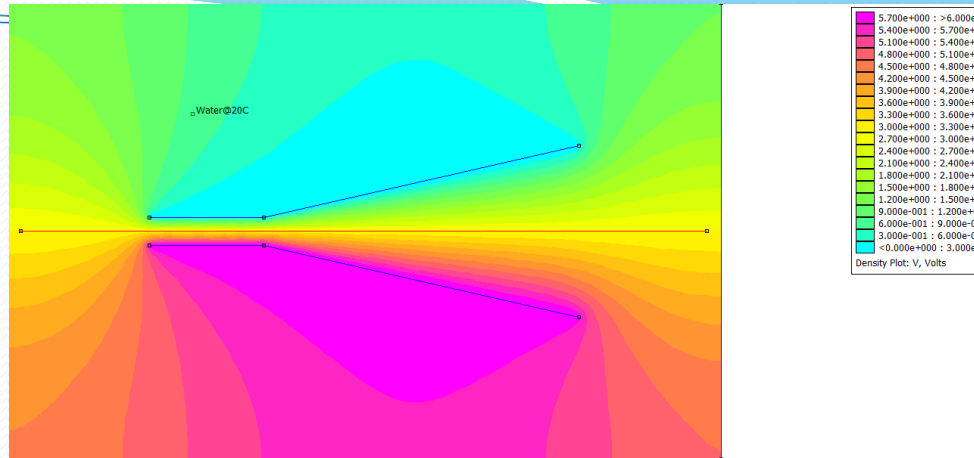
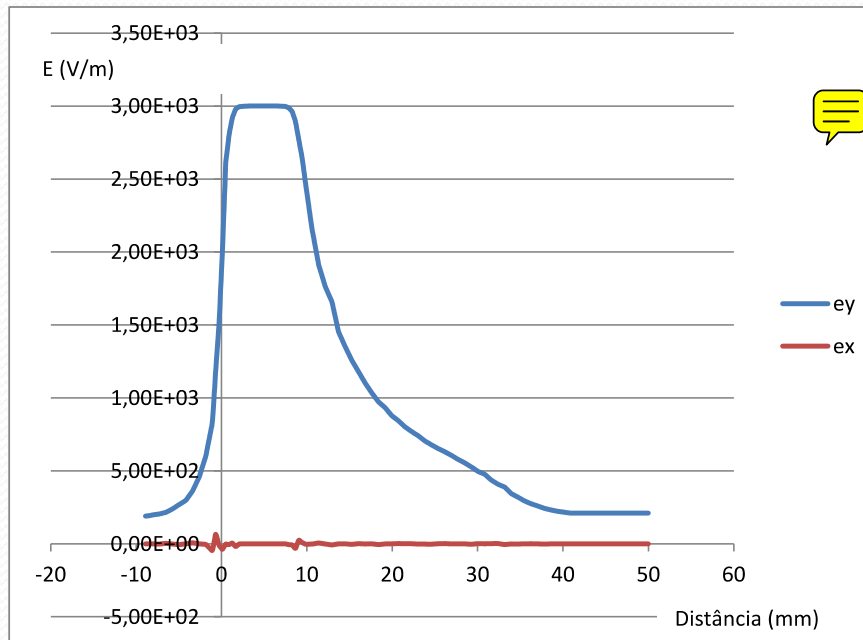


Figura 4: gráfico das componentes do campo elétrico, sendo E_y a componente do vetor normal a linha de medida(E_n) e E_x a componente tangente a esta(E_t).

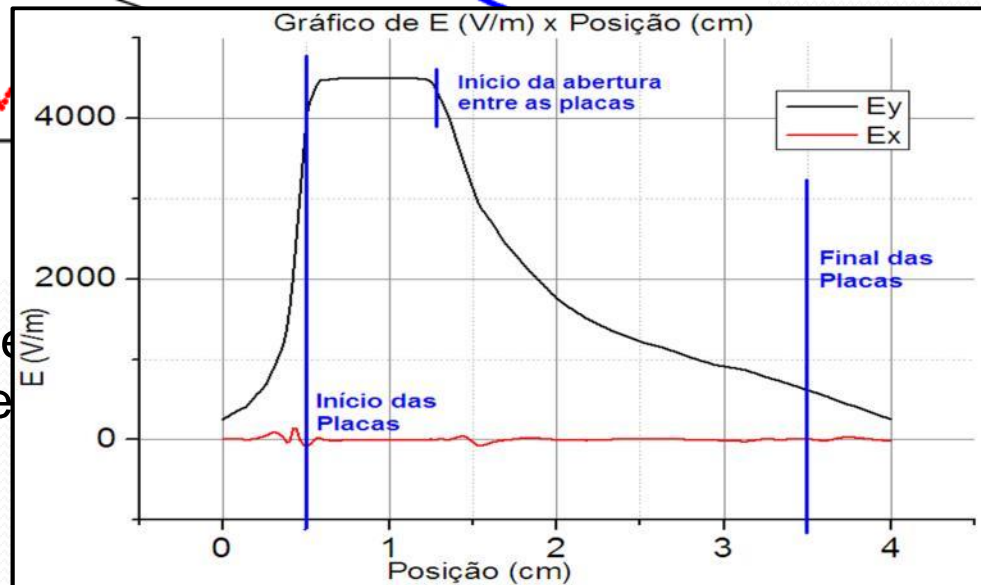
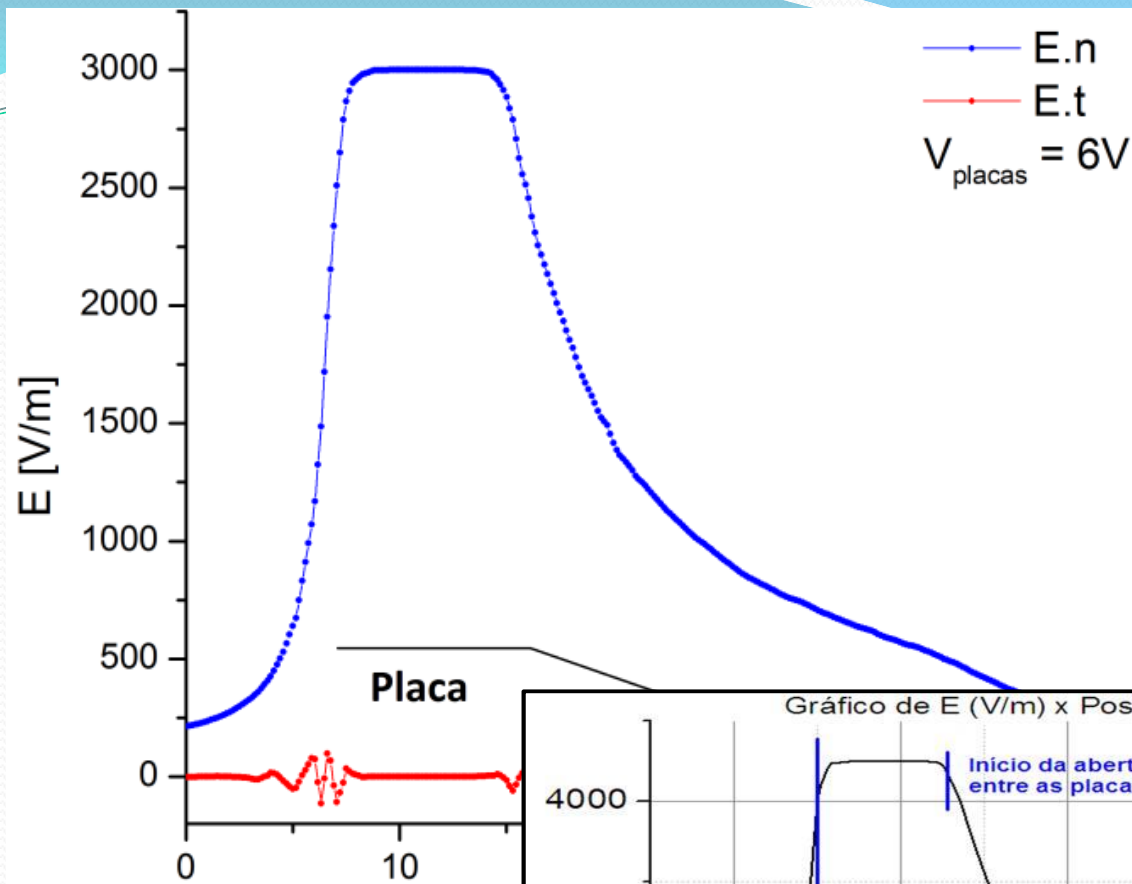


Assim, obtivemos o gráfico com os valores de E_x e E_y .



Ok, cond de contorno da borda correta!
Mas mostre a placa no gráfico!!

A placa encontra-se a 10mm do ponto de origem (-9mm) e termina 8mm depois. Dessa forma, no gráfico, a placa estaria entre 1mm e 9mm.



6 – Gráfico da variação de E_n (V/m) sendo E_n a componente perpendicular

Gráfico7. Gráfico do campo elétrico pela posição. O gráfico foi gerado partindo da simulação acima, considerando como ponto de medida um linha no centro do espaço entre as placas, simulando o caminho que um feixe de elétrons sem sofrer deslocamento faria com o TRC acionado.

