

# 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  
Ramal: 7111  
Pelletron

Física Exp. 3  
Aula 3, Experiência 2  
Simulação de E e Mapeamento de B

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

# 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. Revisão Eletricidade

# O potencial elétrico

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

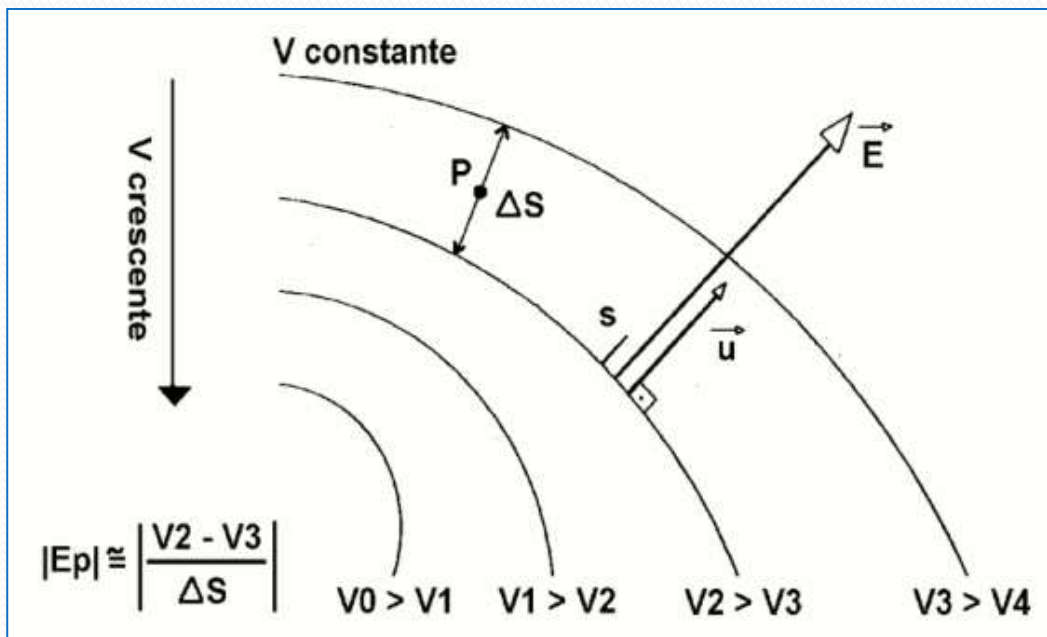
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

$\theta$  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.

# O campo elétrico

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



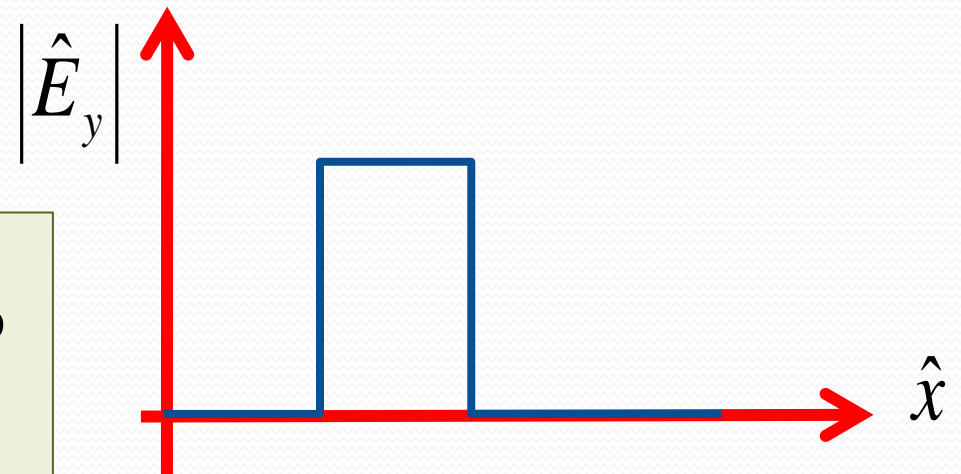
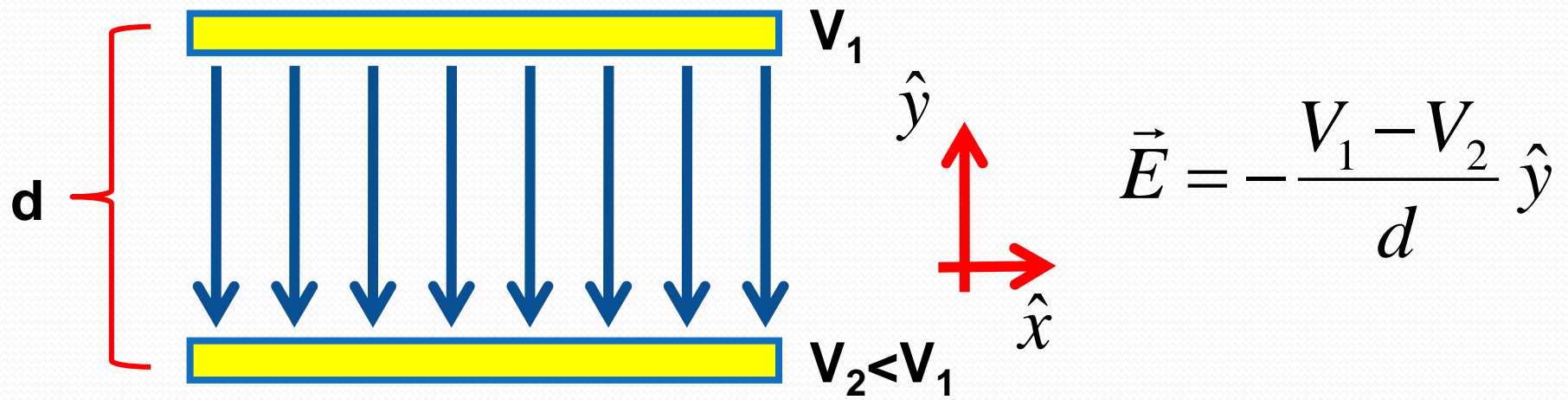
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

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

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

# Capacitor Ideal $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

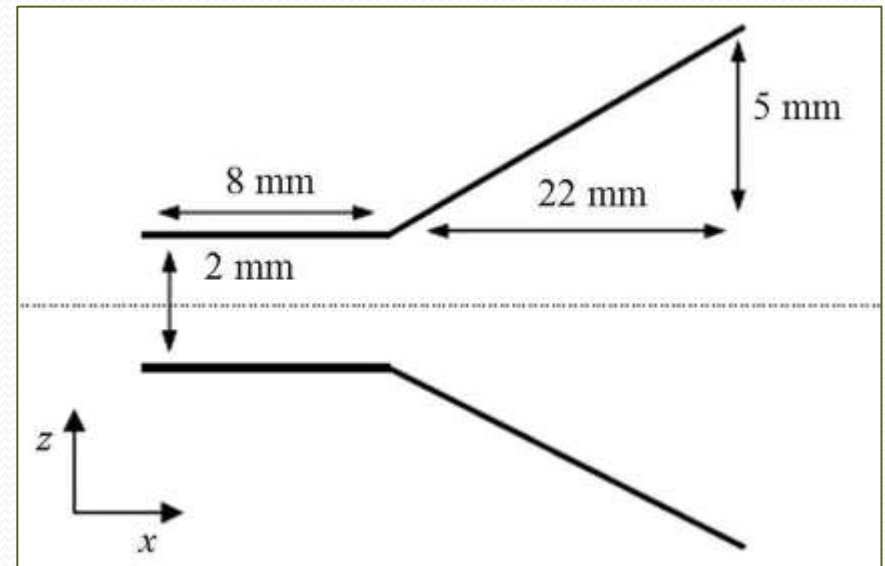
- Como é o campo elétrico de um capacitor ideal?



Campo elétrico uniforme em módulo, direção e sentido, que só existe dentro do capacitor ideal (placas paralelas e infinitas).

