

# Seletor de Velocidades,

Parte 2 – Campo Elétrico, Cuba

Aula 4

**Prof. Henrique Barbosa**

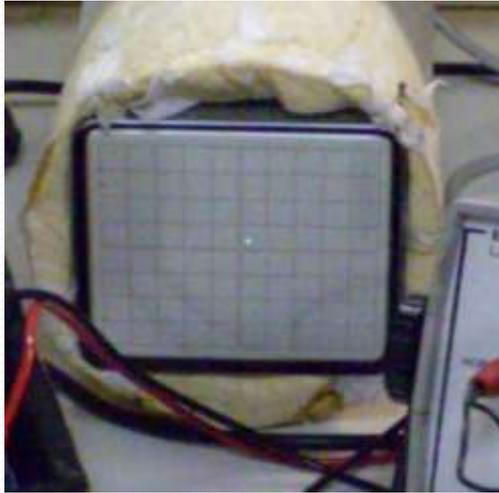
**Edifício Basílio Jafet - Sala 100**

**Tel. 3091-6647**

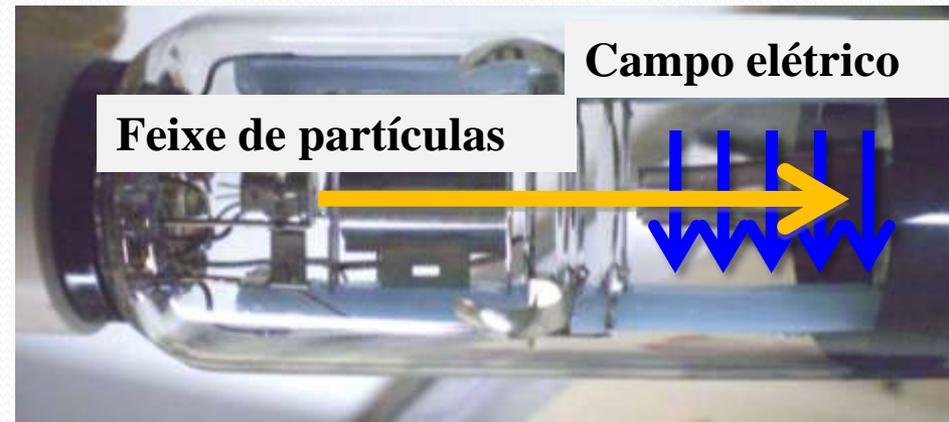
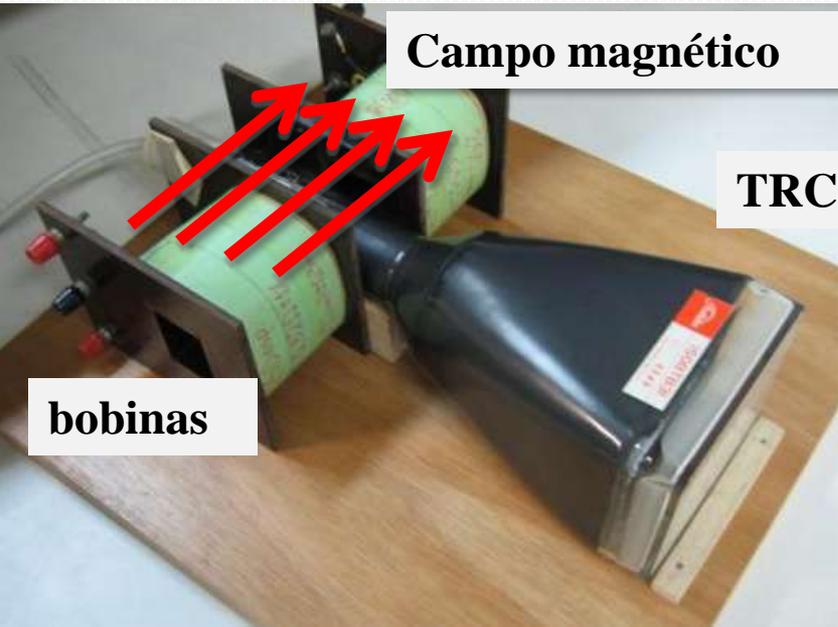
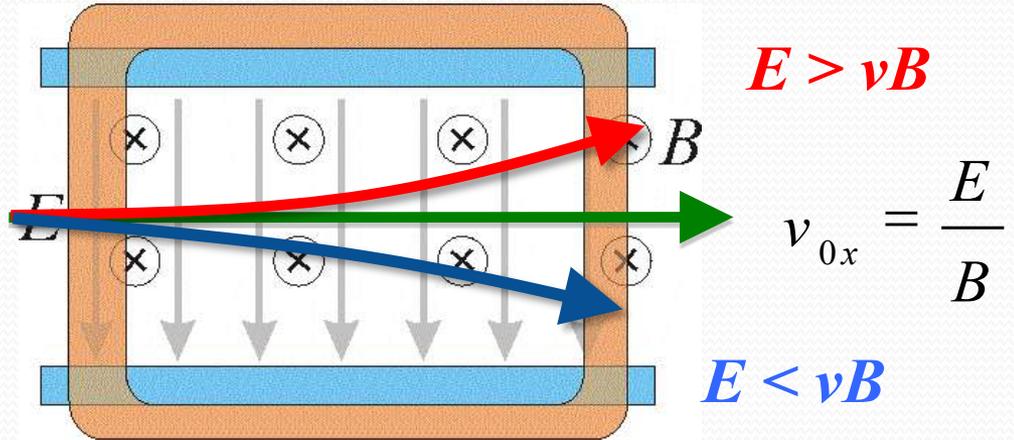
**[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)**

**<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>**

# O Seletor de Velocidades



$$q < 0$$



# Exp. 2 – Seletor de Velocidades

## PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
  - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
  - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
  - Simular o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 4
  - Estudar a deflexão do feixe em função da tensão entre as placas e da tensão de aceleração
- Semana 5
  - Mapear e simular o campo magnético das bobinas
- Semana 6
  - Estudar a deflexão do feixe em função da corrente nas bobinas e da tensão de aceleração
- Semana 7
  - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

# TAREFAS SEMANA PASSADA

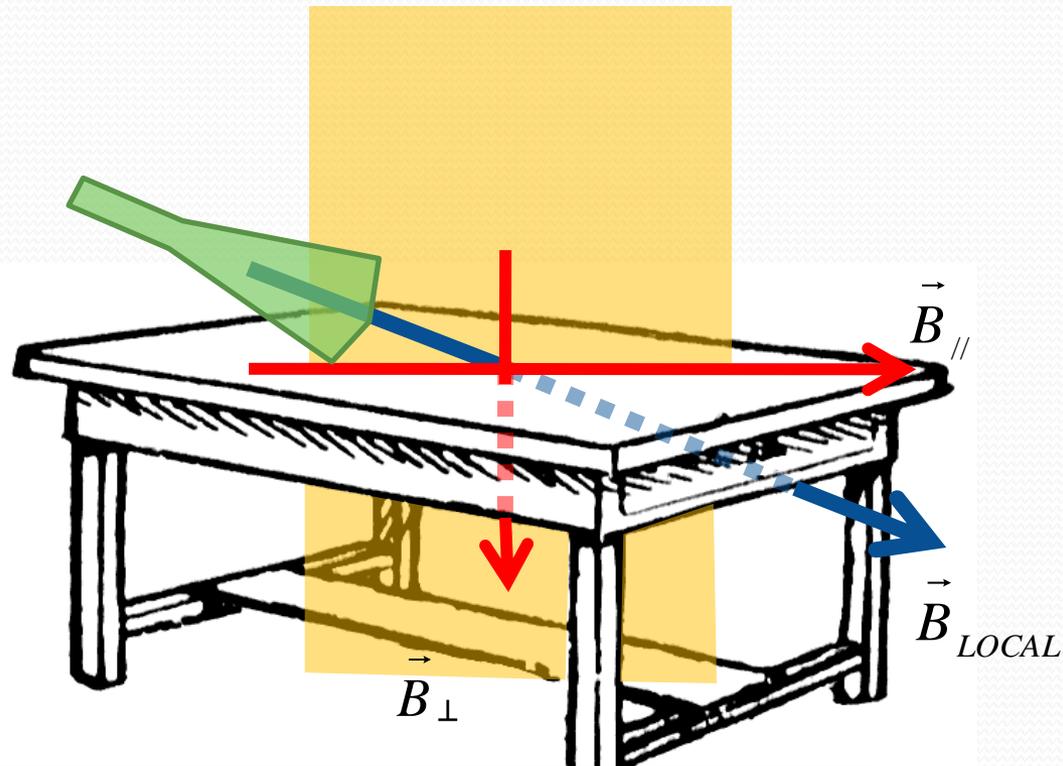
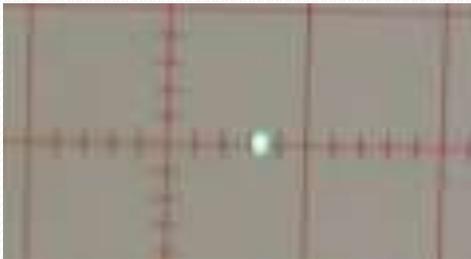
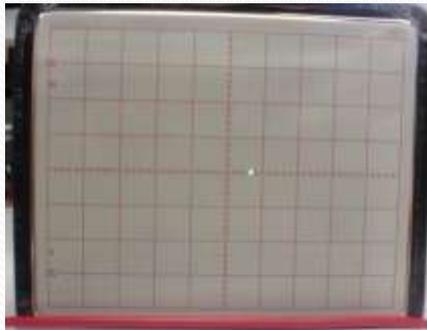


# Para entregar, Parte 1

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
  - Aplique uma tensão aceleradora  **$V_{ac}=700V$**
  - 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
- Nesta condição,  **$V_{ac}=700V$** , 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 (fotografe a tela do TRC)

# Parte 1

- Devido ao campo magnético da Terra, não era difícil colocar o feixe no centro do TRC.
- Como  $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$ , teríamos que ter  $v \parallel B$  para centralizar o feixe...