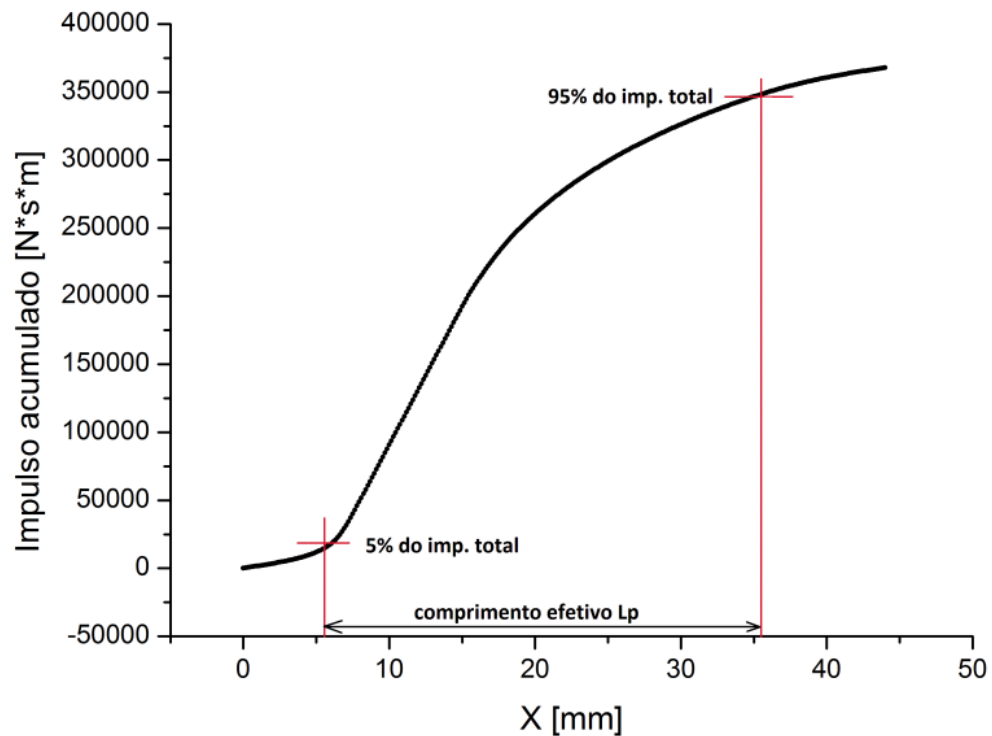
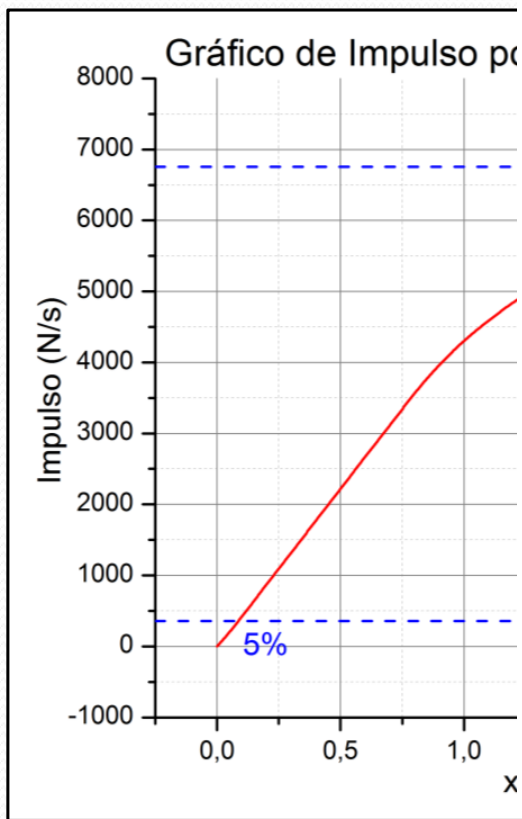


Figura 7 – Gráfico do impulso acumulado em função do comprimento.

Gráfico1. Gráfico do impulso calculado por integração do campo elétrico - componente E_x - do TRC (pelo programa Origin, por área matemática). Os valores de início e fim do L_p , indicados como linhas (95% e 5%), foram calculados como porcentagem do valor máximo de impulso, resultando em $L_p=2.4\text{cm}$

Simulação com FEMM

- Tem vários grupos com a simulação do E com a cond de contorno das bordas errada: no TRC os limites são não condutores.
- E dizer os parâmetros da simulação:
 - qual foi o das bordas .
 - a ddp
 - as dimens das placas.
 - Tem que dizer onde estão as bordas e qual seu potencial.

TAREFAS SEMANA PASSADA



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Movimento em campo elétrico
- Semana 2
 - Desenvolver o modelo para o campo elétrico e simular o campo elétrico com o programa FEMM
- Semana 3
 - Movimento em campo magnético magnético
- Semana 4
 - mapear o campo magnético e desenvolver modelo para o mesmo
- Semana 5
 - Calibração do seletor de velocidades
- Semana 5
 - Resolução do seletor de velocidades



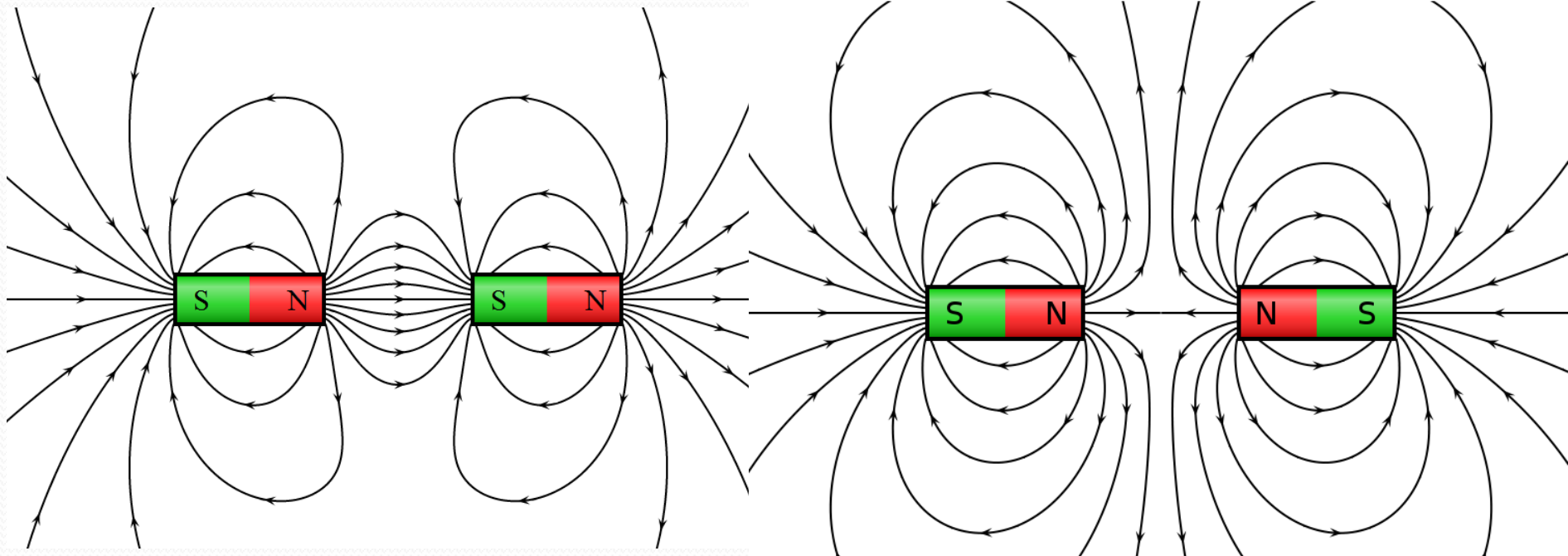
Semana passada

Tarefa 1: controles do TRC

Já fez
semana
passada e
tem que fazer
de novo

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
 - Aplique uma tensão aceleradora **$U_{ac}=700V$**
 - Mexa no controles:
 - Foco
 - Intensidade
 - Tensão aceleradora (não passar de **$1000V$**)
 - Observe o que acontece com o feixe em cada caso e comente.
- Gire o **TRC** na mesa e observe o que acontece com o feixe
 - Procure fazer com que o feixe esteja focalizado e pelo menos sobre o eixo horizontal
- Nesta condição, aplique **$U_{ac}=700V$** e defina a origem neste ponto e deixe o TRC fixo nesta posição da bancada (fotografe a tela do TRC)

A proposta desta semana: estudar o deslocamento do feixe de elétrons do TRC no campo magnético das bobinas



As medidas para esta semana:

1. Medir a dependência do deslocamento dos elétrons ao atravessar a região do campo magnético criado pelas bobinas na tela, com os parâmetros que definem a velocidade dos elétrons e a intensidade do campo magnético aplicado:
 1. a energia dos elétrons e
 2. a corrente nas bobinas
2. Dicas

Relembrando: Seletor de Velocidades

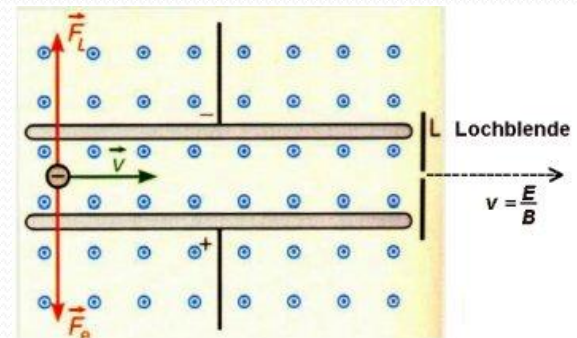
- Um seletor de velocidades é um dispositivo que seleciona as partículas, de um feixe de partículas carregadas, de acordo com sua velocidade.
- Esse dispositivo é também chamado de **filtro de velocidades**, ou **filtro de Wien**
- ... Um acelerador de partículas “simples”

Todo filtro faz uma seleção dos objetos que o atravessam.