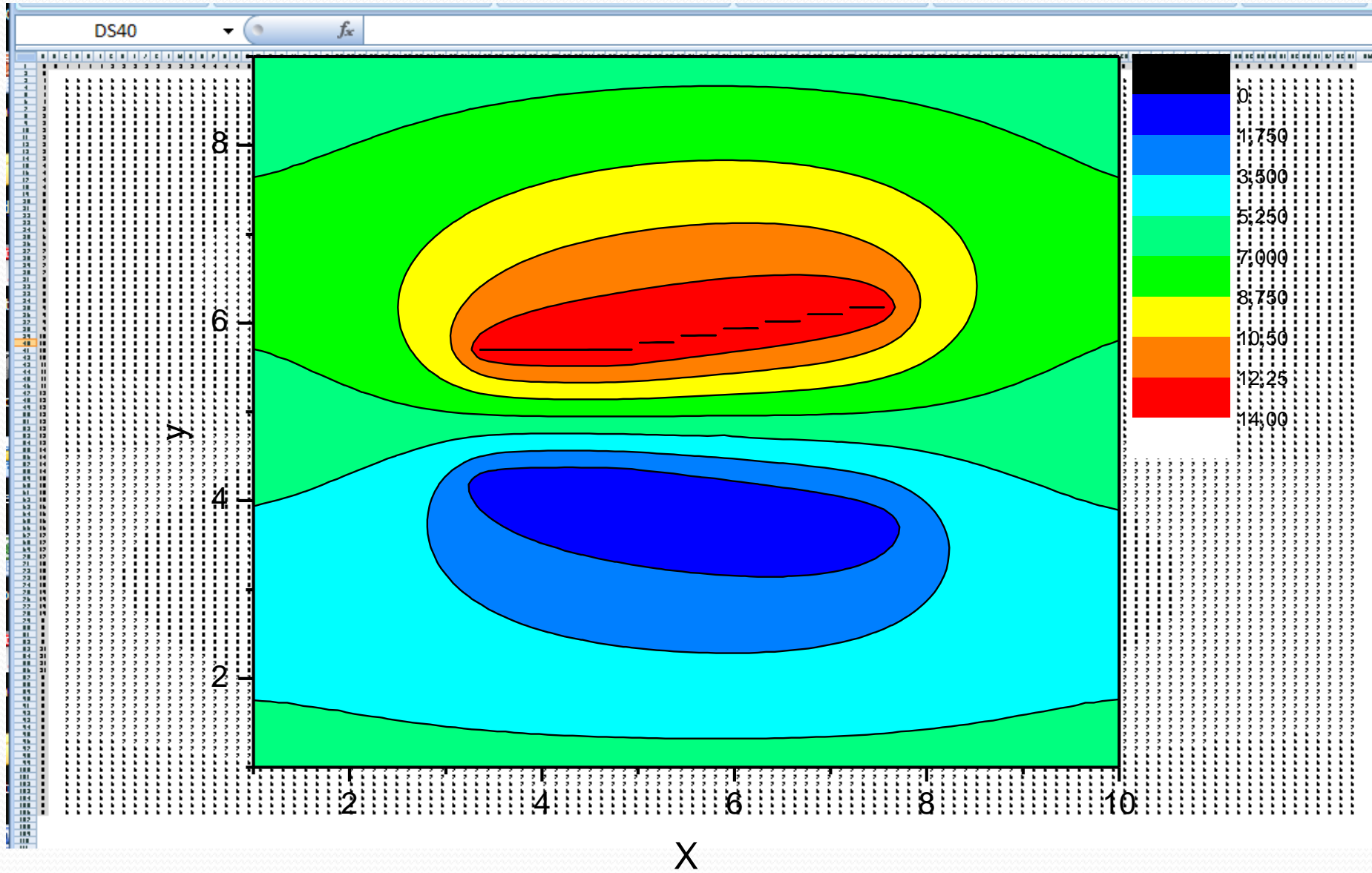
# Capacitor do TRC

- Continua valendo que:  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$



- Mas como calculamos o campo e ou o potencial??