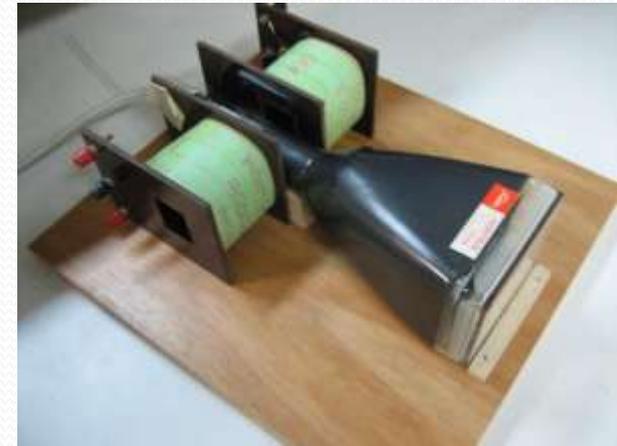
Girando-se o TRC no sentido anti-horário, o feixe subia. Posicionou-se, então, o TRC de forma que o feixe se localizasse sobre o eixo horizontal. Dessa forma, o campo magnético terrestre não provocaria desvios verticais na trajetória do feixe. Deixando-se o TRC fixo nesta posição, pôde-se então definir a origem, em relação a qual todas as medições foram realizadas.

# Parte 2, o campo elétrico

- Aplique tensão nas placas defletoras verticais (fonte externa **DC** de **30V**):
  - Mexa na tensão (ie na intensidade do campo elétrico) e verifique o que acontece com o feixe. Comente.
  - Anote a tensão máxima que o feixe ainda continua visível na tela do **TRC**.
- A seguir desligue as placas e observe se o feixe continua focalizado e na origem.

# Parte 3, campo magnético

- Desligue o campo elétrico
- Posicione as bobinas de cada lado do tubo do **TRC**.
  - Elas devem estar alinhadas com as placas defletoras verticais e alinhadas entre si (os campo magnéticos devem se somar)
    - Você precisa checar isso, tem bússola à disposição!
- Aumente e diminua a corrente (**outra** fonte DC de 30V) e verifique o que acontece com o feixe. Comente.
- Anote a corrente máxima que permita que o feixe continue visível na tela do **TRC**.
- Desligue as bobinas e observe se o feixe continua focalizado e na origem.



# Parte 4, seletor

- Ligue as bobinas E as placas:
  - Como você pode saber que as forças elétricas e magnéticas têm mesma direção e sentidos opostos?
  - Verifique que isso está acontecendo e explique porque.
- Em seguida, zere a corrente nas bobinas e mantenha uma tensão aceleradora de **700V** e uma tensão nas placas verticais de **25V**.
  - Aumente devagar a corrente nas bobinas para trazer o feixe de volta à origem.
  - Qual é a condição que foi satisfeita para isso ocorrer?
- Qual é a velocidade do feixe nessas condições?

# Tensão máxima, E e B

	$V_p$ máximo (V)	$I_b$ máxima (A)	$I_b p / V_p = 25V$ (A)
H01	14,7 (??)	0,18 (??)	0,3 (??)
H02	17,0 (1)	0,20 (1)	0,29 (1)
H03	18,4 (??)	0,21 (??)	0,29 (??)
H04	19,3 (10)	0,22 (1)	0,29 (1)
H05	14,9 (??)	0,22 (??)	0,270 (24)
H06	15,8 (2)	0,18 (2)	0,28 (3)
H07			0,56 (??)
H08	15,7 (??)	0,189 (1)	0,28 (??)

# Parte 5, modelo simplificado

- Agora sem mexer na corrente nas bobinas ou na tensão das placas altere o valor da tensão aceleradora (pode variar entre **500V** e **1000V**) :
  - O que acontece?
  - Como pode explicar o que observou?
  - Você diria que uma determinada velocidade está sendo selecionada? Porque? Explique.
- A partir da teoria apresentada em sala, deduza uma expressão para o deslocamento **H** em função da tensão de aceleração **V<sub>ac</sub>**.
- Faça o gráfico **V<sub>ac</sub> x H** e, usando o seu modelo simplificado:
  - Calcule **B** e em seguida **E**
  - Compare seus valores com os valores da classe. Comente.

# Modelo Simplificado

- Faremos algumas hipóteses para simplificar a solução do problema

- E, B e  $V_{0x}$  são sempre perpendiculares

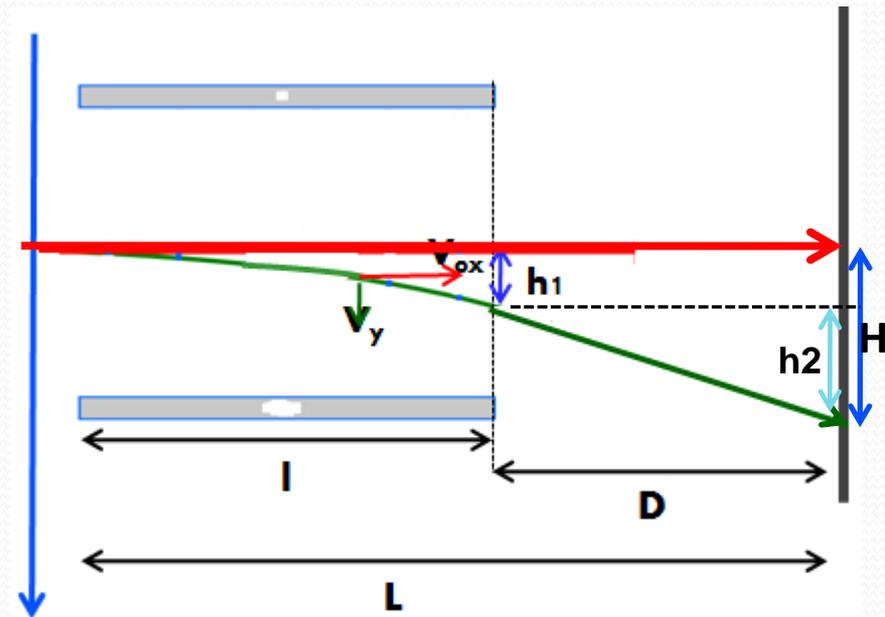
$$\vec{B} \perp \vec{E} \perp \vec{v}$$

- Desprezamos a curvatura da trajetória para o cálculo das forças, i.e.,  $V_{0x}$  é constante:

$$\frac{mv_{0x}^2}{2} = eU_{ac}$$

- Aceleração em y também:

$$a = \frac{q}{m} \left[ E - vB \right]$$



# Modelo Simplificado

- O elétron demora  $t_1$  para atravessar a região dos campos e, devido a aceleração, aparece uma velocidade em  $y$

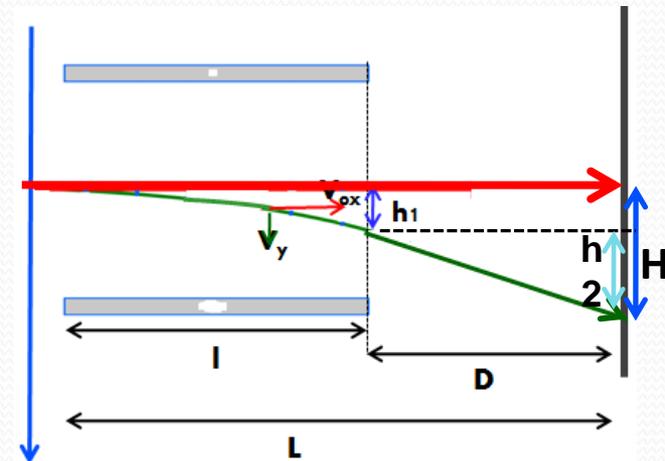
$$t_1 = \frac{L}{v_{0x}} \quad v_y = v_{0y} + at_1 = a \frac{L}{v_{0x}}$$

- O primeiro deslocamento em  $y$  é devido a esta velocidade:

$$h_1 = y - y_o = v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 = a \frac{L^2}{2v_{0x}^2}$$

- Depois de sair das placas:

$$t_2 = \frac{D}{v_{0x}} \quad h_2 = v_y t_2 = \frac{aL}{v_{0x}} \frac{D}{v_{0x}} = \frac{aLD}{v_{0x}^2}$$

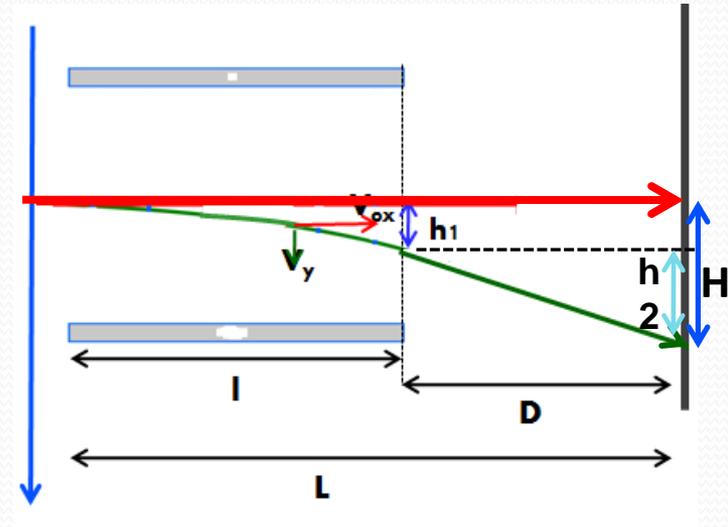


# Modelo Simplificado

- O deslocamento total em y é então:

$$H = h_1 + h_2 = \frac{1}{2} a \frac{I^2}{v_{0x}^2} + a \frac{ID}{v_{0x}^2}$$

$$= \frac{aI}{v_{0x}^2} \left( \frac{I}{2} + D \right) = a \frac{I}{v_{0x}^2} \left( L - \frac{I}{2} \right)$$



- Substituindo a expressão da aceleração:

$$H = \frac{q \left( \frac{E}{B} - v_{0x} \right) \frac{I}{v_{0x}^2} \left( L - \frac{I}{2} \right)}$$

$$E - v_{0x} B = \frac{m}{qI \left[ L - \frac{I}{2} \right]} v_{0x}^2 H \quad \Rightarrow \quad B \left( \frac{E}{B} - v_{0x} \right) = K v_{0x}^2 H$$