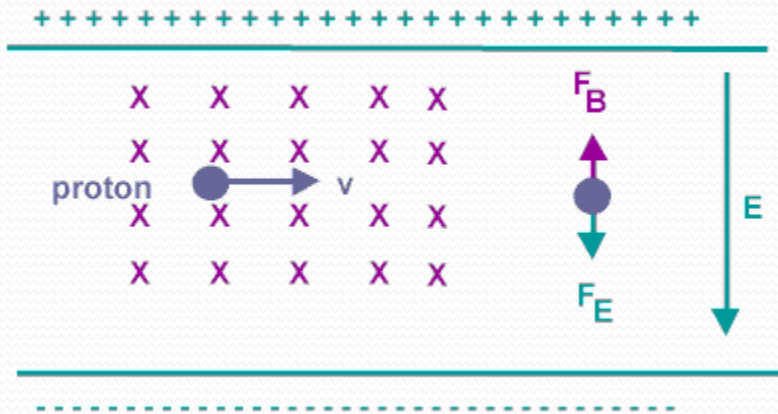
Seletor de velocidades: como funciona

- 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:

É necessário aplicar uma força dependente da velocidade!
Que cause efeitos diferentes em partículas carregadas idênticas, mas com velocidades diferentes.

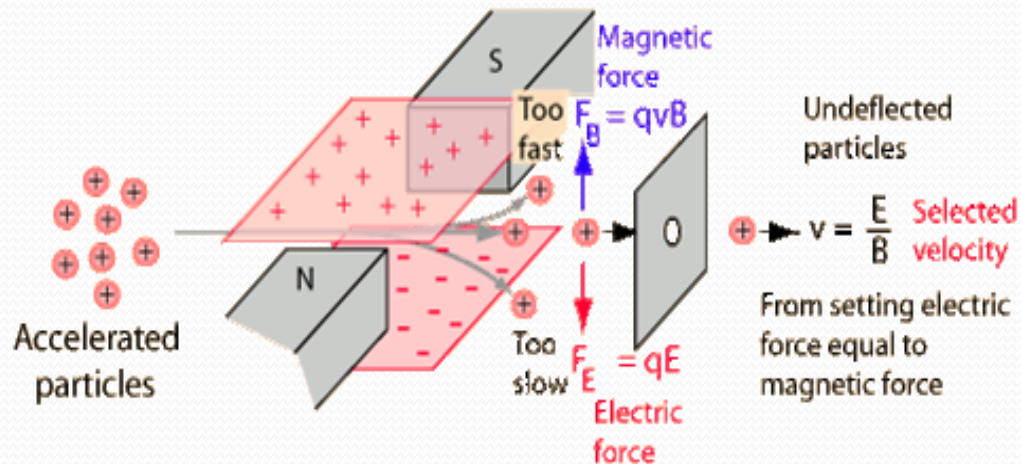


Funcionamento do Seletor



- Dois campos cruzados e perpendiculares à direção do feixe selecionam velocidades:
 - um é um campo magnético
 - outro é um campo elétrico
- **O segredo:** os campos são orientados de tal forma que F_E e F_B são opostas.

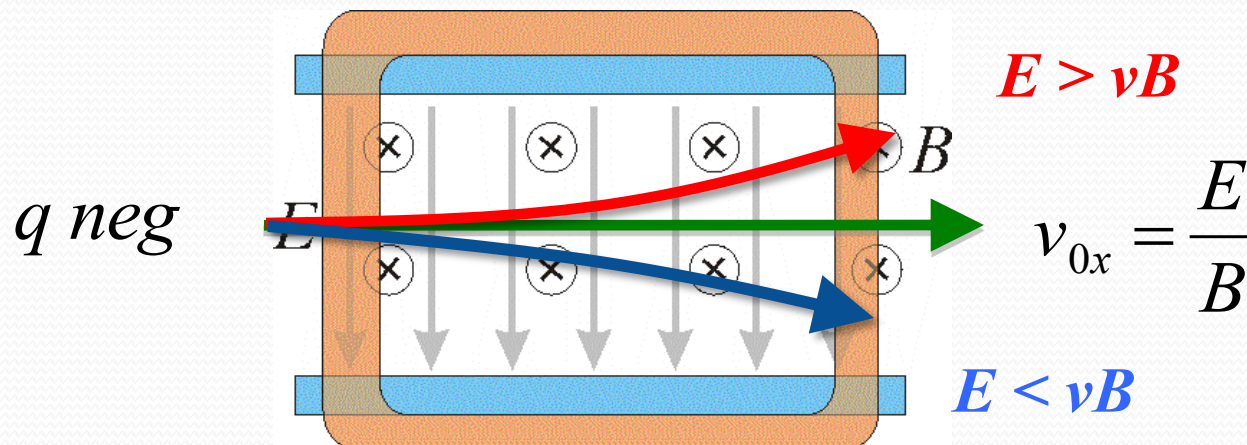
Escolhe-se a intensidade dos campos tal que a partícula da velocidade de interesse passe sem ser desviada:

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


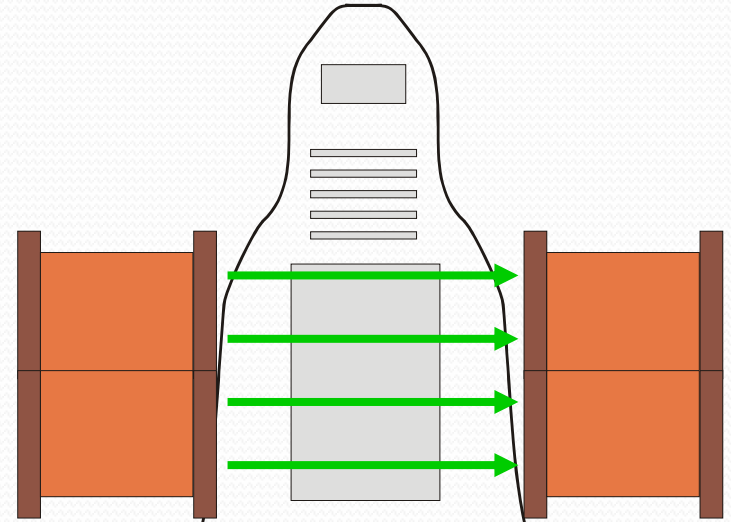
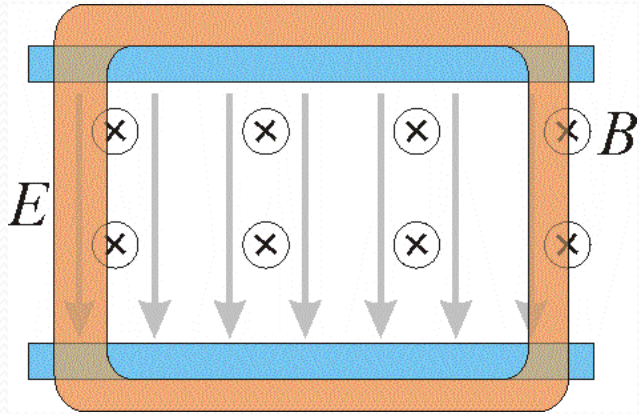
As forças na partícula dentro do seletor

- Como 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:

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

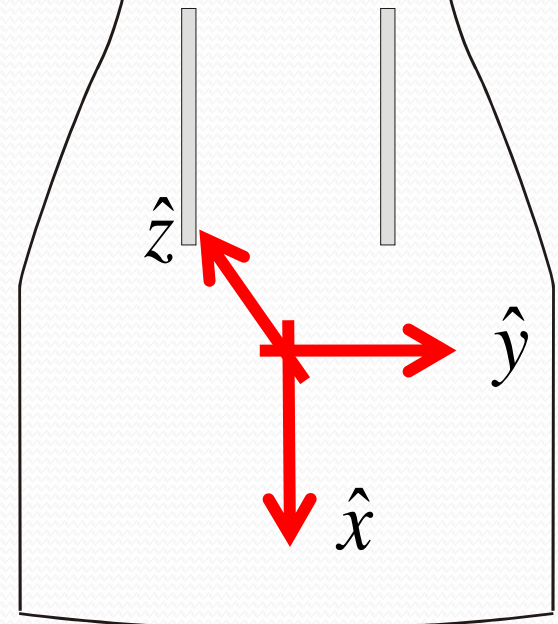
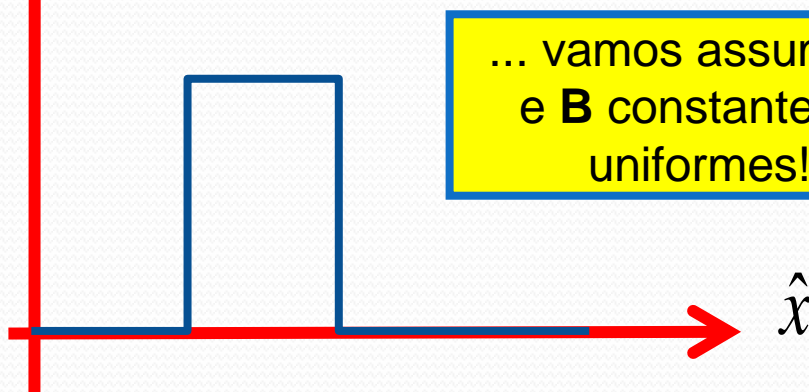


Seletor de velocidades - IDEAL



$$|\vec{E}| = E_z, |\vec{B}| = B_y$$

E_z, B_y



Como selecionar a partícula com a velocidade desejada?