# Exemplo: simulação na planilha

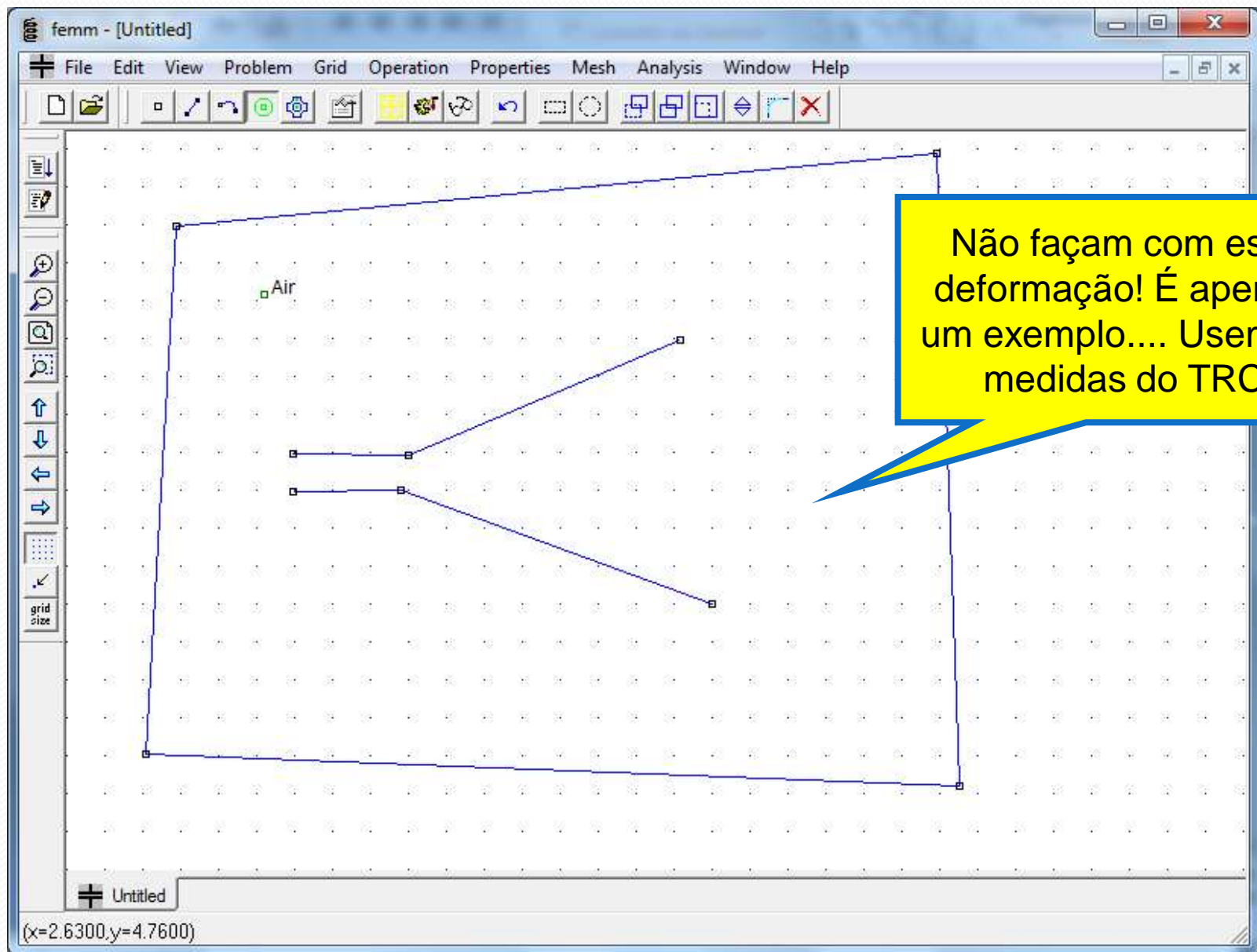






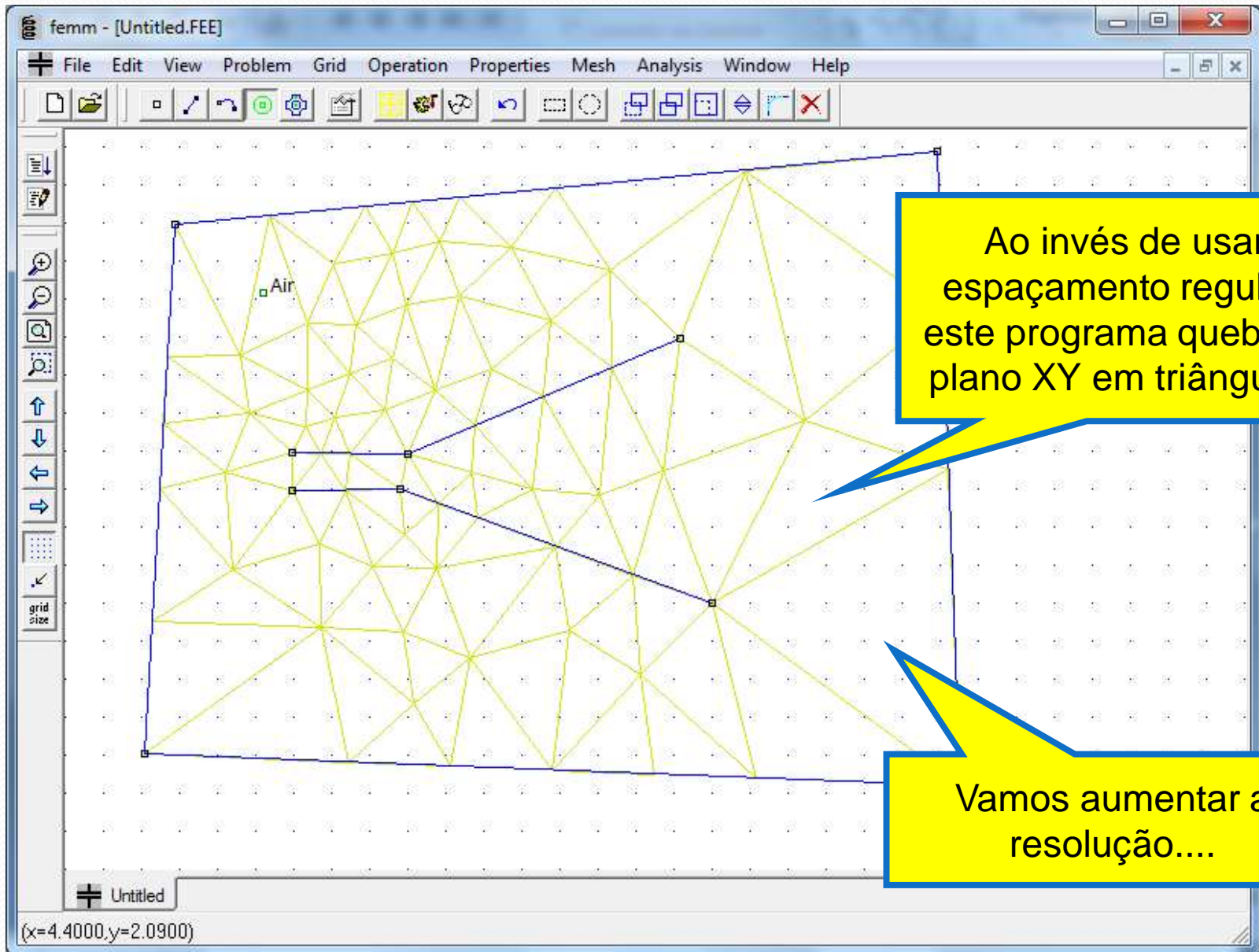
## 2. Uso do programa FEMM

# Primeiro definimos o problema

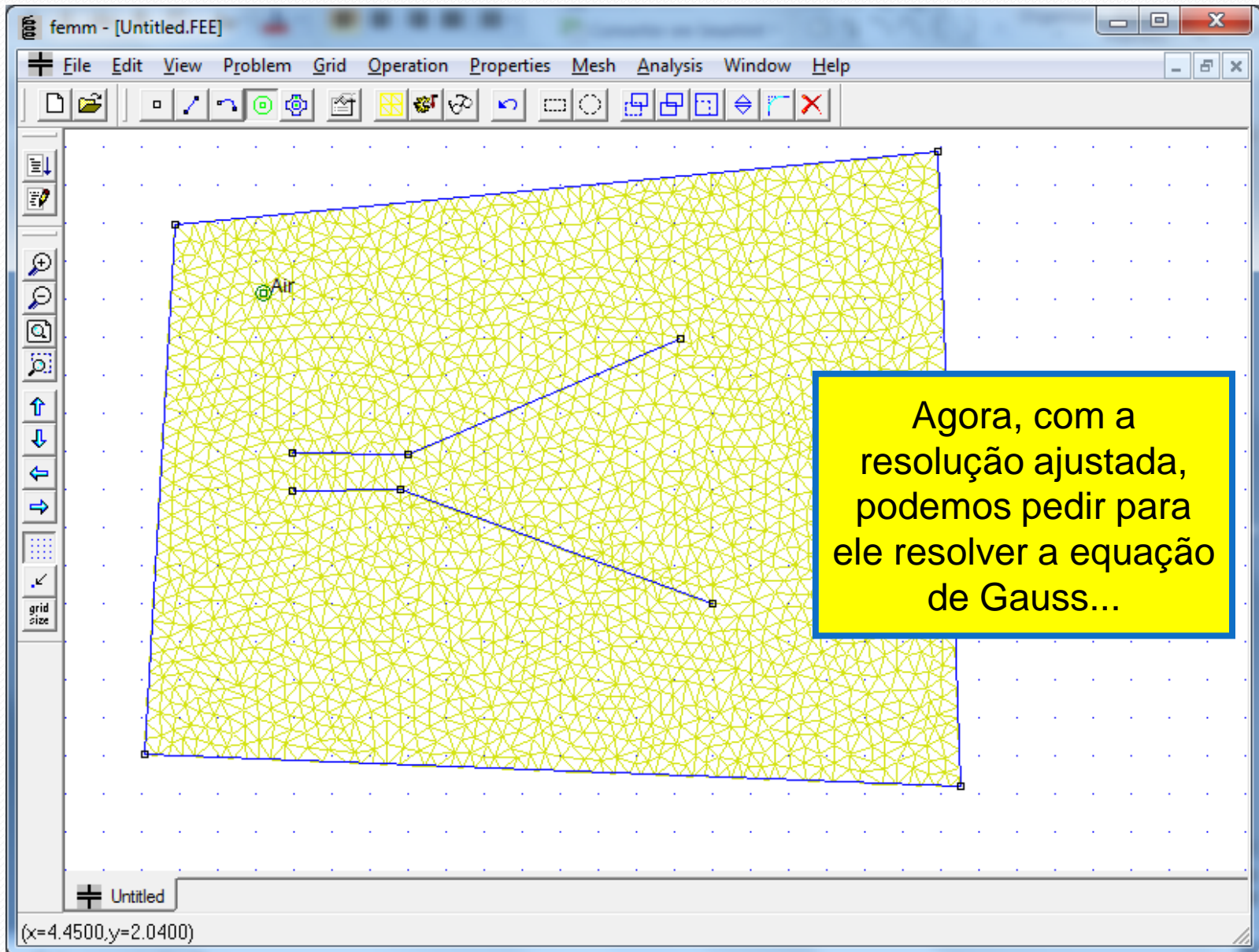


Não façam com esta deformação! É apenas um exemplo... Usem as medidas do TRC

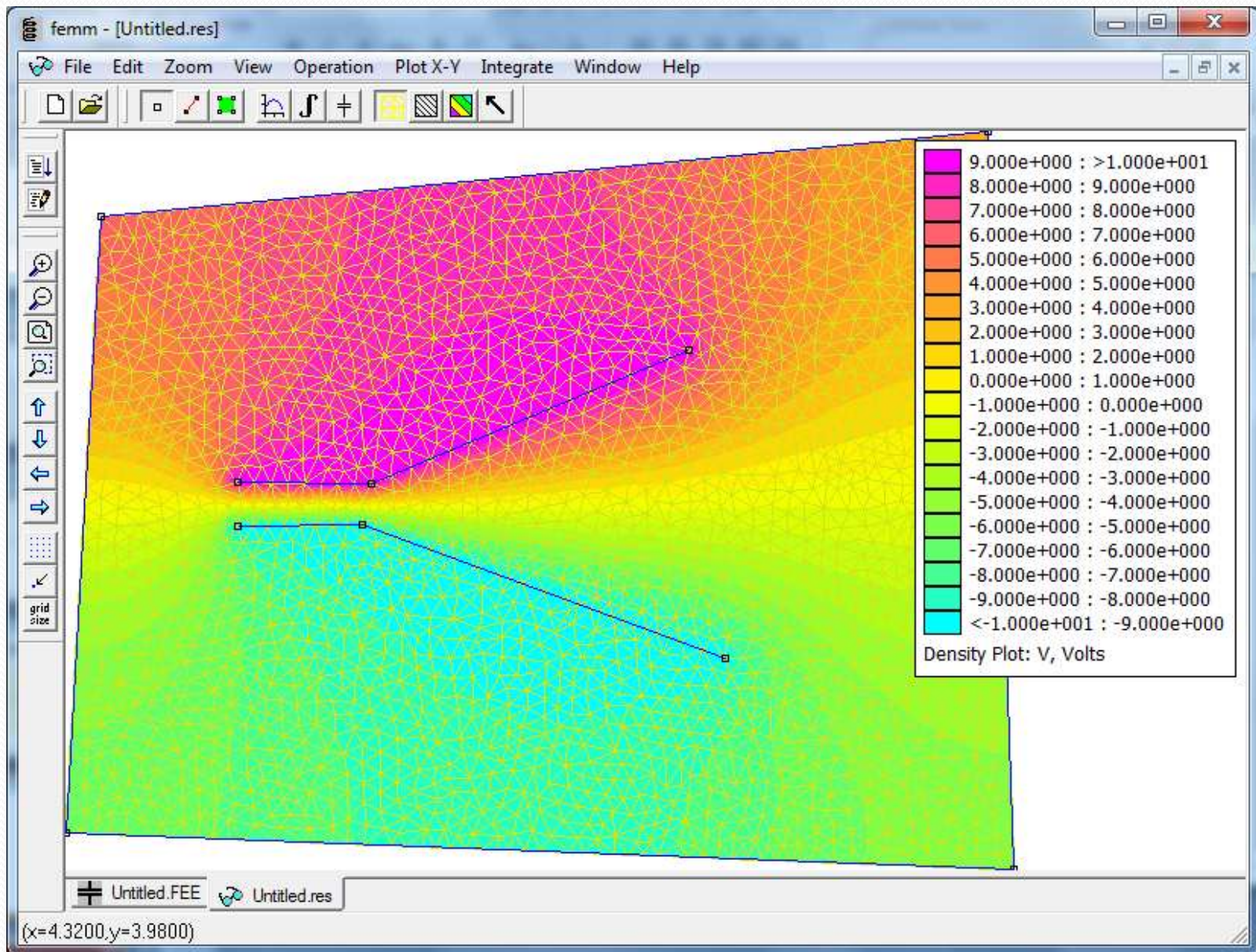
# Criamos a malha



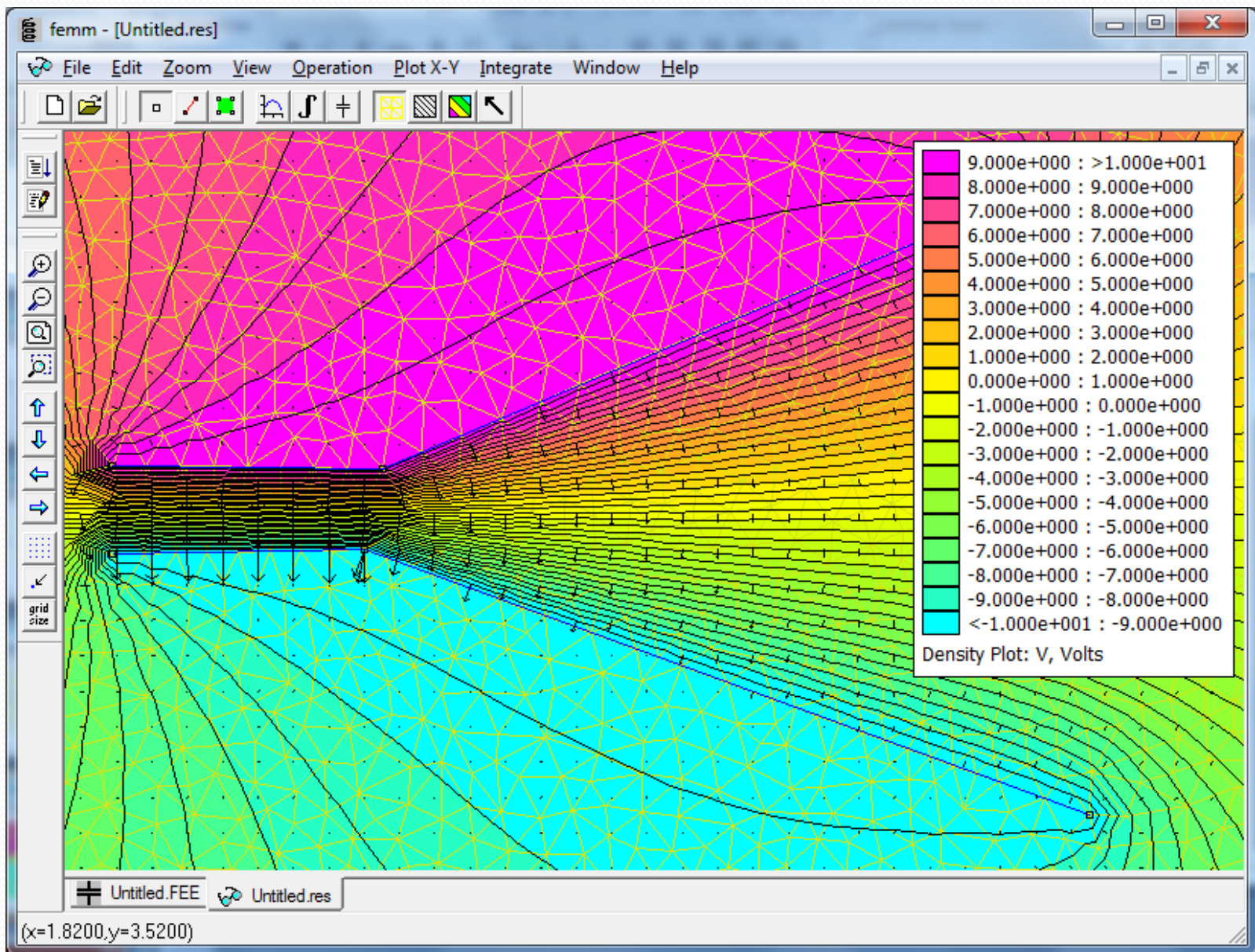
# Agora sim...



# Mapa do potencial elétrico



# Equipotenciais e Vetor Campo E.



# Henrique Barbosa

Search

[Home](#) | [View](#) | [Print](#)

## Pesquisa

- Linhas de Pesquisa
- Lista de Publicações
- Projetos de Pesquisa
- Bolsistas
- Oportunidades

## Ensino

- Disciplinas
- Tutoriais**

## Outros

Ubuntu

## Contato

Pessoal

Secretaria

1,512 Visitors

6 Nov 2010 - 16 Aug 2011



Visitantes: 00888

Desde 29 Out 200

## Tutoriais

Filed in: Site.Tutoriais · Modified on : Mon, 15 Aug 11

### Modelo de Síntese (curta) (2011)

Como preparar uma síntese? Siga o modelo abaixo:

- [modelo\\_sintese2011.doc](#) <-- em formato word 97-2003
- [modelo\\_sintese2011.pdf](#) <-- em formato pdf

## Outros Software

- FEMM
  - [Apresentação PPT sobre campos elétricos - Versão 1 \(26 de outubro 2010\)](#)
  - [Tutorial para campos elétricos - Versão 1 \(26 de outubro 2010\)](#)
  - [Tutorial para campos magnéticos - Versão 2 \(7 de outubro 2009\)](#)
  - [Script "lua" para exportar os dados de um mapa 2D do FEMM para um arquivo texto. - Versão 1.1 \(23/out\)](#)
- RayTrace
  - [Planos principais](#) - Como desenhar a posição do plano principal e medir h automaticamente.

## Planilhas

- [fitpoly.ods](#) Planilha do OpenOffice para ajustar um polinômio de qualquer grau a um conjunto de dados.

# Tarefas da Semana – Parte 1

- Simule, em escala o campo elétrico das placas do TRC.
  - As medidas estão no site e o tutorial também!