# Modelo Simplificado

- Mas a razão dos campos pode ser medida: ela é igual à velocidade que estamos selecionando,  $\mathbf{v}^*$ , ou seja aquela que passa sem desvio ( $H=0$ ):

$$a = \frac{q}{m} \mathbf{E} - v\mathbf{B}$$

$$v^* = \frac{E}{B} = v_{0x} (H = 0)$$

- Substituindo essa expressão na equação a que chegamos:

$$B \mathbf{v}^* - v_{0x} = K v_{0x}^2 H$$

$$\frac{B}{K} \frac{\mathbf{v}^* - v_{0x}}{v_{0x}^2} = H$$

**Um gráfico de H versus  $v_{0x}$  permite determinar o campo magnético B**

**O campo elétrico  $E=vB$  pode então ser calculado também.**

# O que vocês fizeram

$$H(\xi) = kE \left( \xi - \frac{B}{2E} \sqrt{\frac{q}{m}} \right)^2 - \frac{kB^2}{4E} \frac{q}{m} \quad (3)$$

Vê-se que a eq. 3 pode ser ajustada por MMQ num ajuste linear de  $H$  um função do quadrado da expressão entre parênteses. Chamá-la-emos de  $\zeta$  e a calcularemos a partir dos valores medidos de  $V_{ac}$  aproveitando o fato de que  $v_{0x}^{sel} = \frac{E}{B}$  é a velocidade selecionada (velocidade das cargas quando a deflexão é nula). O ajuste deve dar uma curva do tipo  $y = ax + b$ .

$$H = h_1 + h_2 = \frac{qI(E - Bv_0)}{mv_0^2} \left( \frac{I}{2} + D \right) \Rightarrow H = \frac{qI(E - Bv_0)}{mv_0^2} \left( L - \frac{I}{2} \right) \quad \boxed{\text{ok}} \quad (4)$$

A expressão acima relaciona o desvio observado com a velocidade do inicial do feixe, após ser acelerado. Cabe enfatizar que os campos foram considerados uniformes, uma vez que o tamanho das placas e das bobinas é muito maior que o de um elétron.

Nao! O eletron ser pequeno só significa que, localmente o campo é uniforme... Mas nossos elétrons viajam por uma distância macroscópica! Entao esse argumento não vale, certo?  
O que estamos considerando é que o capacitor tem placas mais ou menos paralelas, então o campo deveria ser razoavelmente uniforme... Mas nao temos certeza disso.... A principio pode ser uma fonte de erro.

# O que fizeram - 2

- Era possível resolver a equação completa, mas não era necessário....

$$\sum \vec{F} = q(-B\dot{x}\hat{j} + B\dot{y}\hat{i} + E\hat{j}) = m\vec{a} \Rightarrow \quad (8)$$

$$m\ddot{y} = -qB\dot{x} + qE \quad (9)$$

$$m\ddot{x} = qB\dot{y} \quad (10)$$

Resolvendo 9 e 10 e lembrando que em  $t = 0$   
 $\dot{x} = v_{0x}$ ,  $\dot{y} = 0$ :

$$x = \left(v_{0x} - \frac{E}{B}\right) \frac{mq}{B} \sin \frac{qB}{m}t + \frac{E}{B}t \quad (11)$$

$$y = \left(v_{0x} - \frac{E}{B}\right) \frac{mq}{B} \left(\cos \frac{qB}{m}t - 1\right) \quad (12)$$

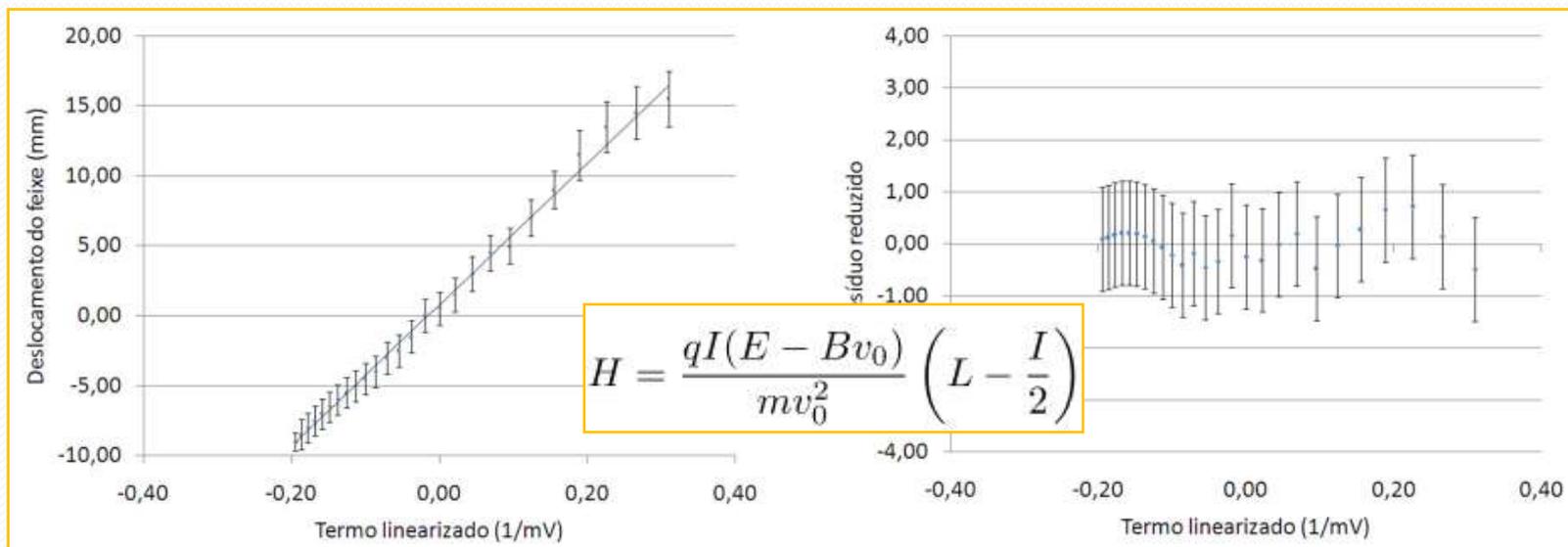
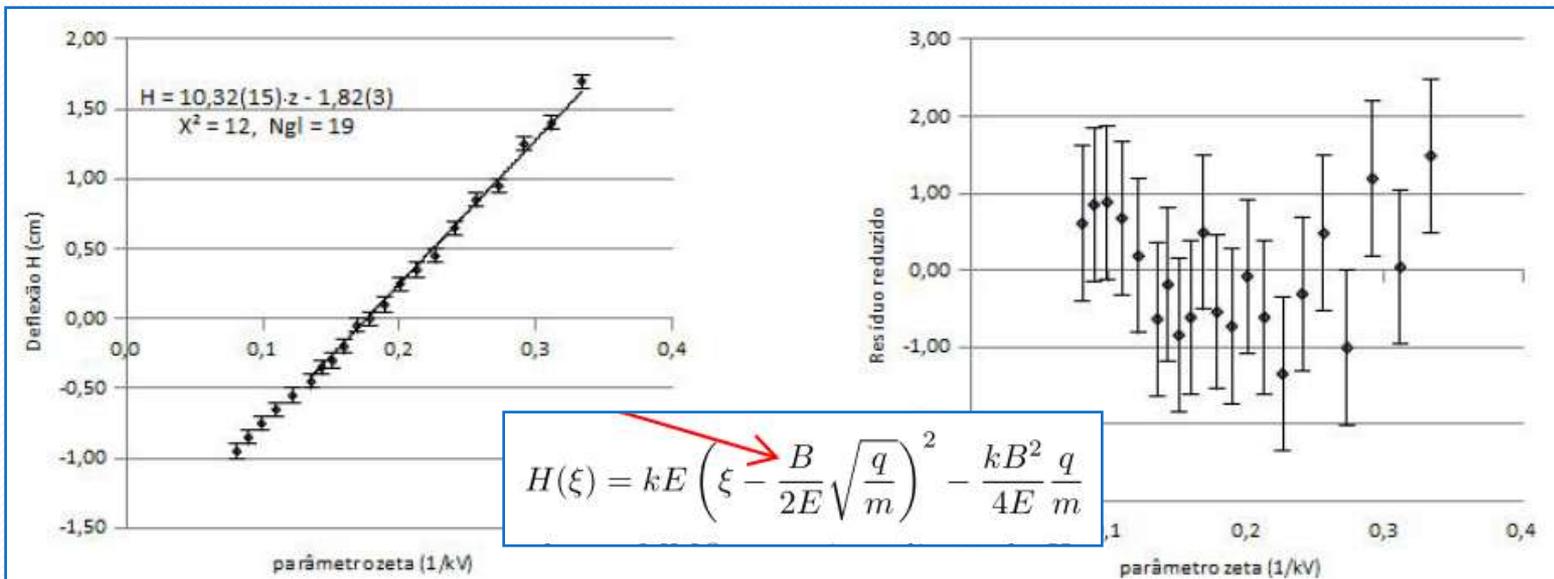
Como o ângulo percorrido é pequeno temos que  
 $\sin \theta \approx \theta$  e  $\cos \theta \approx 1 - \theta^2/2$ , segue:

$$x = v_{0x}t \quad (13)$$

$$y = \left[\frac{q}{m}(E - Bv_{0x})\right] \frac{t^2}{2} \quad (14)$$

Chegaríamos facilmente a 13 e 14 simplesmente impondo  $v_{0x} = \text{constante}$ .