- Sabemos que velocidade deve ter a partícula para que o feixe passe sem desvio: podemos selecionar a velocidade.
 - Como impor essa condição?
- Quais são os parâmetros que podemos controlar?
 - potencial aplicado às placas
 - potencial de aceleração do feixe
 - corrente nas bobinas
- Como a deflexão do feixe depende deles?

Parte 3: deslocamento x V_{placa}

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

$$h = A V_P^\alpha$$

- Fazer um gráfico de V_p em função de h para U_{ac} fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada:
 - obter o expoente alfa. Comparar com os valores obtidos por seus colegas e com o valor esperado.
- **Importante:** a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível de pontos medidos.

A dependência do deslocamento com campo elétrico (V_p) já fizeram na semana passada

Tarefa 4: deslocamento x U_{ac}

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

$$h = BU_{ac}^{\beta}$$

- Fazer um gráfico de h em função de U_{ac} para V_p fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada:
 - obter o expoente beta. 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.

Também tarefa
da semana
passada

Estudar como os elétrons são afetados pelo campo magnético:

- Vamos fazer o mesmo estudo para o caso do campo magnético (sem ligar o campo elétrico):
 - Ver como H depende da corrente nas bobinas para uma velocidade fixa
 - E como H depende da velocidade dos elétrons para uma corrente nas bobinas fixa.

Tarefa 1: deslocamento $\times i_{\text{Bob}}$

- Medir h em função de \mathbf{I}_B para \mathbf{U}_{ac} fixo ($=\mathbf{v}_{0x}$ fixo).
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

$$H = C i_{bob}^g$$

- Fazer um gráfico de \mathbf{I}_B em função de h para \mathbf{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.

Tarefa 2: 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:

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

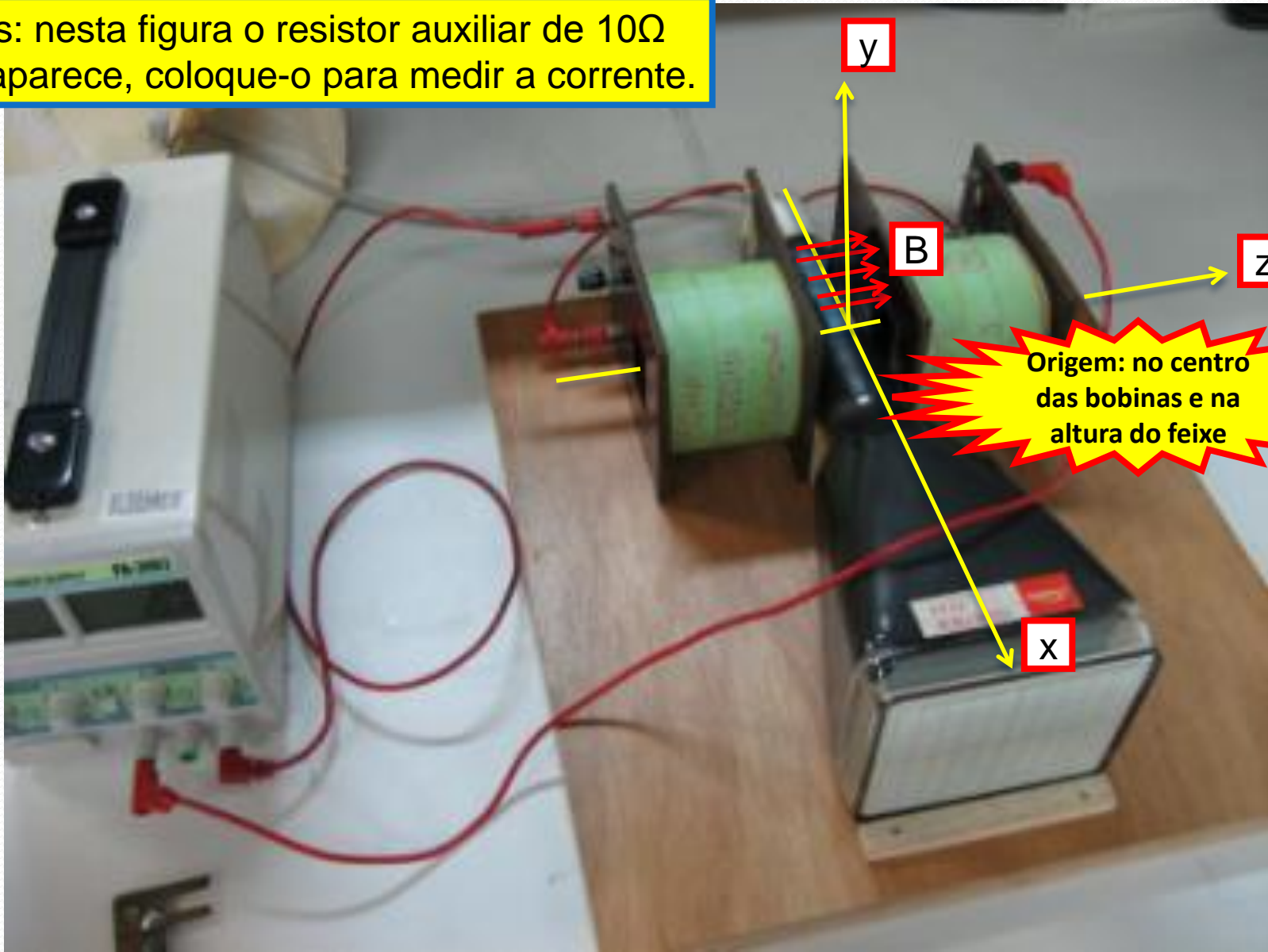
- Fazer um gráfico de h em função de U_{ac} para i_B fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
 - Se for, obtenha o expoente delta. Compare com os valores obtidos por seus colegas e com o valor esperado.
 - **Importante:** a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir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

Funcionamento do TRC com campo magnético

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
 - Aplique uma tensão aceleradora **$U_{ac}=700V$**
- 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?

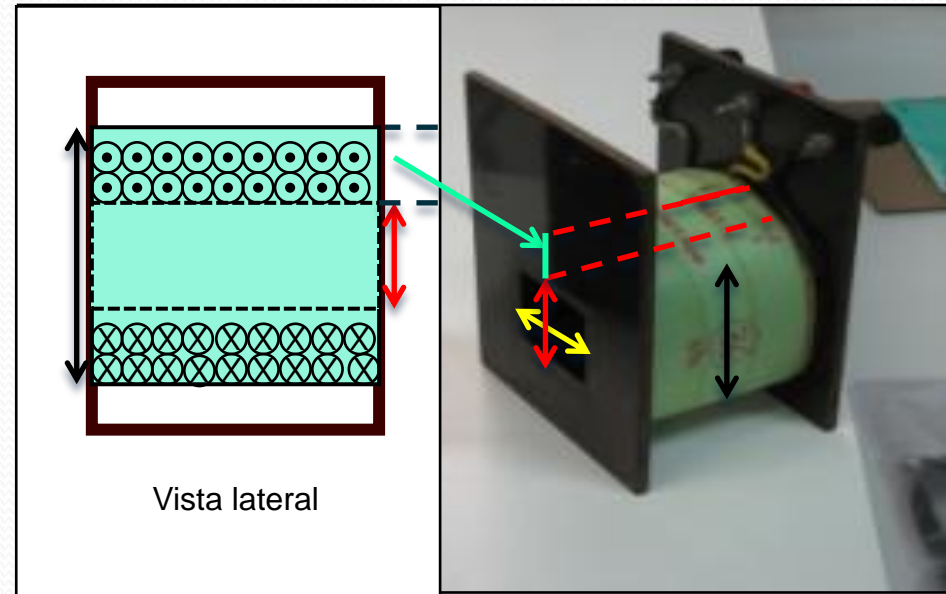
Montagem das bobinas no TRC:

Obs: nesta figura o resistor auxiliar de 10Ω não aparece, coloque-o para medir a corrente.



Os parâmetros das bobinas:

- Use um resistor de proteção de **10Ω** (10W) para medir a corrente pelas bobinas.
- 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.



O campo magnético

- Aumente e diminua a corrente e verifique o que acontece com o feixe. Explique o que ocorre.
- Veja que a posição depende da corrente aplicada.
- Anote a corrente máxima que permita que o feixe continue visível na tela do **TRC** (com **$U_{ac}=700V$**).
 - **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:
 - já viu que todo resistor real se aquece com a passagem de corrente

3. Dicas

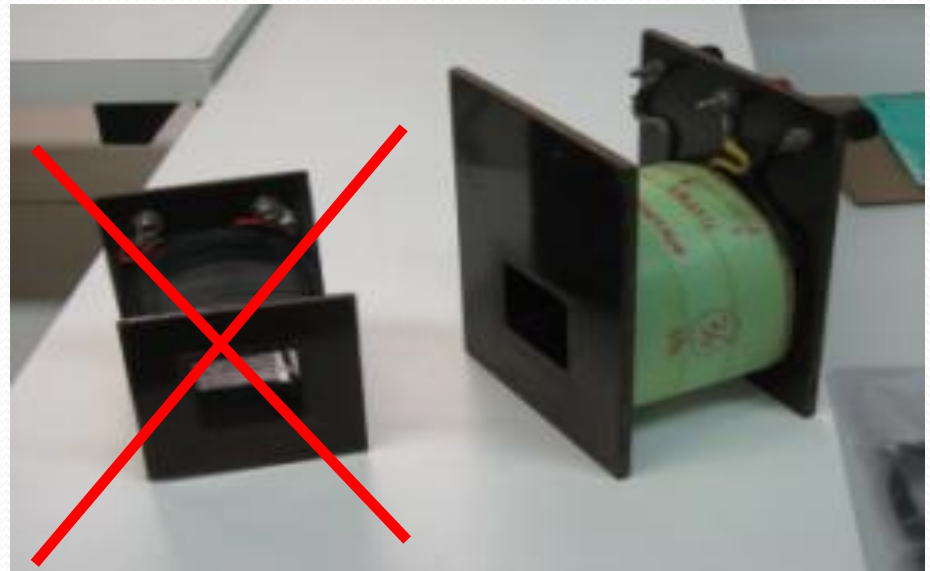


Para pensar:

- 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? Explique.
- Determinação dos erros experimentais:
 - Qual o erro da medida da posição?
 - O tamanho da “mancha” na tela deve ser levado em conta? Se sim, como?
 - E se a mancha duplica? O que faz e porque?
 - Há erro sistemático? Ele pode se “descontado”? Explique.