  - Os monitores e professores podem ajudá-lo
- Entregue o gráfico do campo elétrico, em função da distância à origem (você define).
  - Ao longo da linha que o feixe percorre, que é o que interessa
  - Entregar os gráficos com a simulação, colocando  $E_x$  e  $E_y$  no mesmo gráfico, e indicando a posição das placas.
- A partir dos seus resultados:
  - O campo elétrico é uniforme? Há efeitos de borda?





# 3. Mapeamento do campo magnético

# Objeto de estudo

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

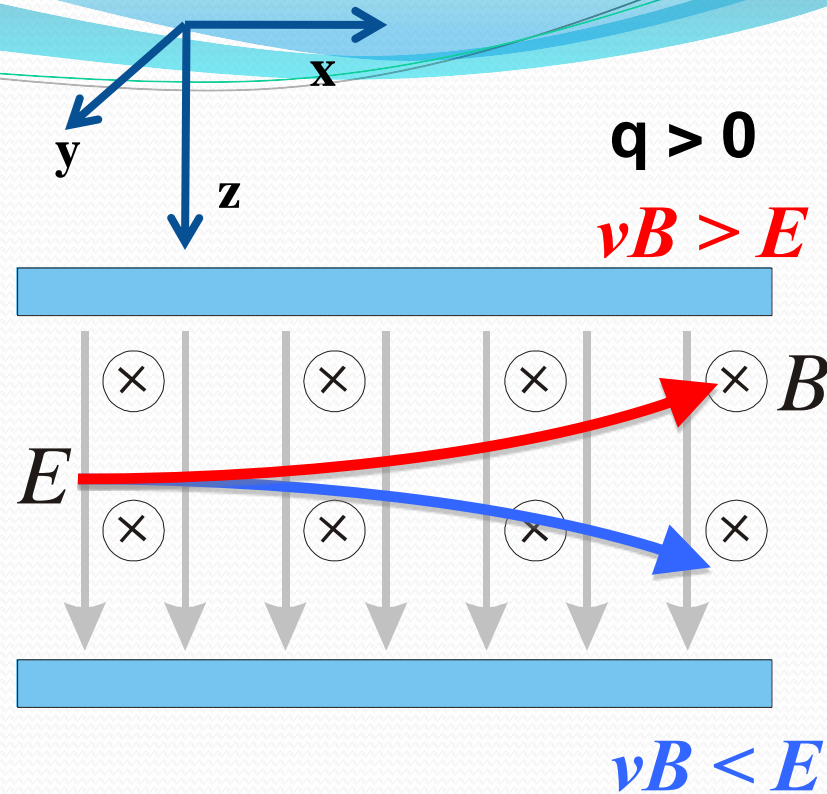
$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

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

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

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

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(E - vB) \hat{k}$$



Aceleração apenas na direção  $k$ .  
Sentido depende das intensidades de  $E$ ,  $v$  e  $B$

# Movimento de uma partícula carregada no campo magnético das bobinas.

- **Qual** vai ser o desvio sofrido pelo feixe de elétrons, medido na tela do tubo de raios catódicos, ao passar por esse campo, em termos de:
  - dimensão da região onde o campo atua ?
  - da corrente nas bobinas ?
  - da distância da borda desse campo à tela do tubo ?
  - da energia do feixe de elétrons ?

# Com a resposta

- ... poderemos saber que **corrente** vamos precisar, nas **bobinas**, para **defletir de (h)cm** um **feixe de energia** ( $E_{\text{feixe}}$ )eV.
- Antes de desenvolver o modelo (próxima aula) vamos medir o campo magnético na região entre as bobinas
- Como fazer isso? Montando as bobinas exatamente na geometria necessária para o seletor de velocidades e usando um **medidor de campo magnético**.

**Antes precisamos pensar**

# Campo magnético das bobinas.

- Do que depende o campo magnético entre as bobinas?