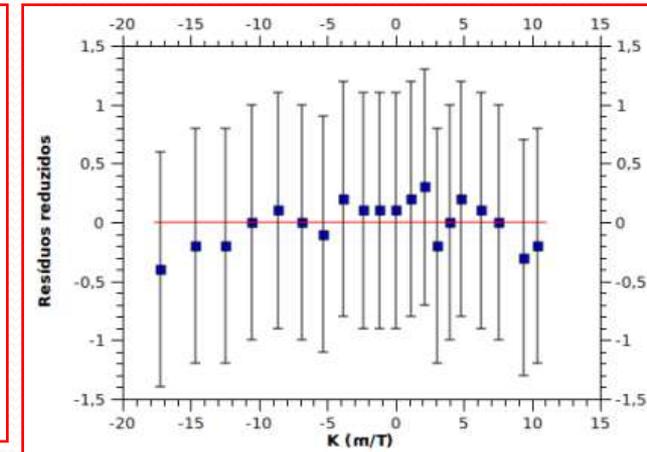
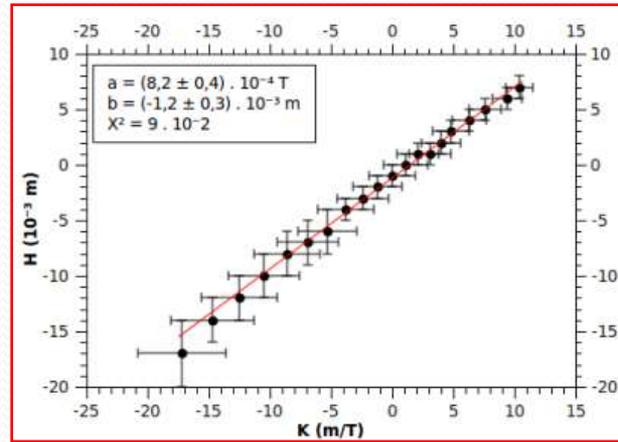
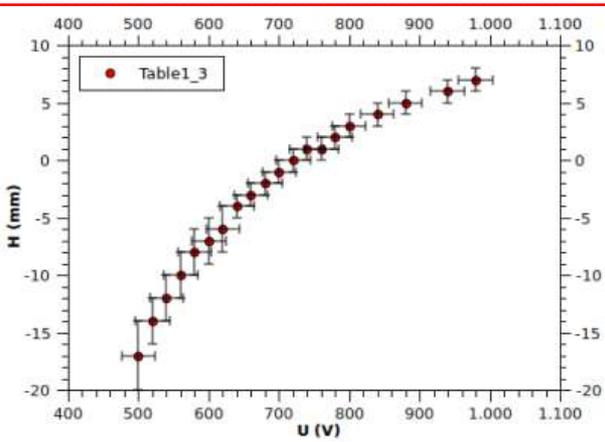
# H01 e H02



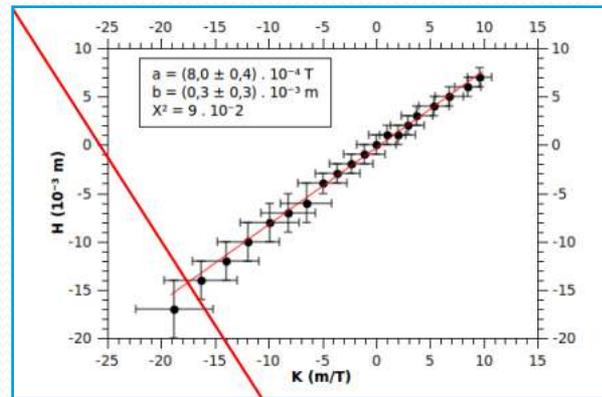
# H03

$$H = B \cdot K$$

$$K = \sqrt{\frac{2q}{m}} \cdot \left( \frac{\sqrt{U_0} - \sqrt{U}}{2U} \right) \cdot I \cdot \left( D + \frac{I}{2} \right)$$



Ao final da experiência observaram que estavam com  $V_{0x}=720V...$



Da Figura 2 temos que  $B = (8,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} T$ . O valor de  $b$  encontrado no ajuste é incompatível com o valor esperado de 0. Devido as discrepâncias entre os valores da tensão aceleradora necessária para alinhar o feixe com a origem ao início e ao final do experimento e entre o valor ajustado de  $b$  e o valor esperado, foi ajustada uma nova reta, utilizando  $U_0 = (720 \pm 24)V$ :

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{E \cdot e^-}{m_e \cdot g} \approx 10^{14}$$

e a velocidade máxima atingida pelos elétrons no experimento é atingida quando  $U = 980V$ ,  $v_{max} \approx 1,9 \cdot 10^{-7}$ , e temos para tal velocidade:

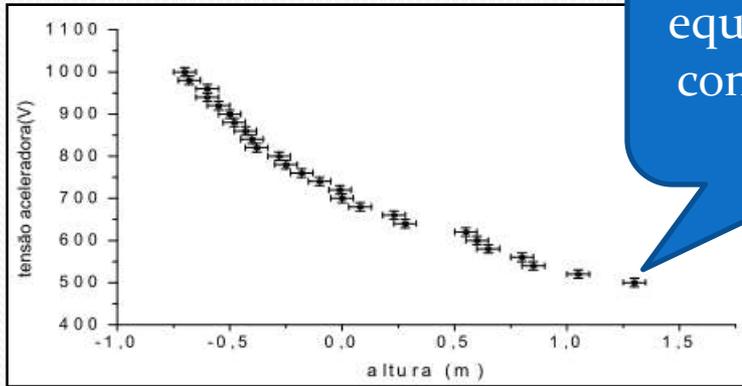
$$\gamma = \left( \sqrt{1 - \frac{v_{max}^2}{c^2}} \right)^{-1} \approx 1$$

mostrando desprezíveis os efeitos gravitacionais e relativísticos.

Gravidade e relatividade são desprezíveis...

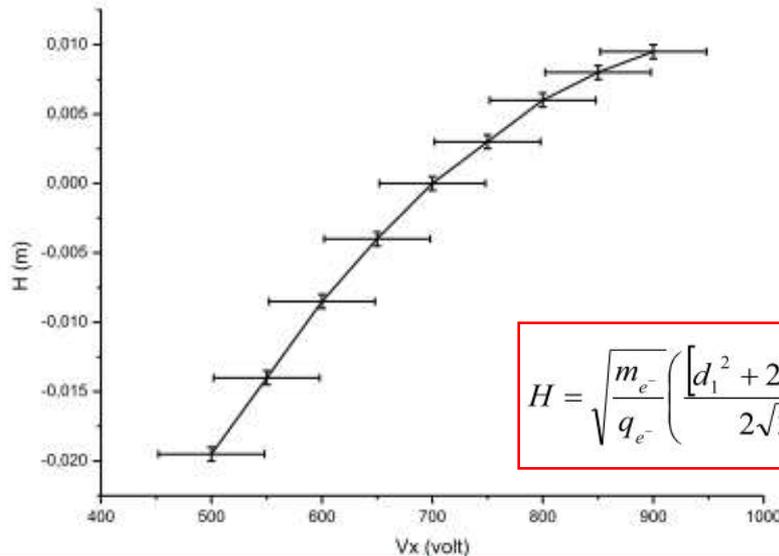
# H04 e H05

Não ajustaram a equação, fizeram a conta com apenas este ponto.

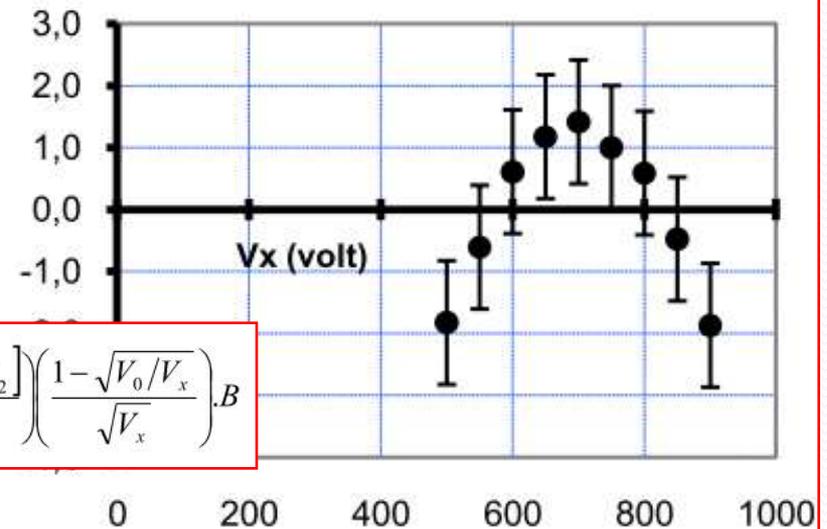


$$B = KHV_{0x} / \left( \frac{V}{V_{0x}} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{H} = K' V_{ac} / a_y$$



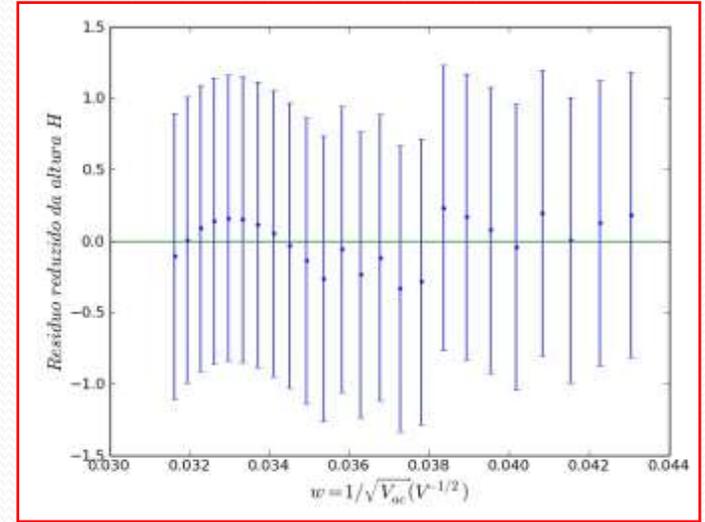
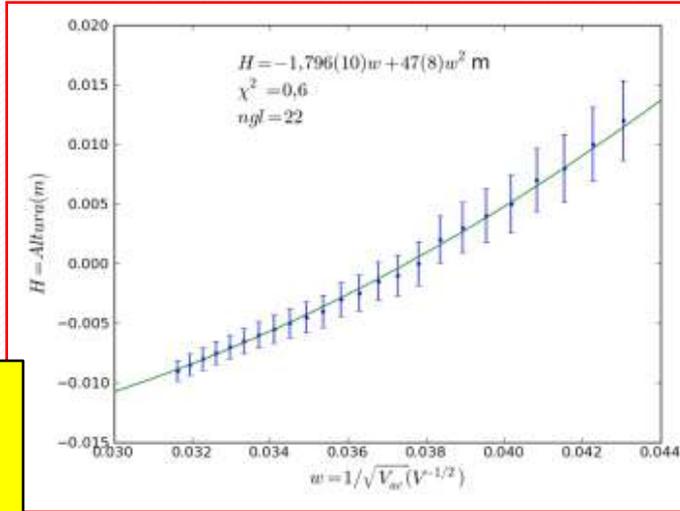
$$H = \sqrt{\frac{m_e}{q_e}} \left( \frac{[d_1^2 + 2d_1d_2]}{2\sqrt{2}} \right) \left( \frac{1 - \sqrt{V_0/V_x}}{\sqrt{V_x}} \right) \cdot B$$