Cuidado experimental 1

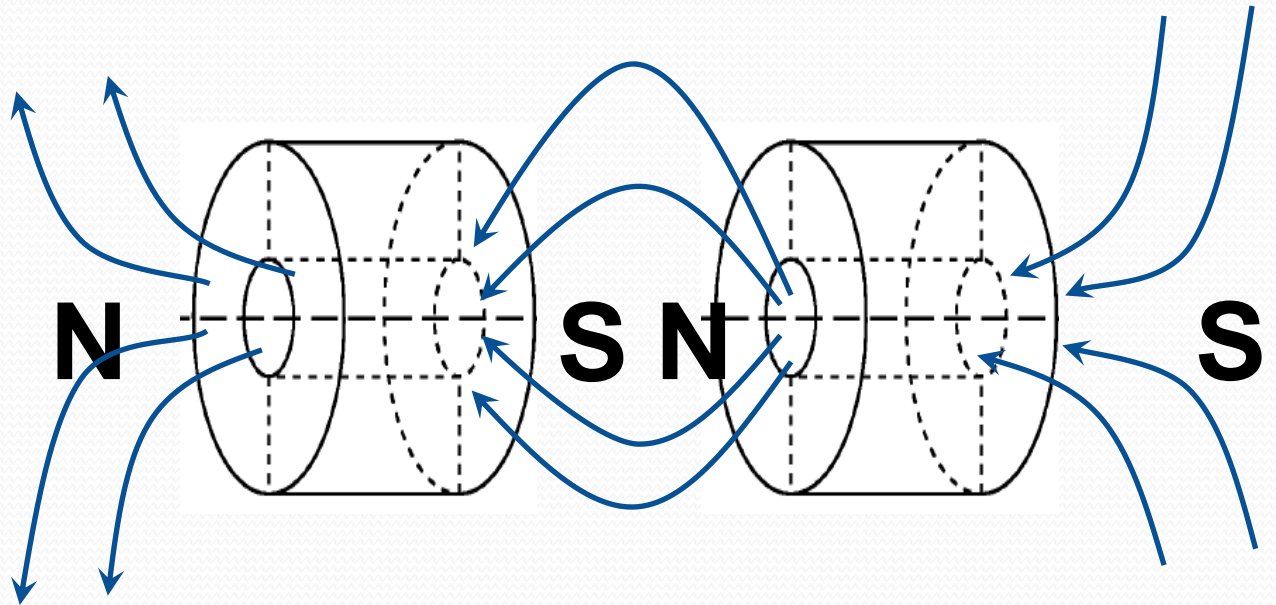
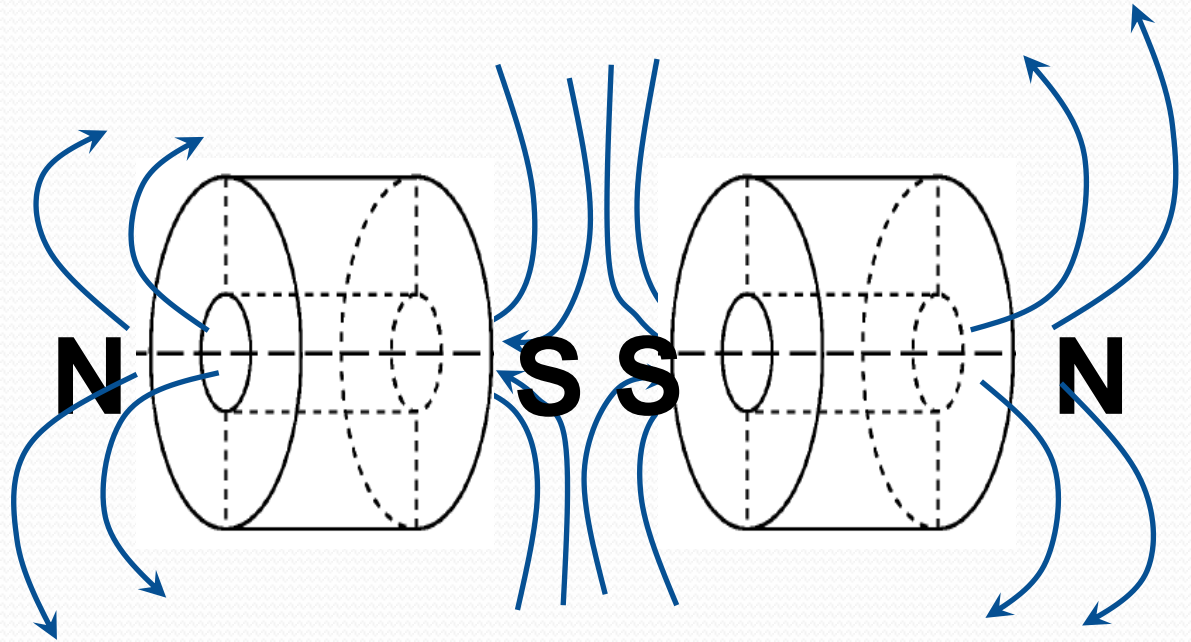
- Parear bobinas
 - Temos 3 tipos de bobinas:
 - de, 250, 500 e 1000 espiras
 - verifique que está usando 2 com o mesmo número (250) de espiras senão o campo não será simétrico.
- Anotar o número das bobinas utilizadas.



Cuidado experimental 2

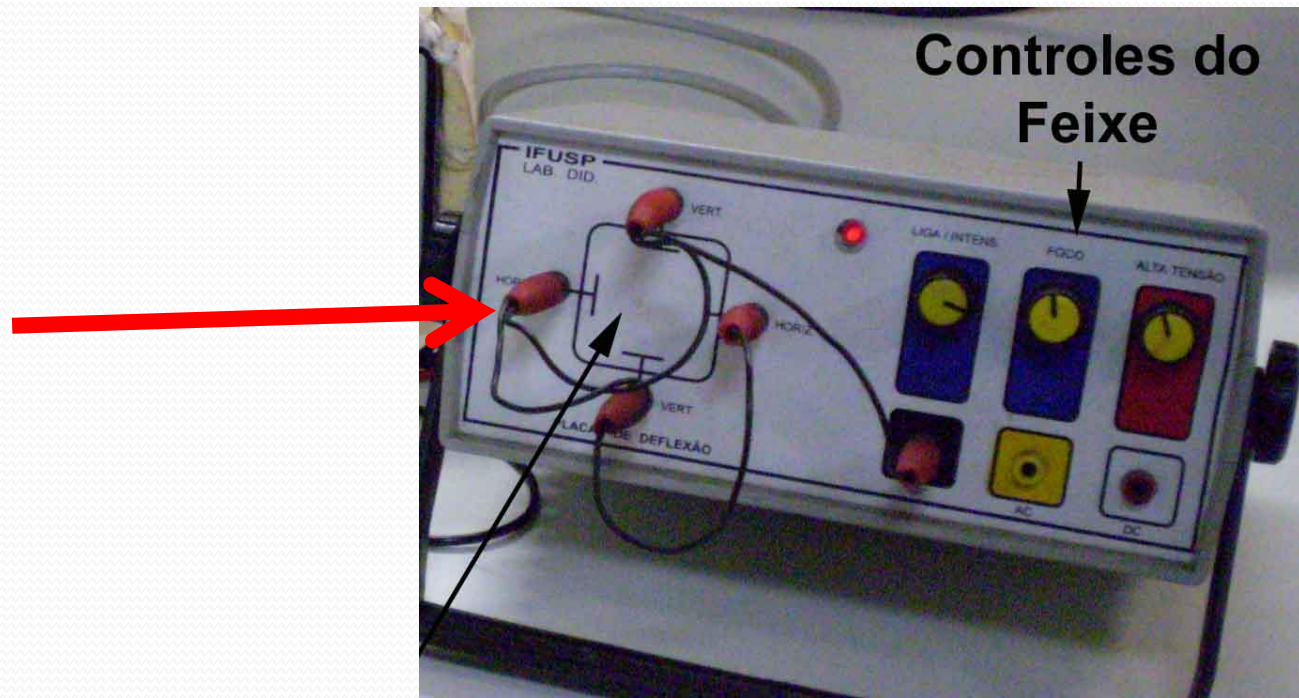
- Não confiem na leitura da corrente ou tensão diretamente na fonte DC!
- Não usem o multímetro como amperímetro!
- Não ultrapassar a potência máxima do resistor de proteção. E não ultrapassar 1.5 A.