- No de espiras
- Geometria das bobinas
- Posição relativa entre as duas
- Corrente elétrica

} Fixos

} Podemos variar

- Então, vamos escrever o campo magnético como uma função da corrente:

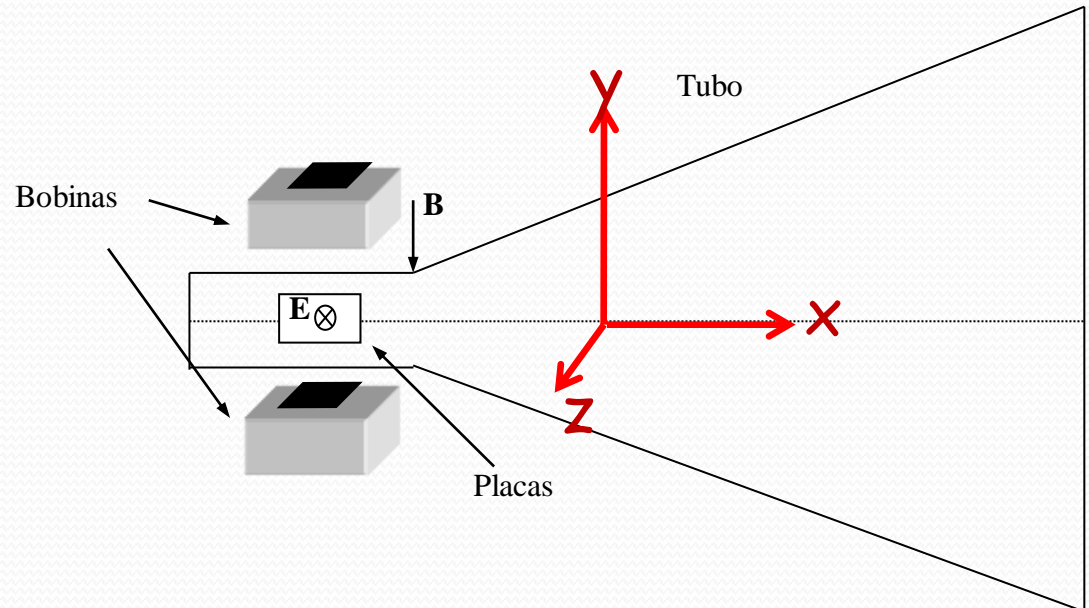
$$\vec{B} = \beta(\vec{r})i$$

$\beta$  pode ser uma constante ou uma função da posição, isso precisa ser verificado experimentalmente

# Como é o campo entre as bobinas

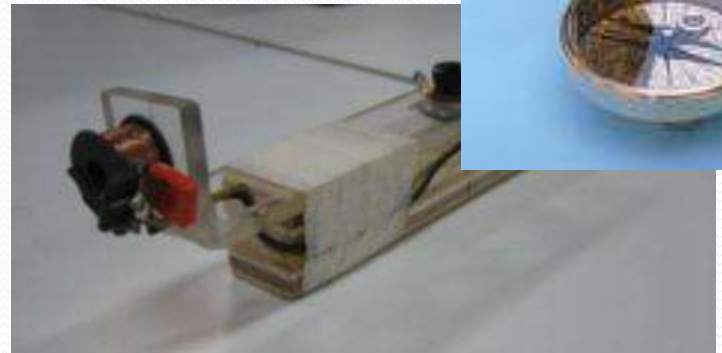
- Bobinas ideais:  $\mathbf{B} = -\nabla\phi$
- Bobina ideal existe?
- Então vamos medir as componentes ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) do campo magnético na região entre as bobinas: ao longo dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ .
- Isso é suficiente?

Como medir o campo magnético ??



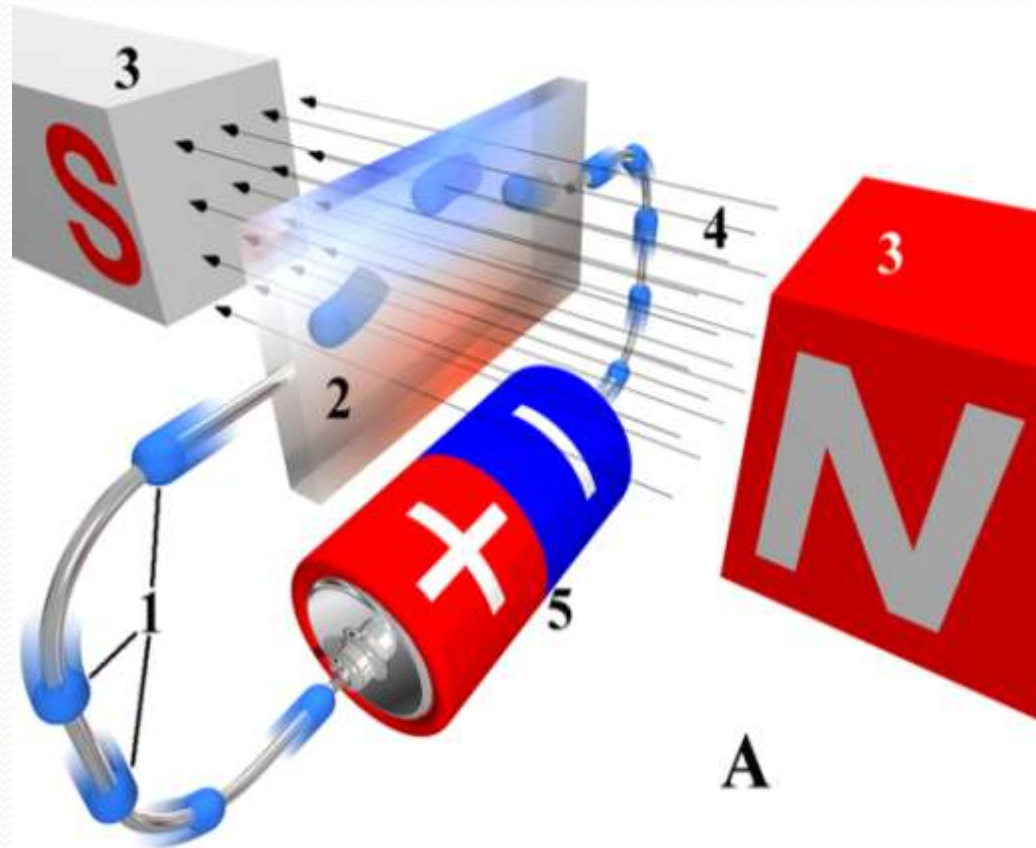
# Como medir campos magnéticos?

- Muitas técnicas
  - Bússola
    - Somente direção do campo
  - Bobinas sondas
    - Campos com fluxo variável
  - Medidor por efeito Hall
    - Campos estáticos diversos
  - TRC
    - Movimento de elétrons no campo



# O efeito Hall

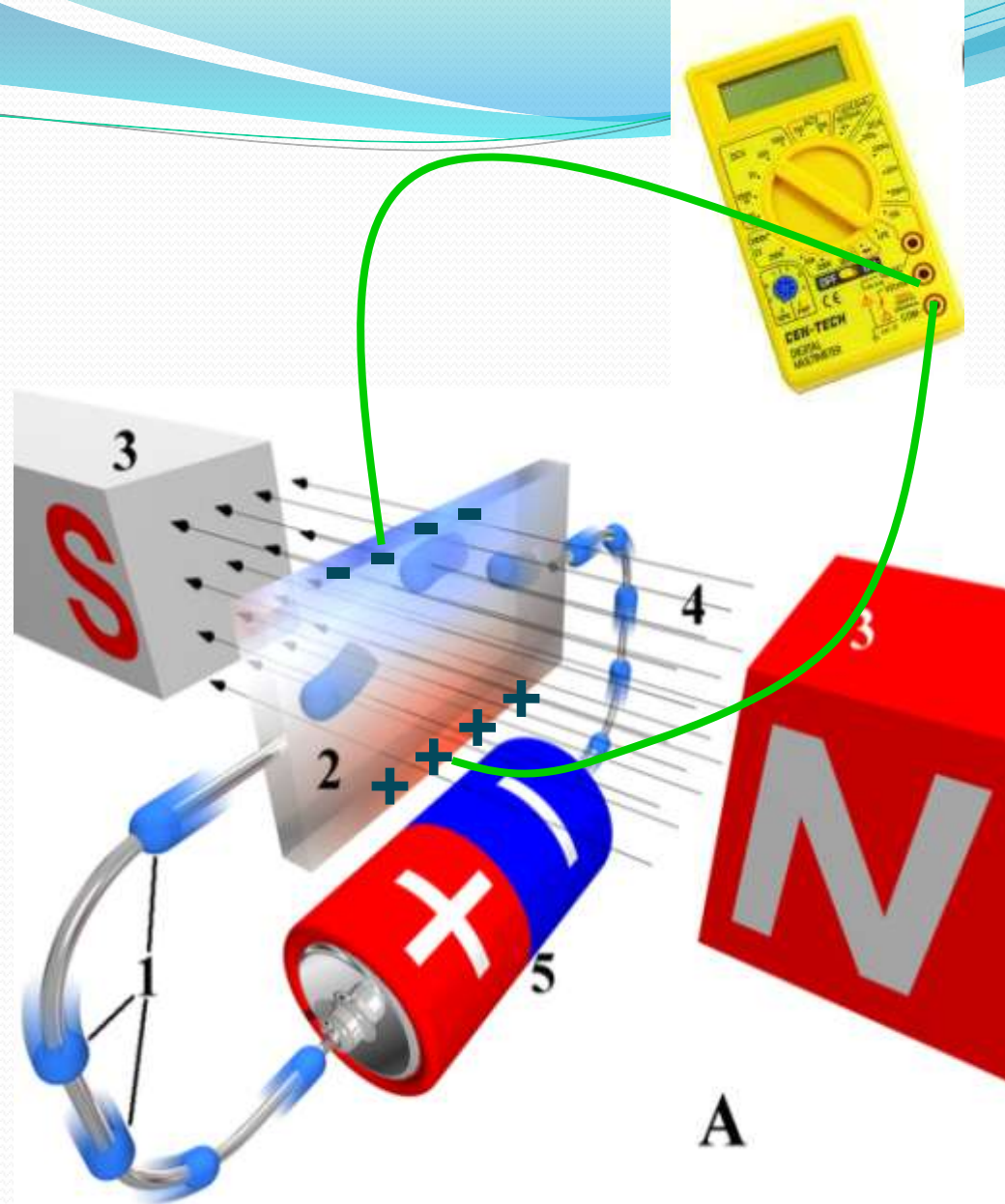
- Quando uma corrente em um condutor é inserida em um campo magnético uma força atua sobre os portadores de carga modificando a sua distribuição dentro do condutor.