# H06 e H07

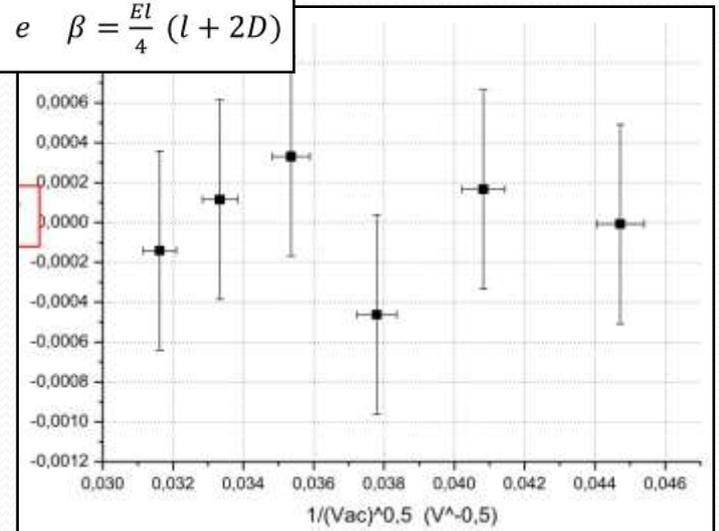
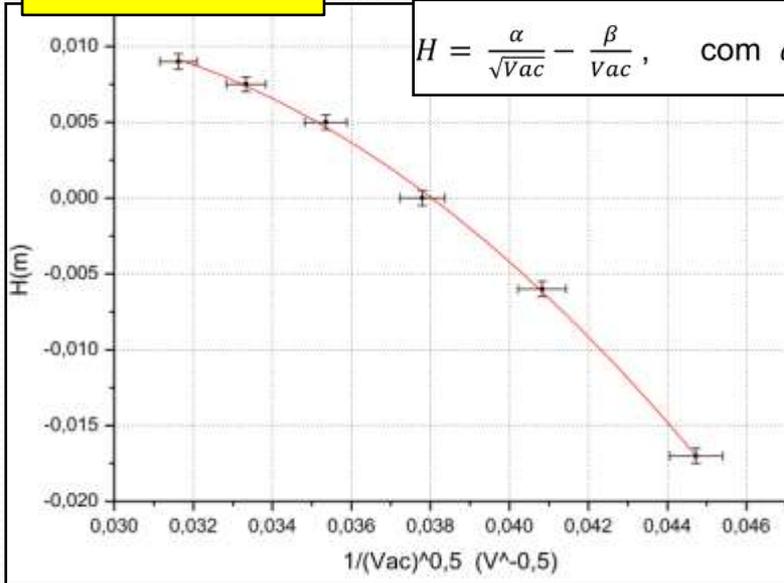
$$H = -\frac{\frac{1}{2}(D + \frac{1}{2})B\sqrt{\frac{2q}{m}}}{\sqrt{V_{ac}}} + \frac{\frac{1}{2}(D + \frac{1}{2})E}{V_{ac}}$$

$$H(w) = a + bw + cw^2,$$

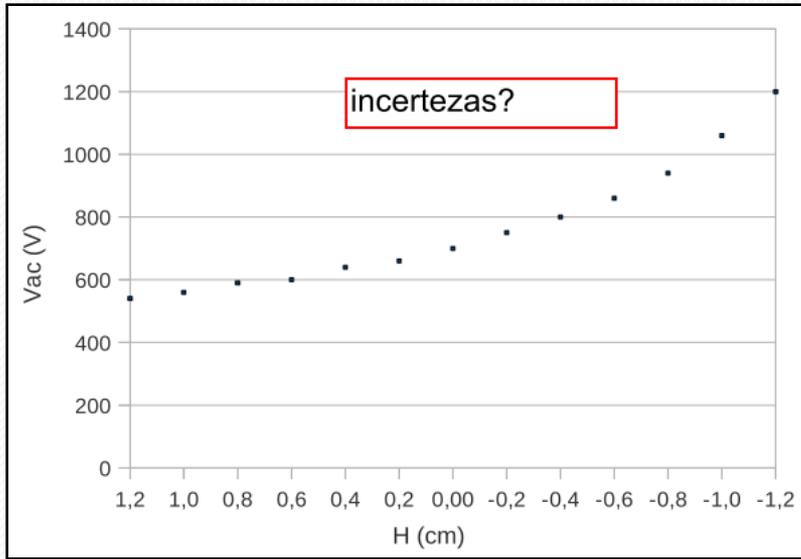


Orientação diferente das bobinas...

$$H = \frac{\alpha}{\sqrt{V_{ac}}} - \frac{\beta}{V_{ac}}, \quad \text{com } \alpha = \frac{Bl}{4}(l + 2D)\sqrt{\frac{2q}{m}} \quad \text{e} \quad \beta = \frac{El}{4}(l + 2D)$$



# H08



$$H = ax^2 + bx + c = a \frac{1}{V_{ac}} + b \frac{1}{\sqrt{V_{ac}}} + c$$
$$x = \frac{1}{\sqrt{V_{ac}}} \quad \text{e} \quad H = a \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \left( \frac{b^2}{4a} \right)$$

# Tensão máxima, E e B

	E (kV/m)	B (mT)	V <sub>ox</sub> (m/s)
H01	14,6 (4)	0,915 (26)	1,569 (11) 10 <sup>7</sup>
H02	14,3 (6)	0,910 (36)	1,569 (11) 10 <sup>7</sup>
H03	12,7 (6)	0,80 (4)	1,57 (2) 10 <sup>7</sup>
H04	9,6 ± 11%	0,61 ± 11%	1,57 ± 1% 10 <sup>7</sup>
H05	18,9 (3)	1,21 (22)	1,6 (??) 10 <sup>8</sup>
H06	13,5 (9)	0,86 (5)	1,57 (4) 10 <sup>7</sup>
H07	17,2 (18)	1,5 (2)	1,58 (24) 10 <sup>7</sup>
H08	1798200,81± 1023277,47	-6164,77± 2480,60	

Apenas 1 ponto, notem a incerteza

Faltaram as unidades

$E=13.5 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $B=0,857 \times 10^{-3}\text{T}$ ,  $v=1,57 \times 10^7\text{m/s}$ ,  $K\sim 3,3 \times 10^{-10}$ ,  $H = 5\text{mm}$

# Exp. 2 – Seletor de Velocidades

## PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
  - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
  - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
  - Simular o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 4
  - Estudar a deflexão do feixe em função da tensão entre as placas e da tensão de aceleração
- Semana 5
  - Mapear e simular o campo magnético das bobinas
- Semana 6
  - Estudar a deflexão do feixe em função da corrente nas bobinas e da tensão de aceleração
- Semana 7
  - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

# O potencial elétrico

- Definição de potencial: para um deslocamento qualquer  $d\mathbf{r}$  na posição, a variação  $dV$  no potencial é dada por:

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

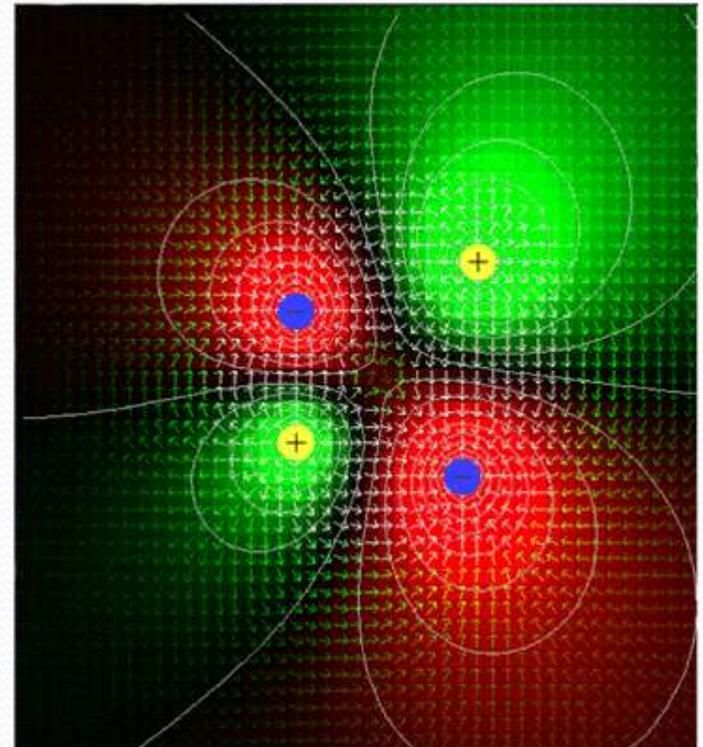
$\theta$  é o ângulo entre o vetor campo elétrico  $\mathbf{E}$  e o vetor deslocamento  $d\mathbf{r}$  na posição

- a máxima variação  $dV$  no potencial ocorre quando  $d\mathbf{r}$  e  $\mathbf{E}$  são paralelos
- quando  $d\mathbf{r}$  e  $\mathbf{E}$  são perpendiculares entre si,  $dV=0$ , que significa que  $\mathbf{E}$  é perpendicular às superfícies equipotenciais.