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

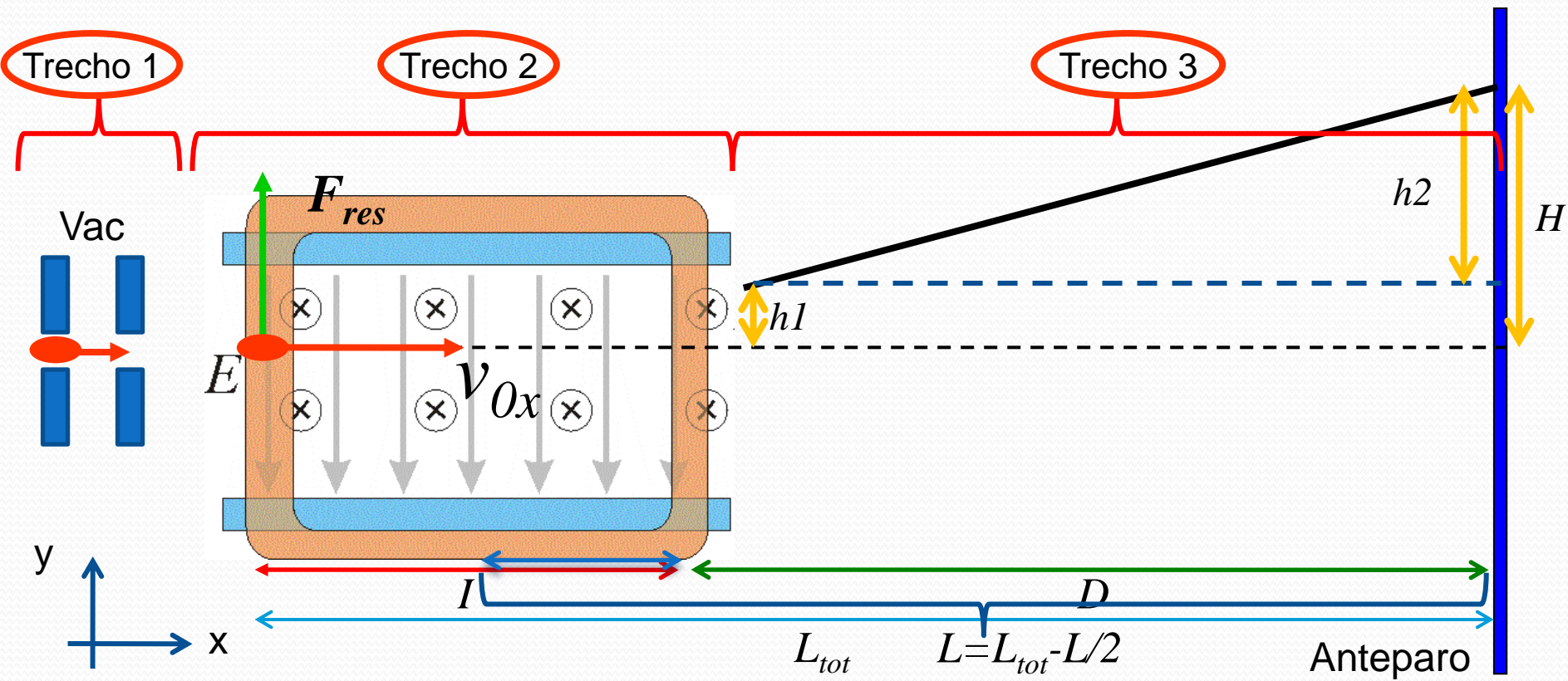


Tarefa 5: Modelos

- Construir um modelo para o campo magnético supondo bobinas ideais de comprimento L_{bob} .
 - O modelo deve depender dos parâmetros mensuráveis do TRC e das bobinas.
- Veja as dicas a seguir se precisar.

Um modelo simplificado do seletor:

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

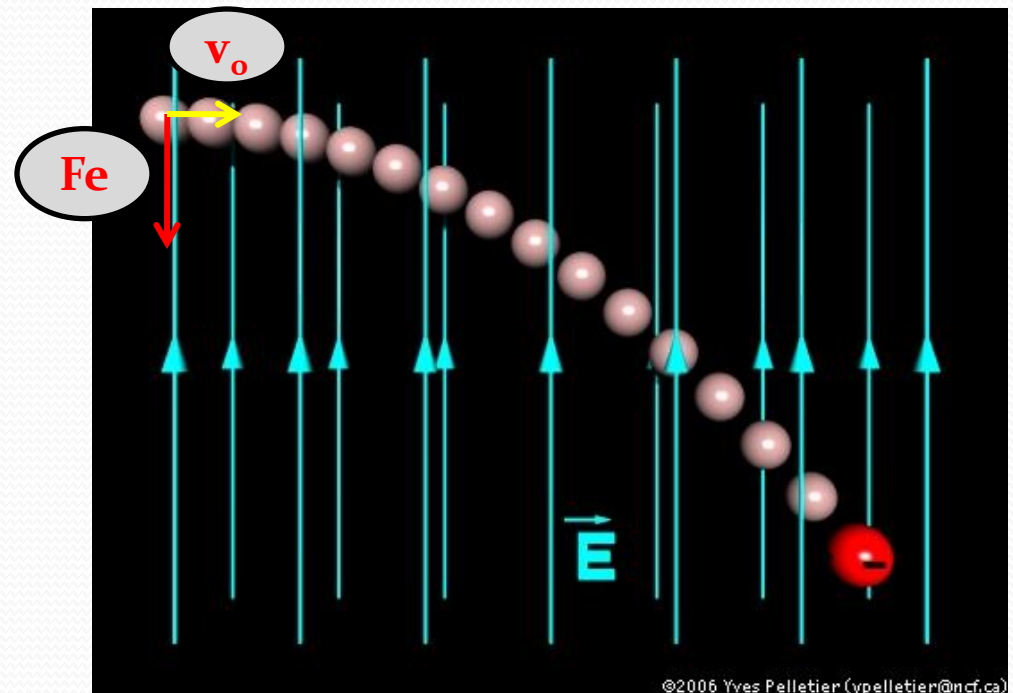


Campo elétrico: já fizeram o modelo

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

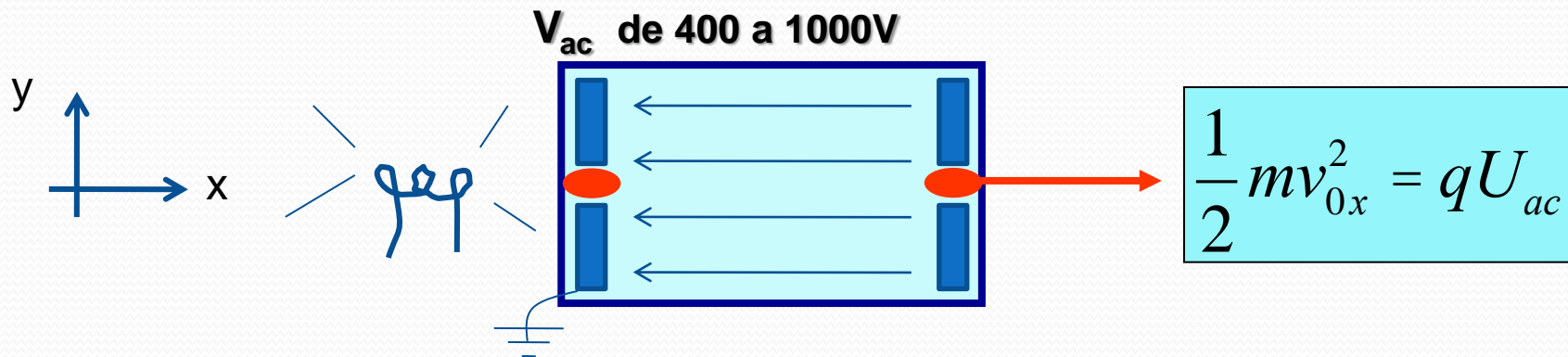
$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

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



Pergunta da semana:

- Como o desvio dos elétrons na tela depende da corrente das bobinas, i , e da energia potencial aceleradora, U_{ac} ?
- No **primeiro trecho do movimento**, a **partícula (elétron)** é acelerada entre por um sistema de eletrodos (extrator + lente eletrostática) que submete os elétrons a uma tensão elevada: **$\sim 700V$** .