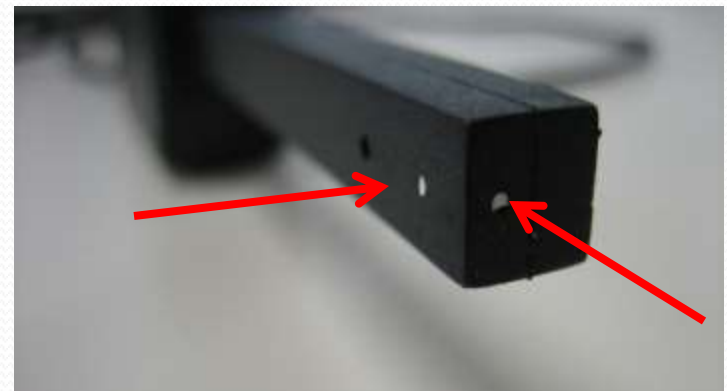
# O efeito Hall

- Esta mudança de distribuição de cargas no condutor cria uma diferença de potencial entre as superfícies do mesmo
- A diferença de potencial é proporcional ao campo magnético



# O Sensor Hall

- DataStudio
- Ponta de prova
  - Dois sensores
    - Selecionados por chave
    - Note que o sensor mede duas componentes do campo magnético.
    - Escolha o sensor de acordo com a medida que se quer efetuar
  - Possibilidade de selecionar sensibilidade
    - Similar a escala do voltímetro
    - Ajustar o DataStudio de acordo!
  - Botão de calibração (Tare)



# Algumas peculiaridades do sensor Hall do lab



Table 1  
Magnetic Sensor Specification Chart

| Range            | Gain | Resolution  | Accuracy  | Calibration Factor |
|------------------|------|-------------|-----------|--------------------|
| $\pm 1000$ gauss | 1X   | 0.5 gauss   | 100 gauss | 100 gauss/volt     |
| $\pm 100$ gauss  | 10X  | 0.05 gauss  | 10 gauss  | 10 gauss/volt      |
| $\pm 10$ gauss   | 100X | 0.050 gauss | 1 gauss   | 1 gauss/volt       |

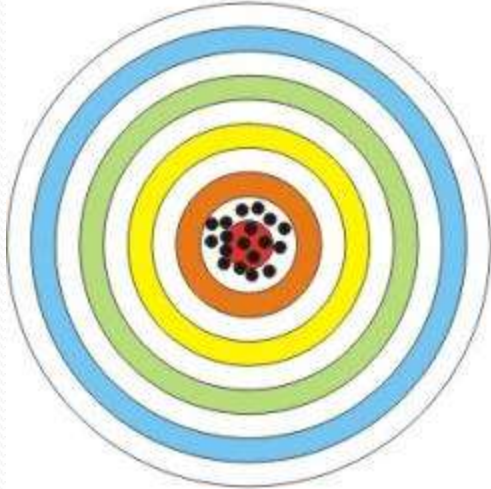
**Note:** The Hall Effect sensing elements used in the CI-6520A are temperature compensated. However when measuring very low magnetic field levels ( $\pm 10$  gauss scale) some temperature dependent variation may be observed in the output. It is on the order of a few

gauss. For the best results when using the 100X ( $\pm 10$  gauss) scale the sensor should be connected to the interface for 5 to 15 minutes before data is collected.

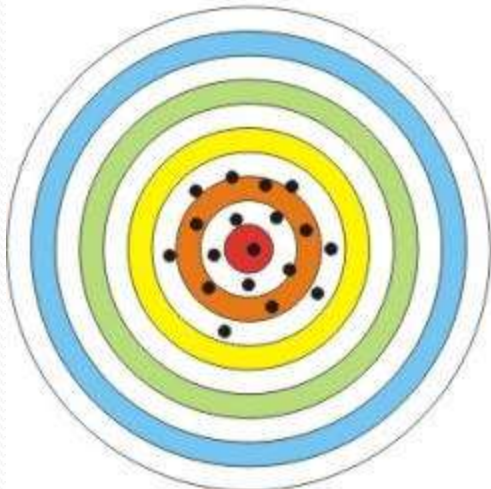
This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

# Acurácia e precisão

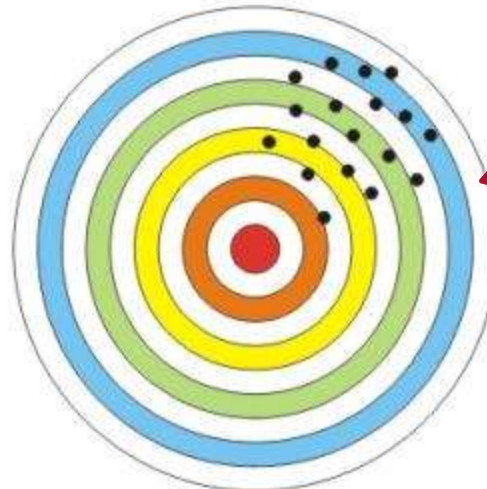
Alta acurácia  
Alta precisão



Baixa acurácia  
Alta precisão



Alta acurácia  
Baixa precisão



Baixa acurácia  
Baixa precisão

O nosso sensor Hall enquadra-se nesta categoria para a escala da medida que queremos realizar.

# Medida do campo das bobinas

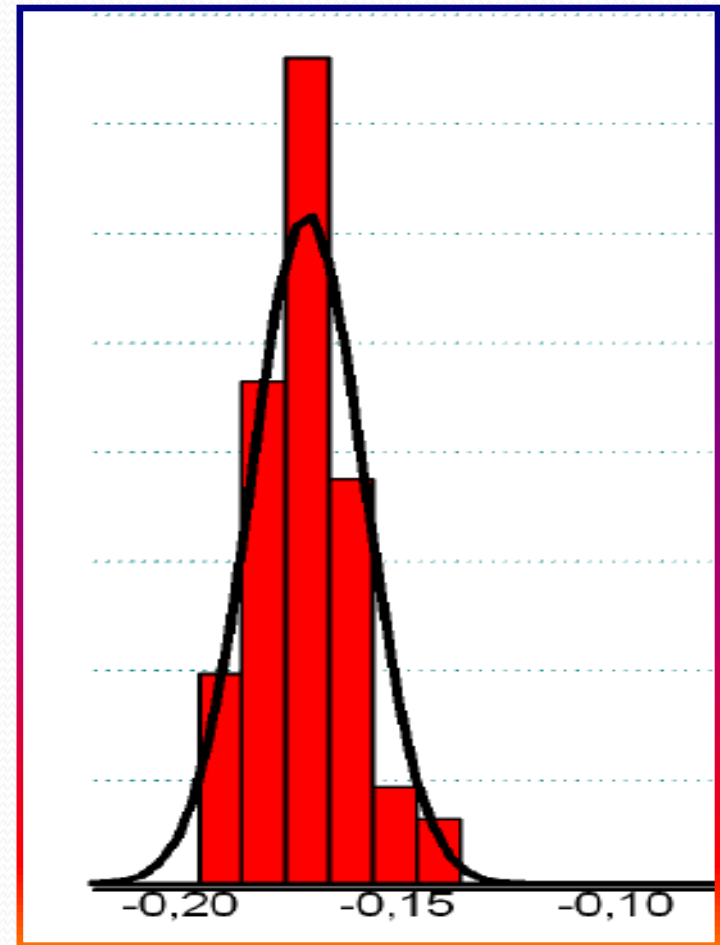
- Como minimizar problemas de acurácia
  - Eu não sei onde está o zero. O que fazer?
  - Calibrar o sensor com a câmara de zero Gauss
  - Ou simplesmente usar o Tare do sensor.
- Mesmo assim a estabilidade é um problema sério do sensor Hall na escala mais sensível (X100)



# Medida do campo das bobinas

- E a precisão? Como contornar A melhor forma é fazendo medidas estatísticas.
  - Se a incerteza de uma medida é:  $\sigma = 0,050 \text{ G}$
  - Se eu fizer N medidas eu tenho que a incerteza da média vale