# Equipotenciais

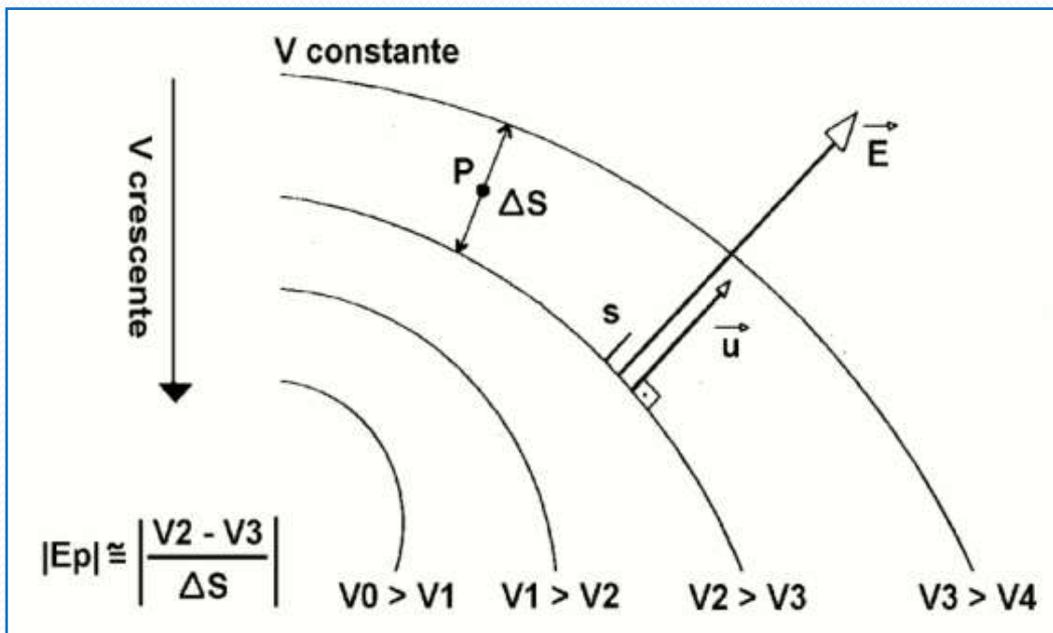
- As superfícies equipotenciais (3D) ou linhas equipotenciais (2D) são aquelas nas quais o potencial  $V$  é constante.

Ex.: A configuração é a de um quadrupolo elétrico: as linhas são as equipotenciais



# O campo elétrico

- $\mathbf{u}$  é um versor perpendicular à equipotencial e  $s$  é a coordenada na direção do sentido de  $\mathbf{u}$ :



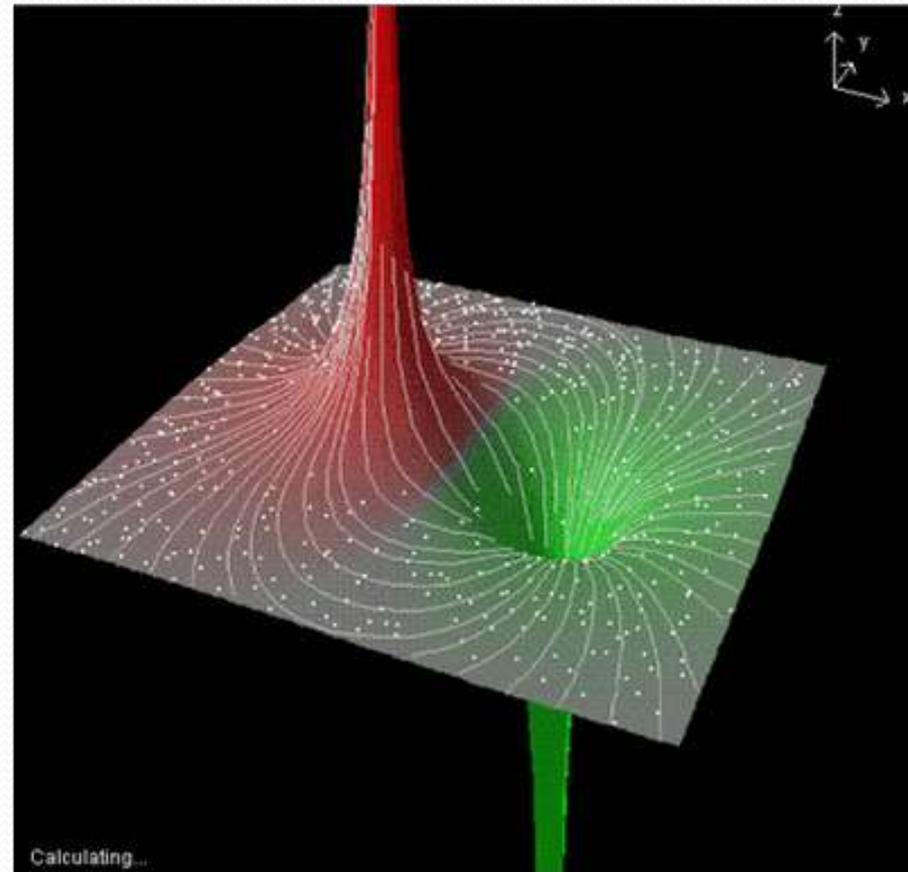
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{E} = -\left(\frac{dV}{ds}\right)\vec{u}$$

$$E \cong -\left(\frac{\Delta V}{\Delta s}\right)$$

# Linhas de campo

- As linhas de campo são perpendiculares às equipotenciais.
- Ex.: A configuração é a de um dipolo elétrico, mostrando as linhas de campo tridimensionais.

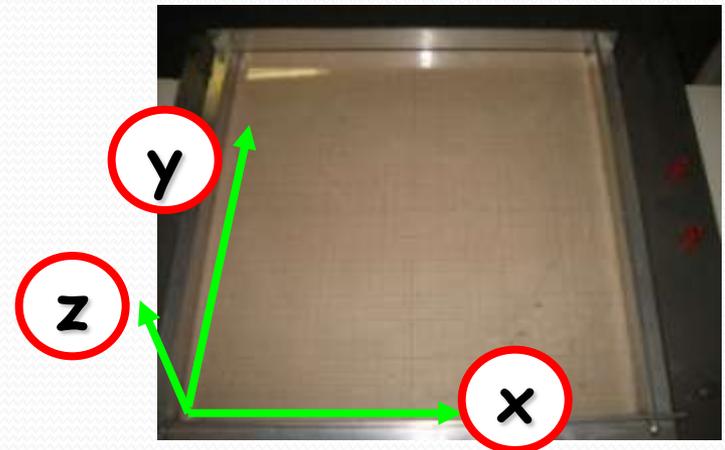


# O campo elétrico

- Conhecendo-se a distribuição espacial do potencial pode-se calcular o campo.
  - O potencial nós sabemos medir (voltímetro)!
  - Calculamos o campo com  $\vec{E} = -\left(\frac{dV}{ds}\right)\vec{u}$
- Como determinar o potencial?
  - Analiticamente a partir da resolução das equações diferenciais que descrevem a geometria da configuração de cargas
  - Métodos numéricos → simulação computacional
  - Simulação experimental numa cuba eletrolítica bidimensional

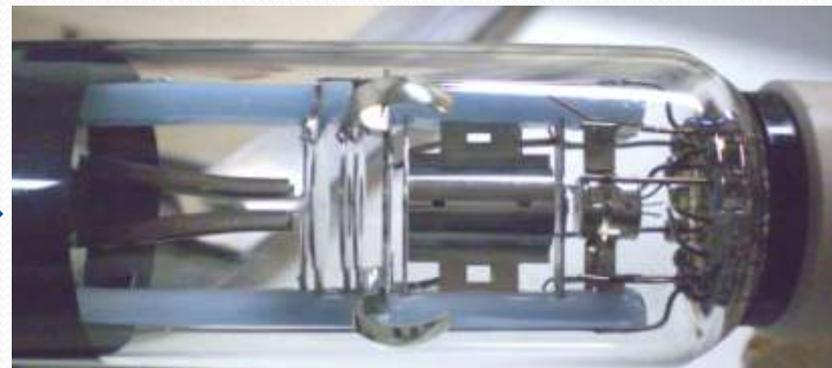
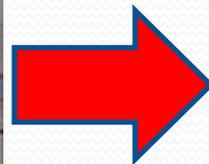
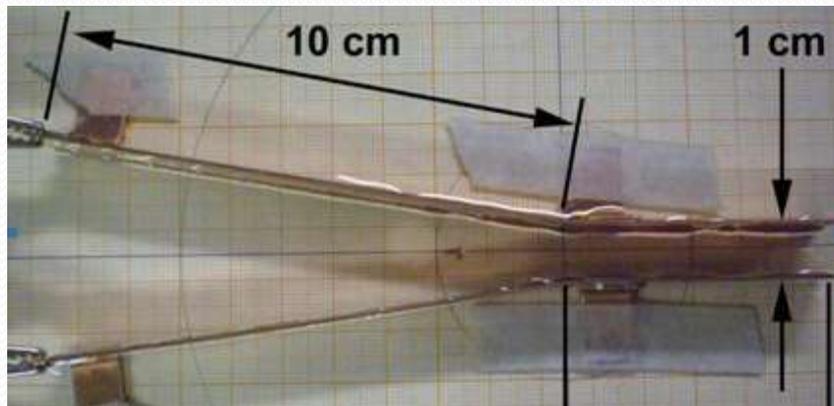
# Simulação com cuba eletrolítica

- Uma cuba bidimensional somente simula problemas que tenham simetria em **z**
- Ela deve permitir a medida de diferenças de potencial com voltímetros
- Ela deve satisfazer as condições de contorno do problema (eletrostático):
  - os eletrodos são metálicos e estão com uma diferença de potencial constante...  
Portanto o campo elétrico deve ser nulo no interior!