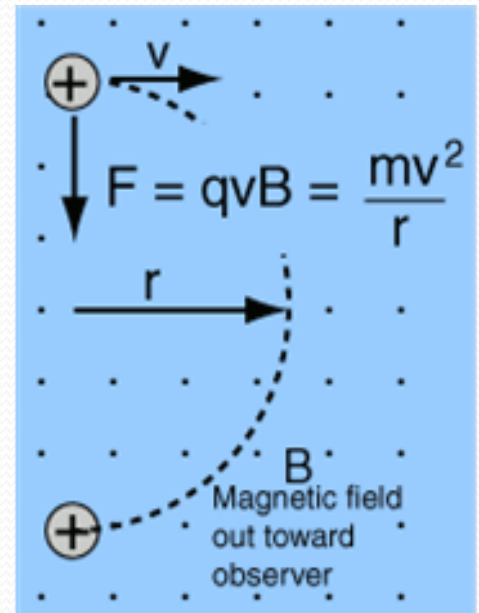
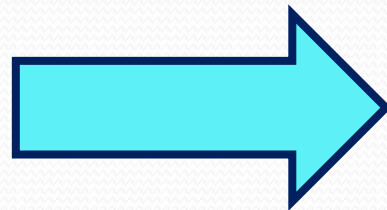
Segundo trecho: campo magnético

- 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:

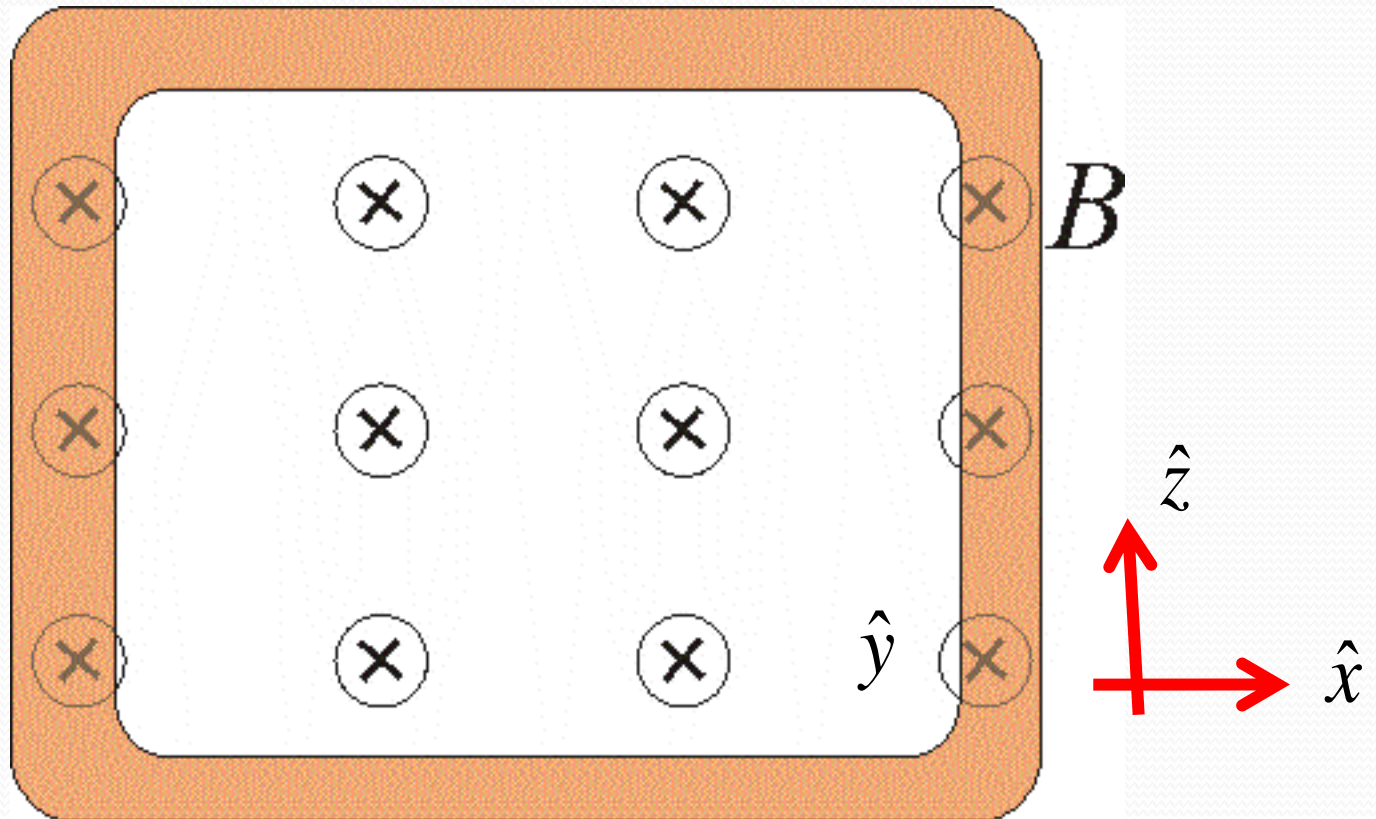
$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Se $\mathbf{B} \perp \mathbf{v}$



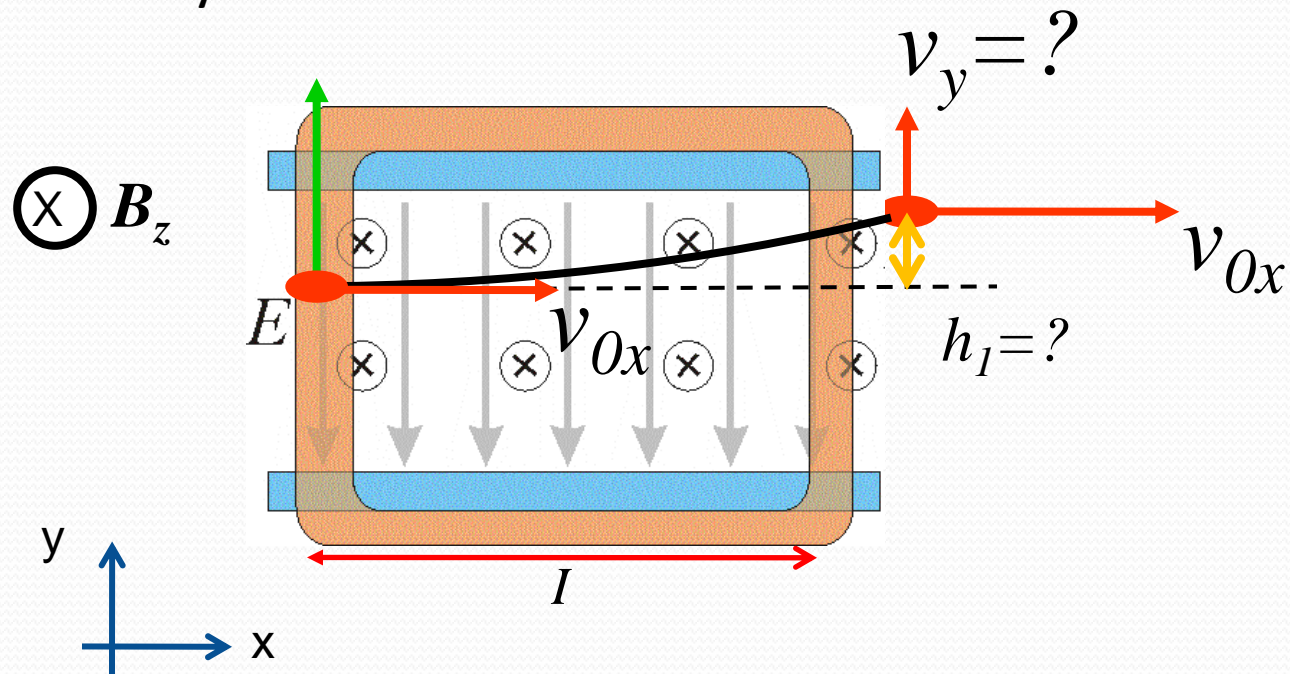
Vamos supor que o campo magnético é IDEAL:

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



Mov. dos e- dentro do campo magnético: Trecho 2

- Na região com \mathbf{E} e \mathbf{B} , temos um movimento acelerado em \mathbf{y} , que desvia a partícula, e uniforme em \mathbf{x}
 - Assumimos que $\mathbf{v}_x = \text{cte}$
 - Calculamos \mathbf{v}_y e \mathbf{h}_1 na saída