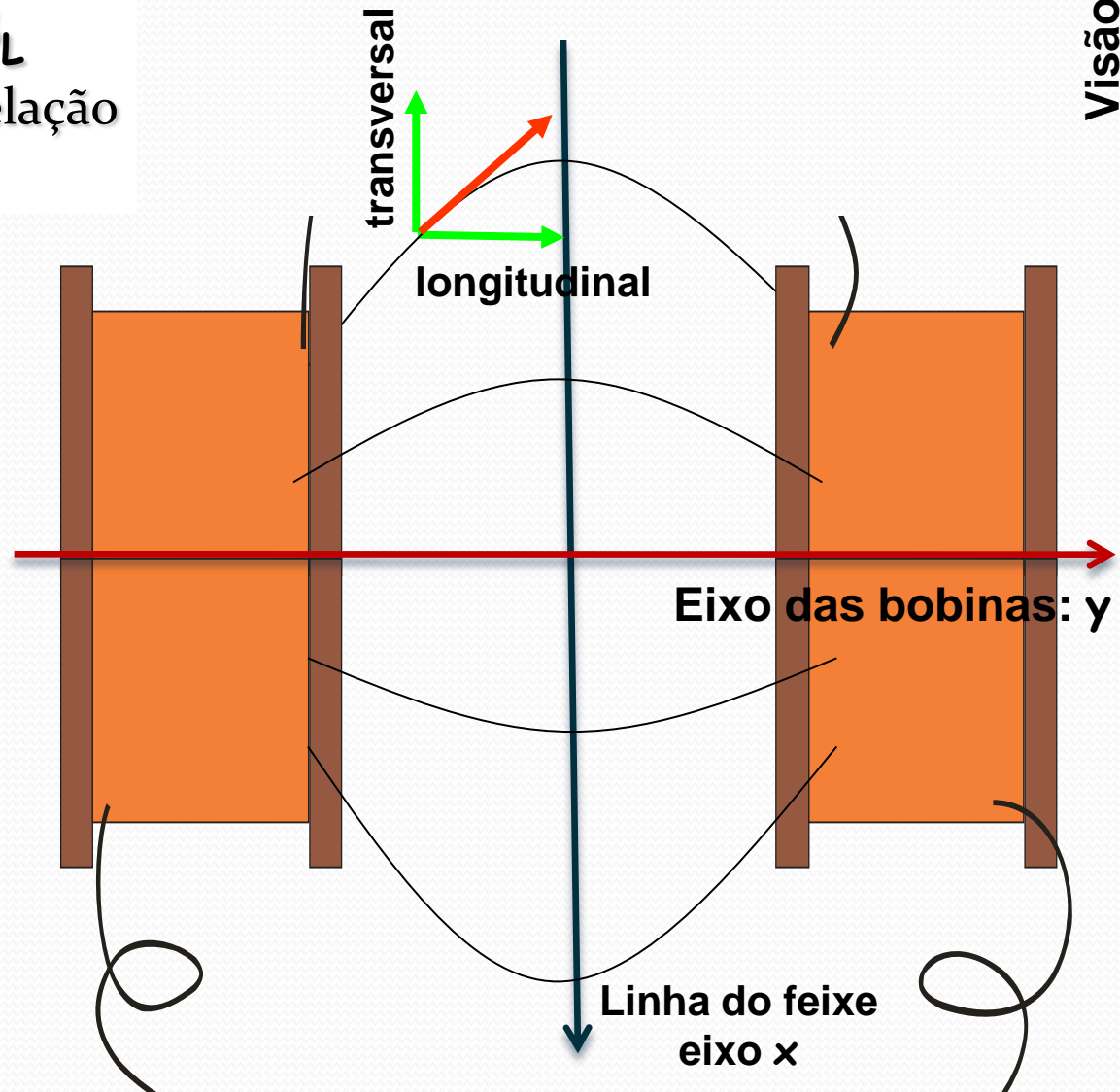
$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$



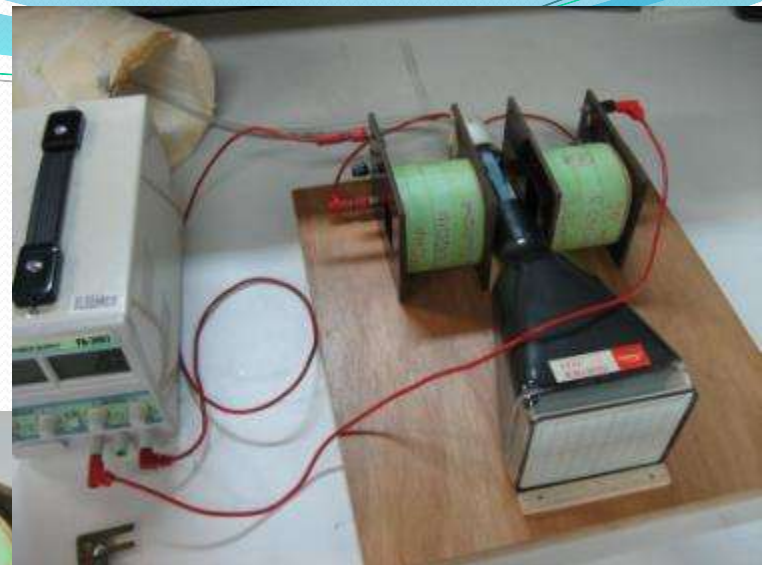
# Medida do campo das bobinas

Campo longitudinal  $\mathbf{B}_L$   
e transversal  $\mathbf{B}_T$ , em relação  
ao eixo das bobinas,  $\mathbf{y}$

- Chave no sensor Hall → olhe as flechas:
  - elas indicam o sentido da componente que está sendo medida