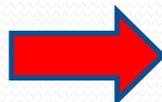


# Simulação com cuba eletrolítica: a simetria em $z$

- O que queremos medir:
- As equipotenciais das placas defletoras do **TRC** (capacitor de placas não paralelas)
  - A simetria em  **$z$**  existe porque só interessa o campo na região que o feixe atravessa



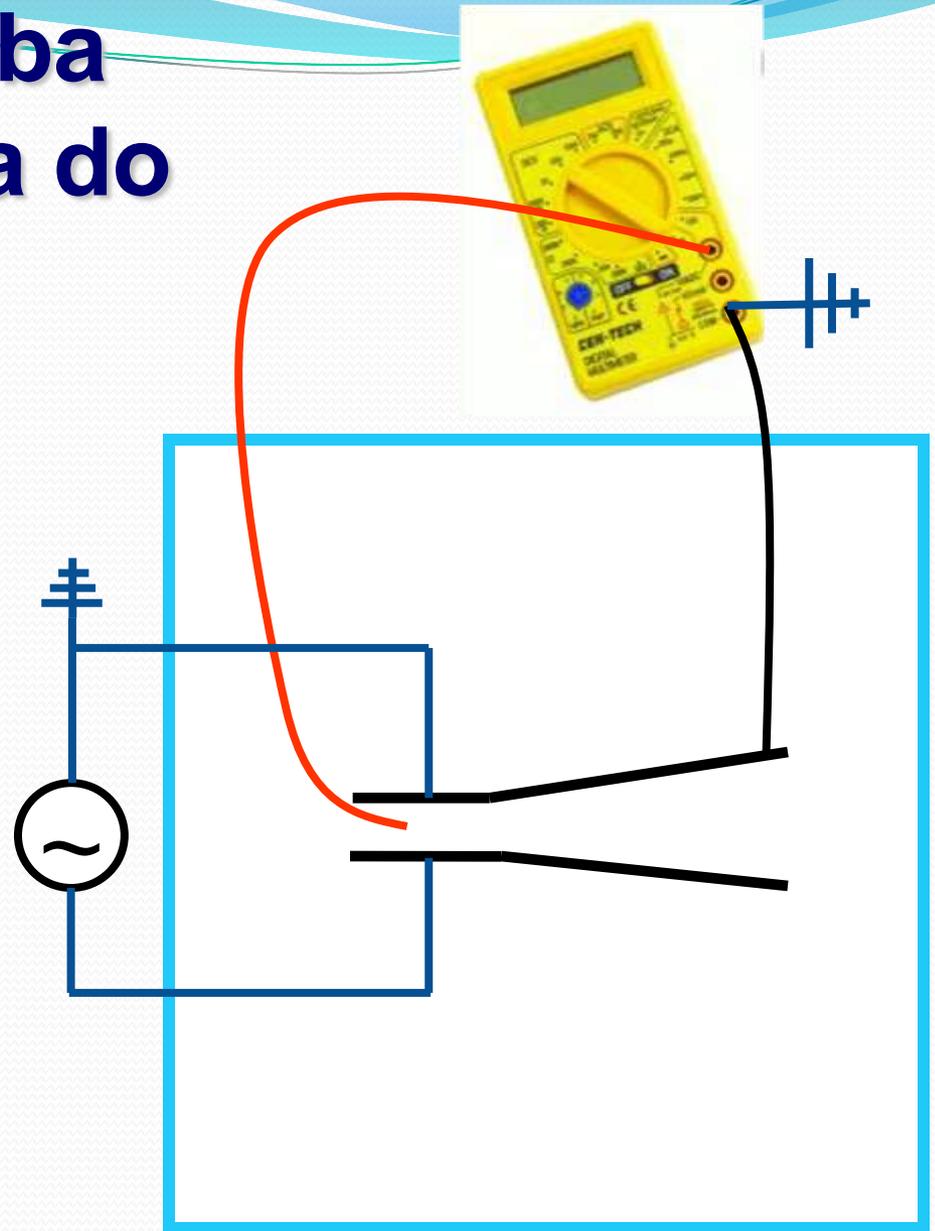
Modelo em escala



Medindo o potencial, calculamos o campo!

# Simulação com cuba eletrolítica: medida do potencial

Em princípio, construímos os eletrodos metálicos com a geometria certa, carregamos com uma diferença de potencial e medimos o potencial em vários pontos para determinar as equipotenciais.



# Simulação com cuba eletrolítica: medida do potencial

## Não é tão simples porque:

- O potencial não pode ser medido no ar
  - A ponta de prova altera completamente o potencial a ser determinado.
  - Seria perdida a simetria em **z**.
  - Na comparação da resistência interna de um voltímetro com a resistência de uma camada de ar de alguns centímetros, verifica-se que a resistência interna do voltímetro é muitíssimo menor do que seria necessário.

# Simulação com cuba eletrolítica: medida do potencial

- **Uma maneira de contornar esses problemas:**
  - Usar um meio material de baixa condutividade, mas cuja resistência elétrica entre os pontos envolvidos na medição seja muito menor que a resistência interna do voltímetro (assim conseguimos medir!)
  - Só que, neste caso, o dispositivo não é mais eletrostático, porque flui corrente elétrica!!
- **Ainda assim podemos simular corretamente o problema eletrostático desde que:**
  - A condutividade  $\sigma$  seja muito menor que a do metal de que são feitos os eletrodos.
  - O meio seja ôhmico.

# Simulação com cuba eletrolítica: medida do potencial

É fácil de entender:

- A densidade de corrente que passa através da água e dos eletrodos tem que ser a mesma (continuidade):

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

- Se tivermos  $\sigma_{\text{eletrodo}} \gg \sigma_{\text{meio}}$  então o campo elétrico no interior do eletrodo é muito menor que o campo no meio (para manter  $\vec{j}$  constante).... E pode ser desprezado.

$$\text{resistivid ade} = \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\text{condutivid ade}}$$

# Simulação com cuba eletrolítica: medida do potencial

- Em resumo,
  - desde que a **condutividade** do meio material seja muito menor que a do eletrodo metálico
  - que esse meio obedeça à lei de Ohm
  - que as correntes estejam em regime estacionário,
- o campo elétrico dentro dos eletrodos metálicos pode ser desprezado
- e as condições de contorno são aproximadamente as mesmas que na ausência do meio material.

A cuba serve para mapear  
o campo que queremos



Só precisa achar um meio  
adequado

# Medindo a condutividade

- Vamos experimentar a água da torneira:
  - tem sais:  $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} \ll \sigma_{\text{Cu}}$ ?

- Vamos medir e checar!

- A água é ôhmica e vale:

$$R = \rho \frac{L}{A} = \left( \frac{1}{\sigma} \right) \frac{L}{A}$$

- a constante de proporcionalidade  $\rho$  é chamada de resistividade e é o inverso da condutividade  $\sigma$ .
- a unidade da condutividade é  $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ . A condutividade do cobre é  $\sigma = 5,71 \times 10^5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .
- o comprimento  $L$  é a distância entre as laterais, onde se está aplicando a diferença de potencial,
- a área  $A$  é obtida a partir da altura  $h$  da água e da largura  $d$  das laterais.

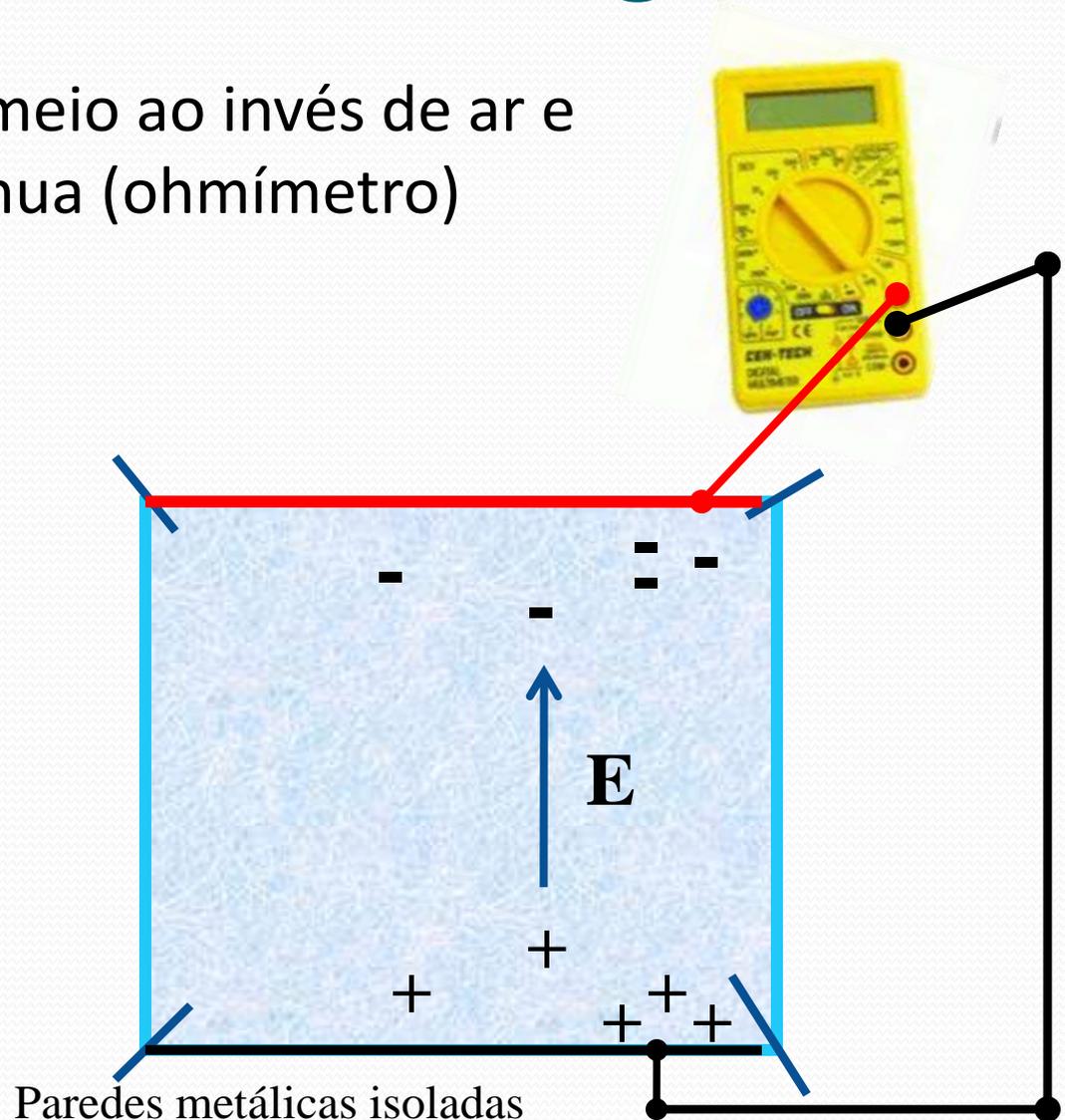


# Atividades da Semana – Parte 1

## Resistência da cuba com Água

Vamos usar a água como meio ao invés de ar e medir com corrente contínua (ohmímetro)

- Qual a resistividade da cuba como um todo?
- Depende da altura da água?
- Varia com o tempo? Porque?
- Nossas hipóteses são satisfeitas se usarmos corrente contínua?