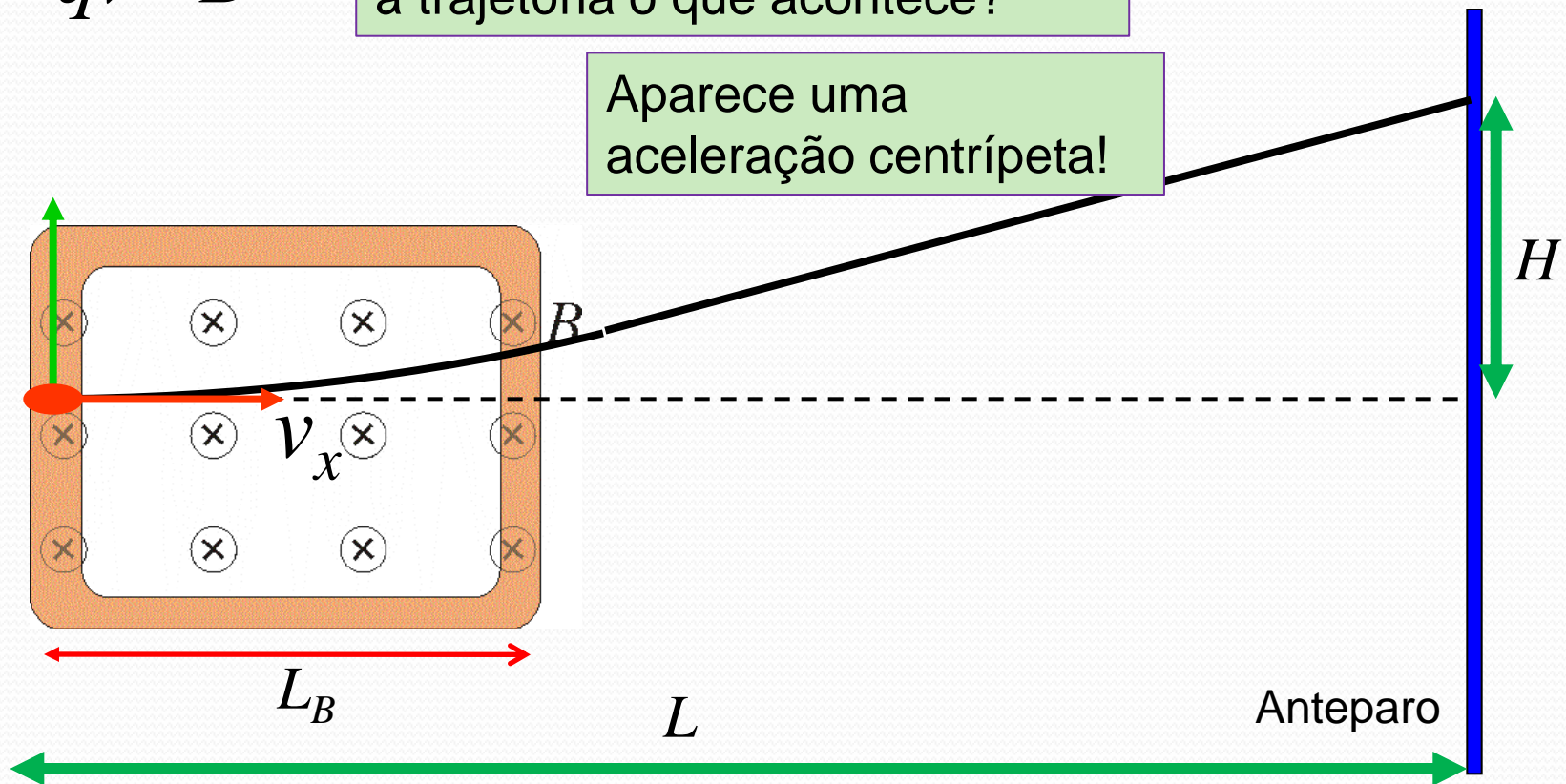
Movimento em campo idealizado

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

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

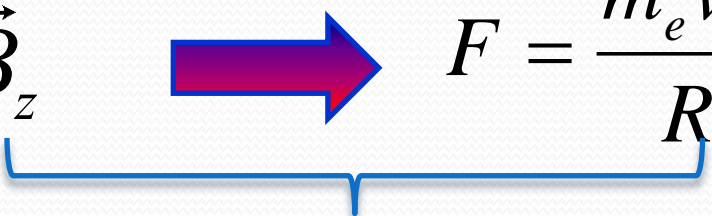
Quando a força é perpendicular à trajetória o que acontece?

Aparece uma aceleração centrípeta!



Deslocamento x Campo B

- Portanto:

$$\vec{F} = e\vec{v}_x \times \vec{B}_z \quad \rightarrow \quad F = \frac{m_e v_x^2}{R}$$


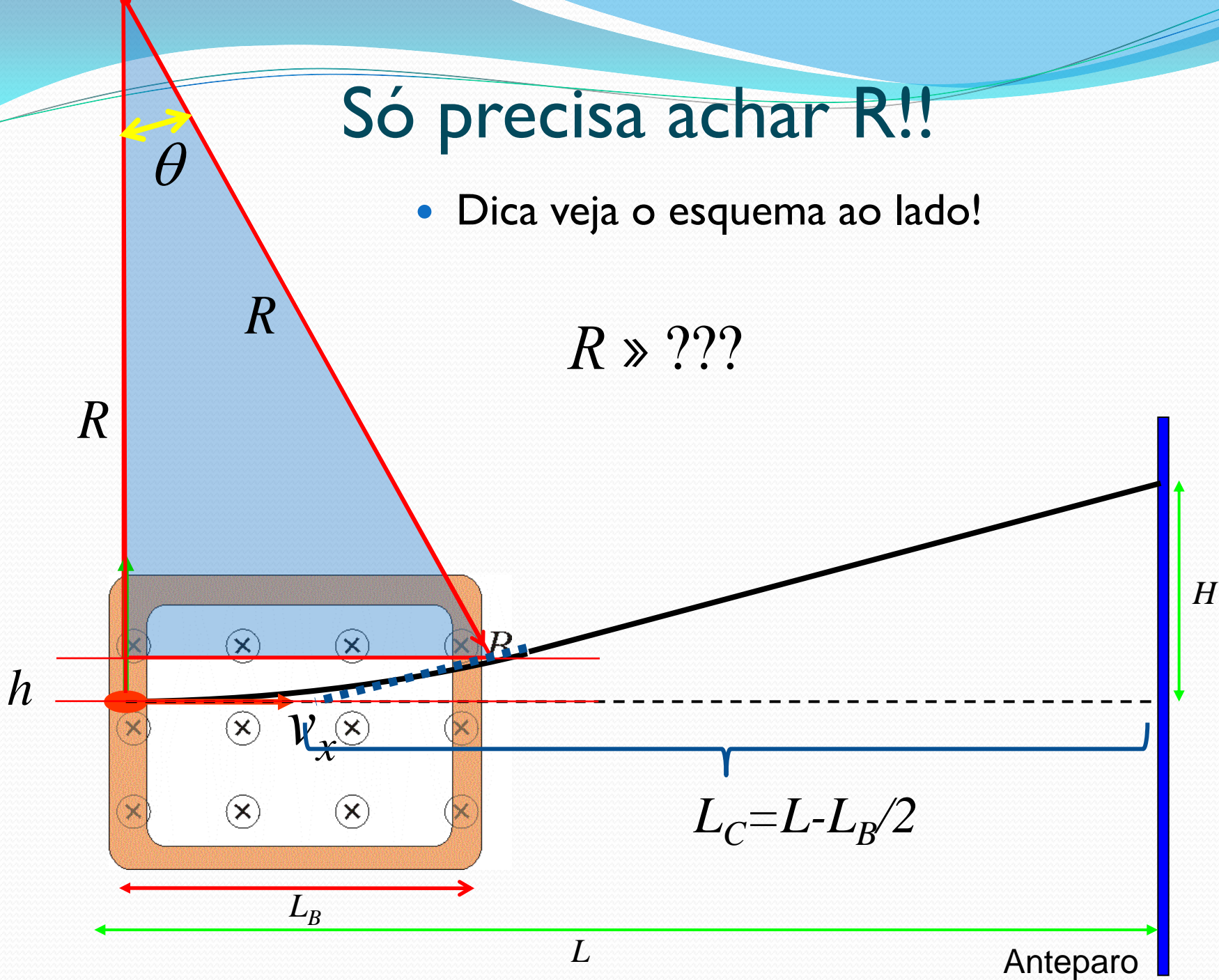
$$B_z = \frac{m_e v_x}{eR}$$

- Tendo B e a velocidade $v_{0X} = \sqrt{\frac{2eU_{AC}}{m_e}}$
- Com as equações do movimento se encontra o deslocamento.

Só precisa achar R!!

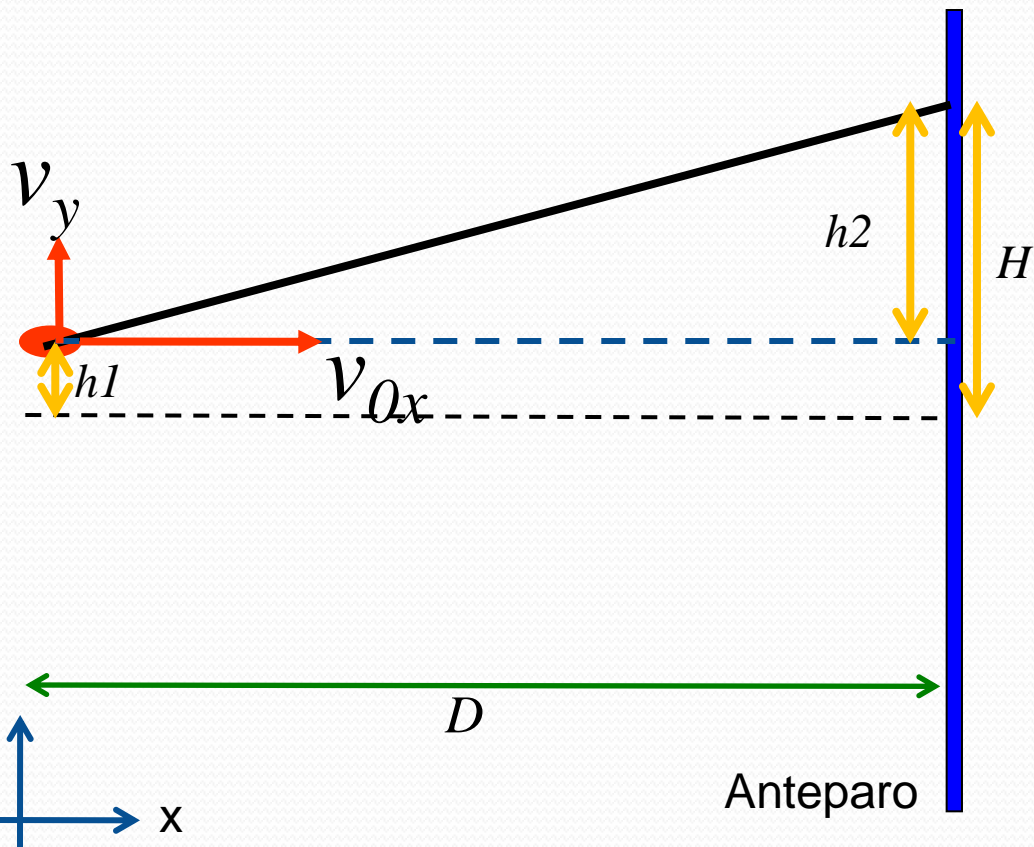
- Dica veja o esquema ao lado!

$$R \gg ???$$



Modelo Simplificado – Trecho 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_{ox} , e a posição h_1 , para encontrar H



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

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

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

Boa semana!