# Atividades da Semana – Parte 2

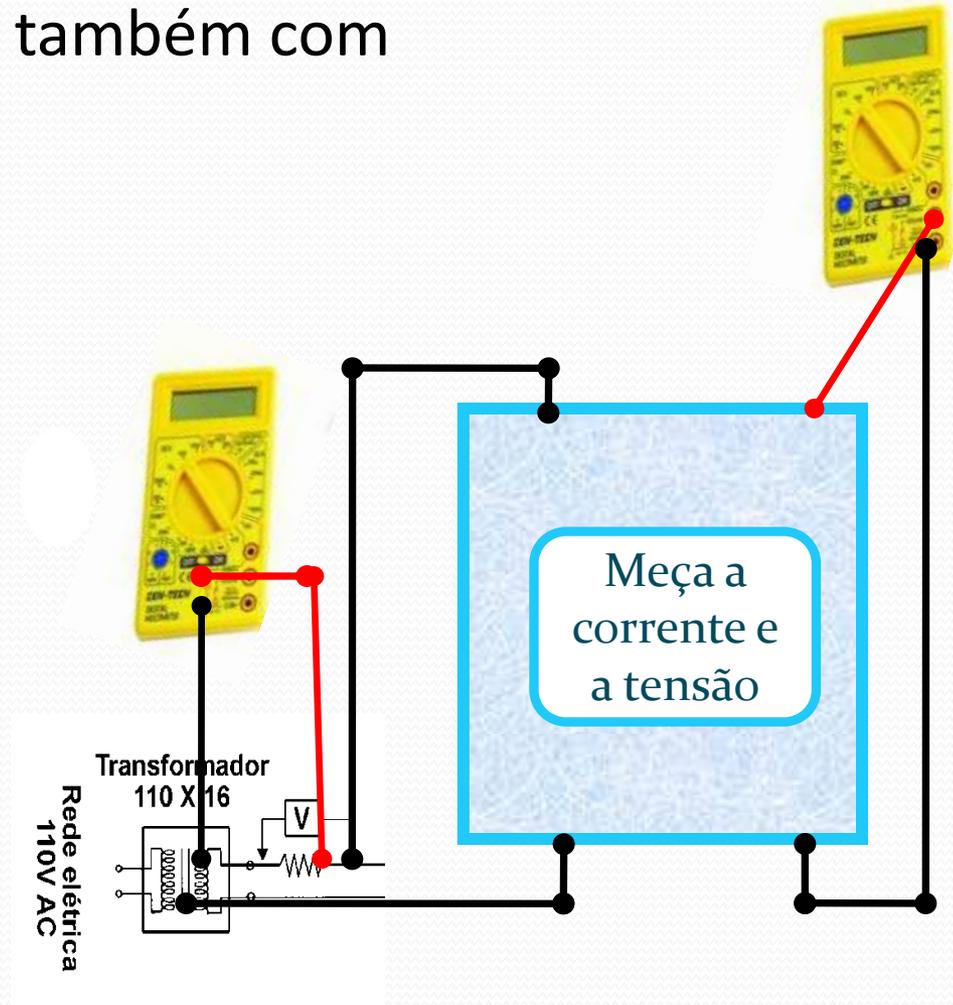
## Resistência da cuba em AC

Só para garantir, vamos medir também com corrente alternada.

- Meça a tensão e a corrente atravessando a cuba
- Qual a resistividade da cuba?
  - Depende da altura da água?
  - Varia com o tempo? Porque?
  - Nossas hipóteses são satisfeitas se usarmos corrente alternada?

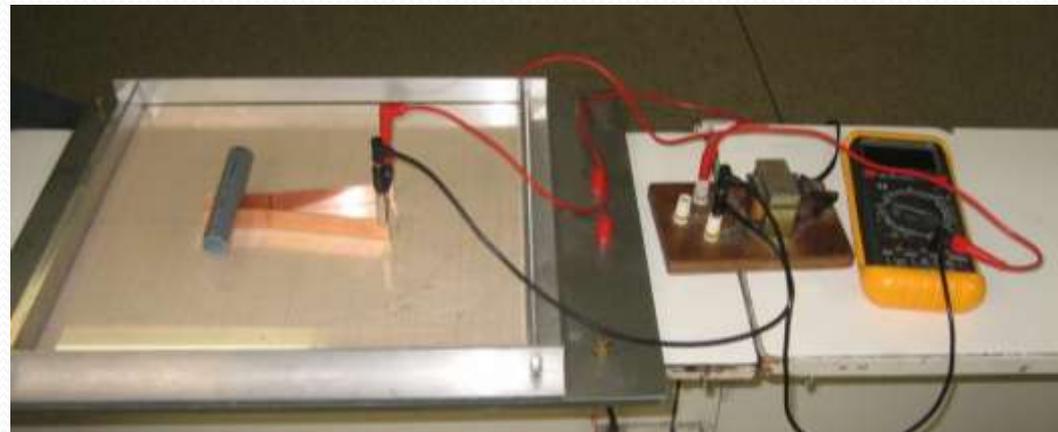
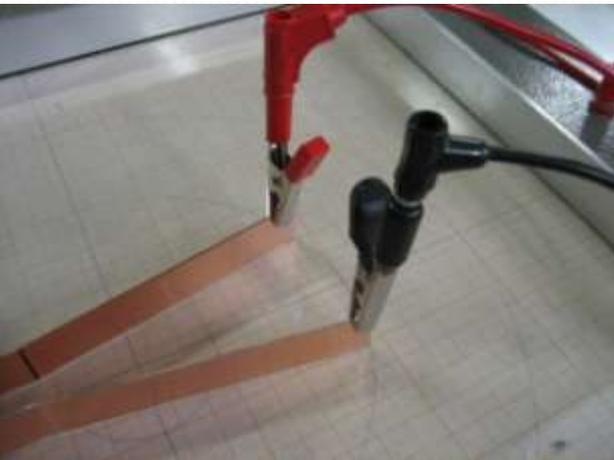
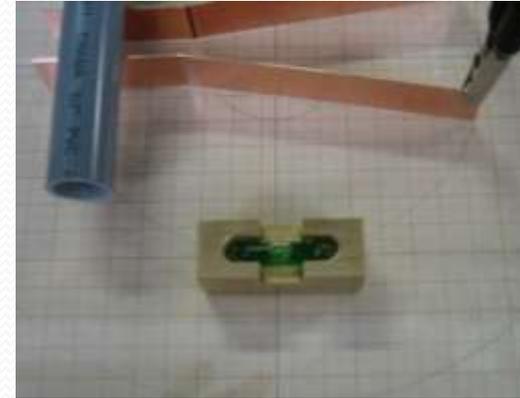
Em caso afirmativo:

- Calcule  $R_{\text{cuba}}$  e compare com  $R_V$
- Calcule  $\sigma_{\text{H}_2\text{O}}$  e compare com  $\sigma_{\text{Cu}}$



# Cuidados Experimentais

- Queremos simular as placas defletoras no TRC então:
  - Verifique qual o fator de escala entre as medidas das placas de cobre e das placas do TRC
  - Qual separação e orientação você deve colocá-las ?
  - Verifique o nível da água
  - O que acontece com o potencial se os eletrodos estiverem dentro d'água?
  - A fonte de CA é um transformador. É preciso um resistor de proteção?

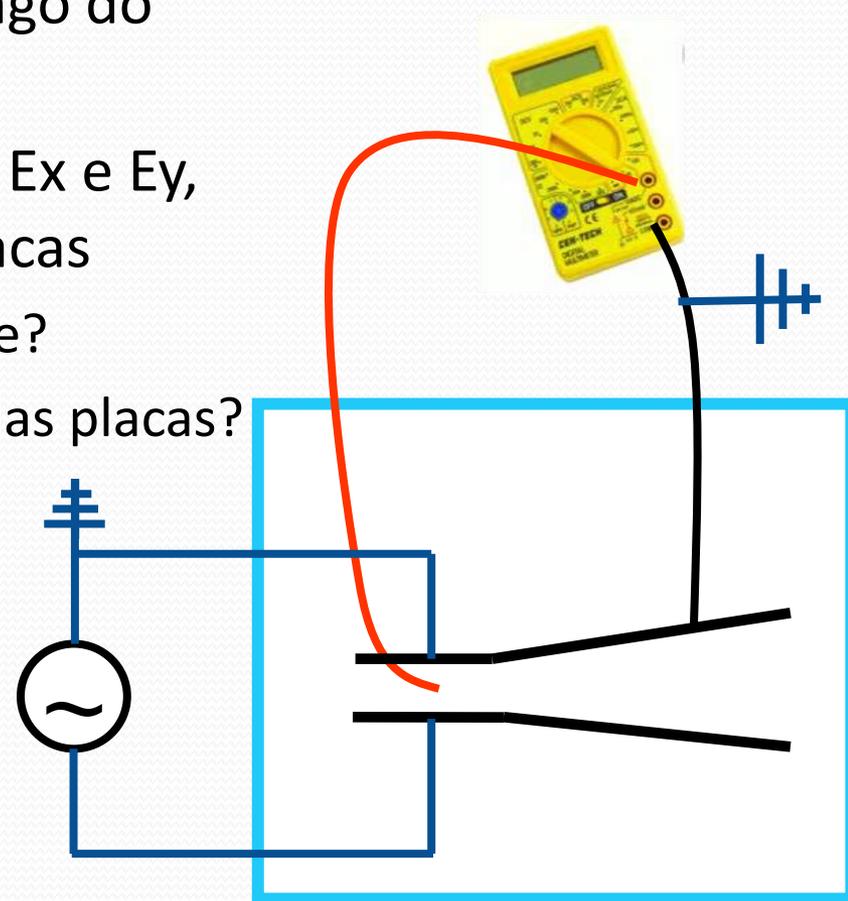


# Atividade da Semana – Parte 3

## Mapeamento do Campo e Potencial

OK, agora que sabemos como simular as placas, vamos usá-las para saber como varia o campo elétrico nesta região.

- Fazer um gráfico do potencial ao longo do eixo de simetria
- Fazer um gráfico do campo elétrico,  $E_x$  e  $E_y$ , ao longo da linha média entre as placas
  - Qual a componente mais importante?
  - O campo é uniforme dentro e fora das placas?
  - Existem efeitos de borda?
- Faça um mapa (curvas de nível) do potencial elétrico na região das placas
  - Meça a cada 1 ou 2cm em x e y



# Cuidados Experimentais - 2

- Lembre-se, para calcular  $E$ :
  - $E_x \sim \Delta V_x / \Delta X$
  - $E_y \sim \Delta V_y / \Delta Y$
- Portanto, para determinar  $E_x$  e  $E_y$  entre as placas, precisam medir pontos **em cima** e **fora** do eixo!