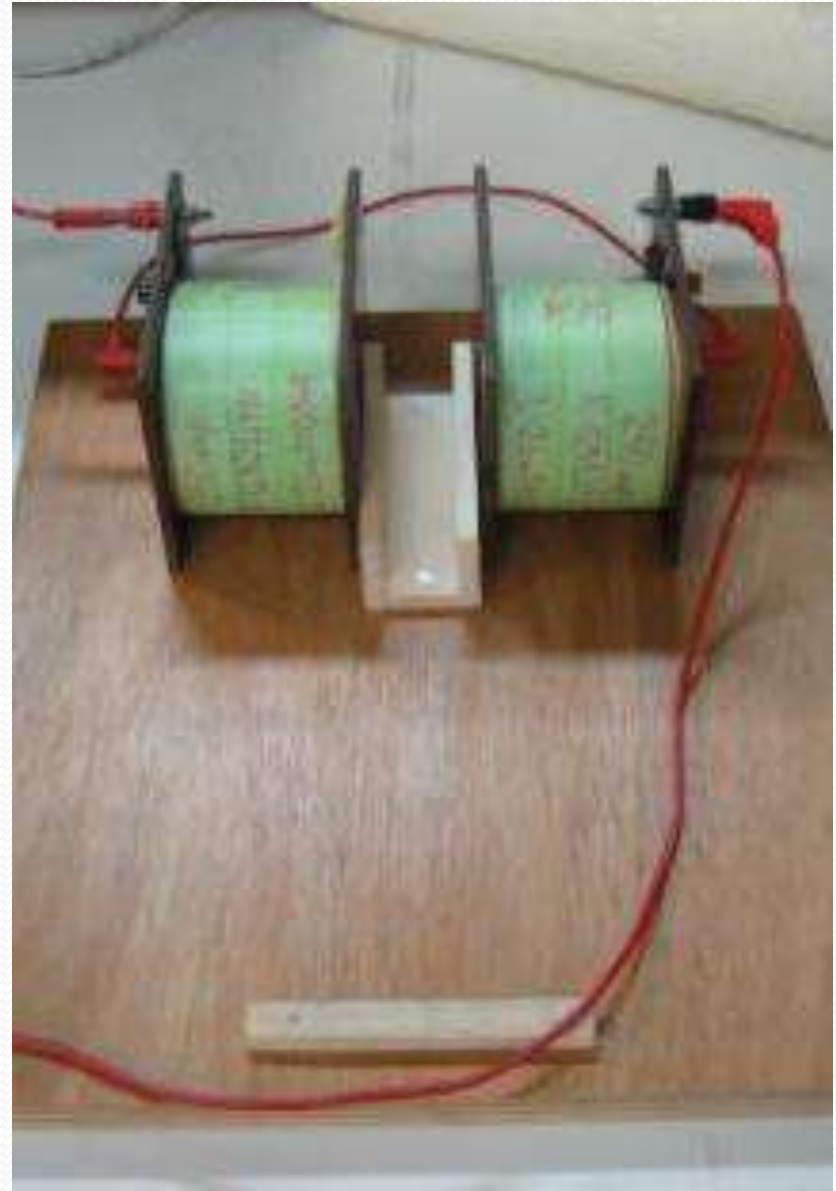
# Na prática



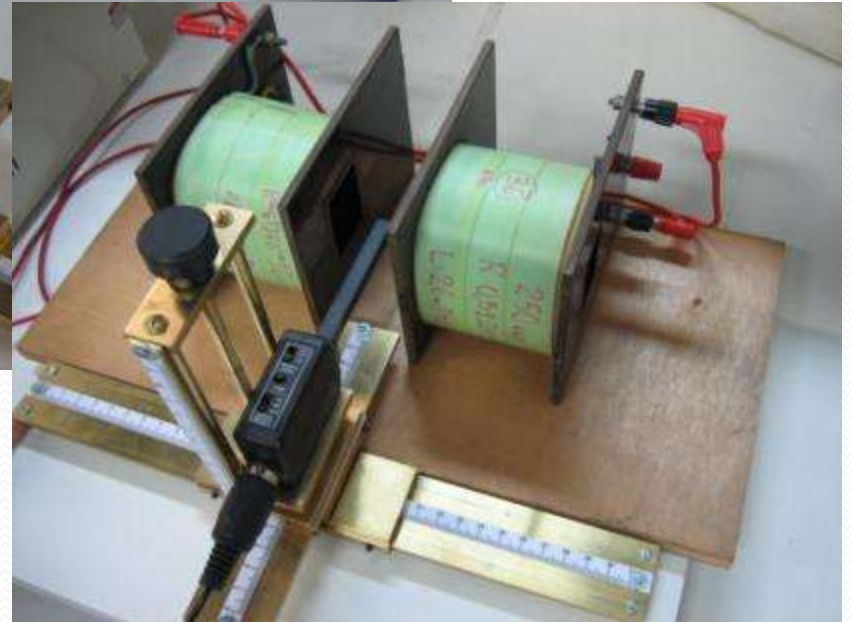
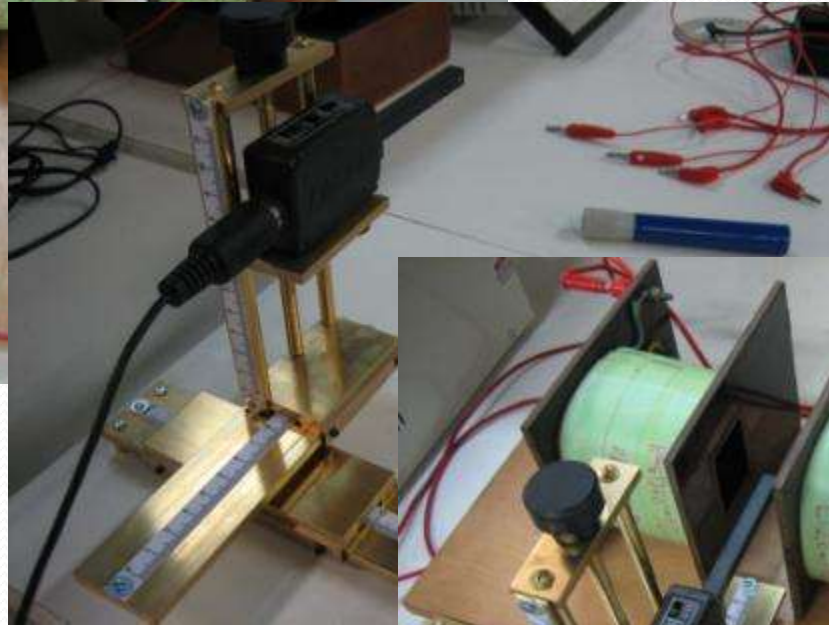
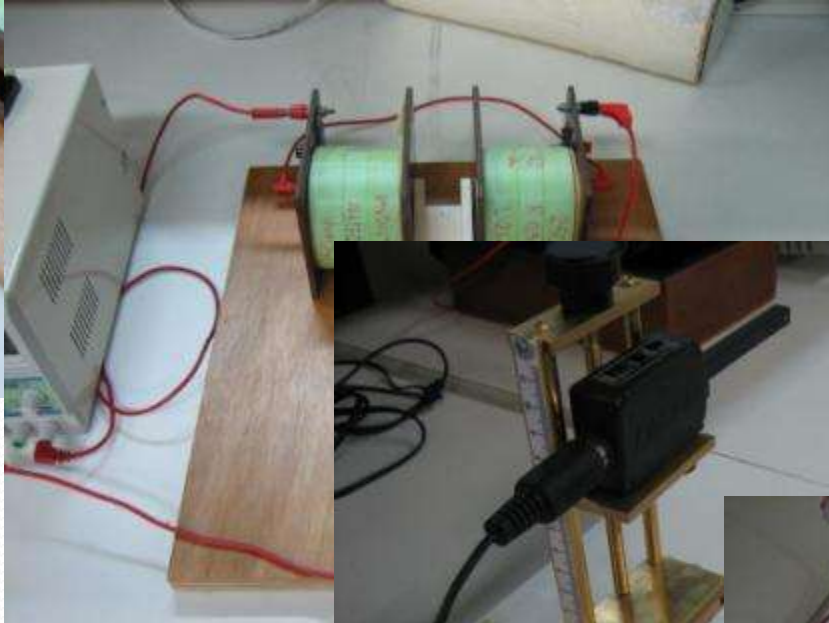
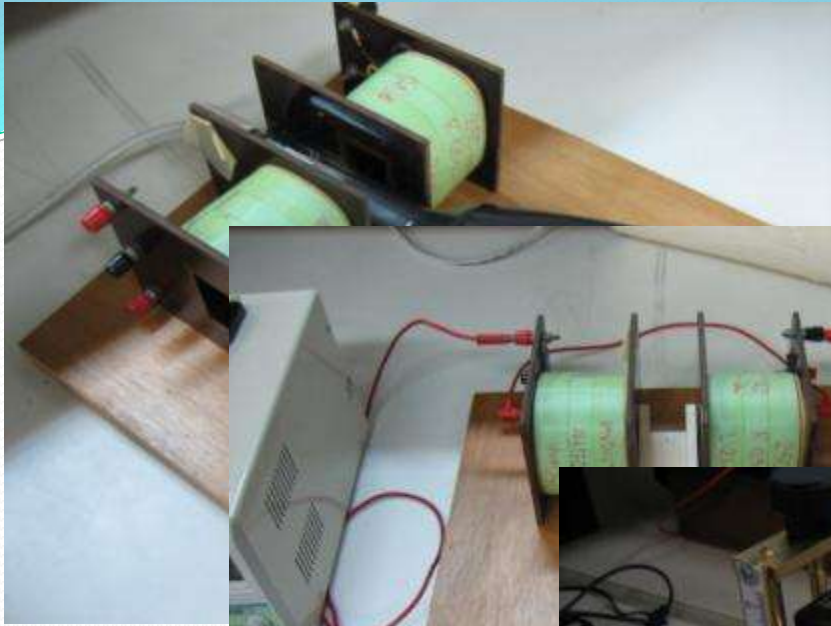


# Arranjo experimental

- Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- Anotar o número das bobinas e a distância entre elas
  - Utilizar o suporte do TRC como referência
- Fiquem atentos com as ligações. Queremos que os campos se somem
- Procedimento
  - Com as bobinas desligadas.
    - Zerar (tara) o medidor Hall
    - Aplicar corrente à bobina
      - Não exceder 2 A

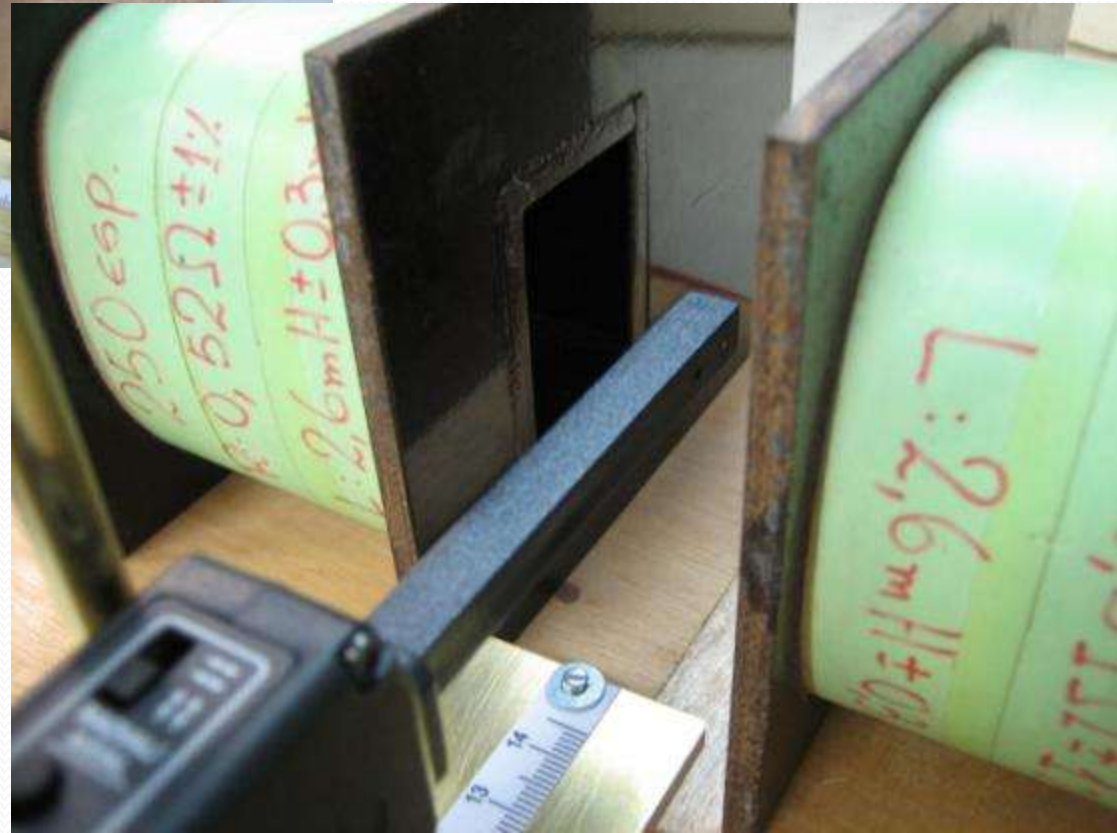
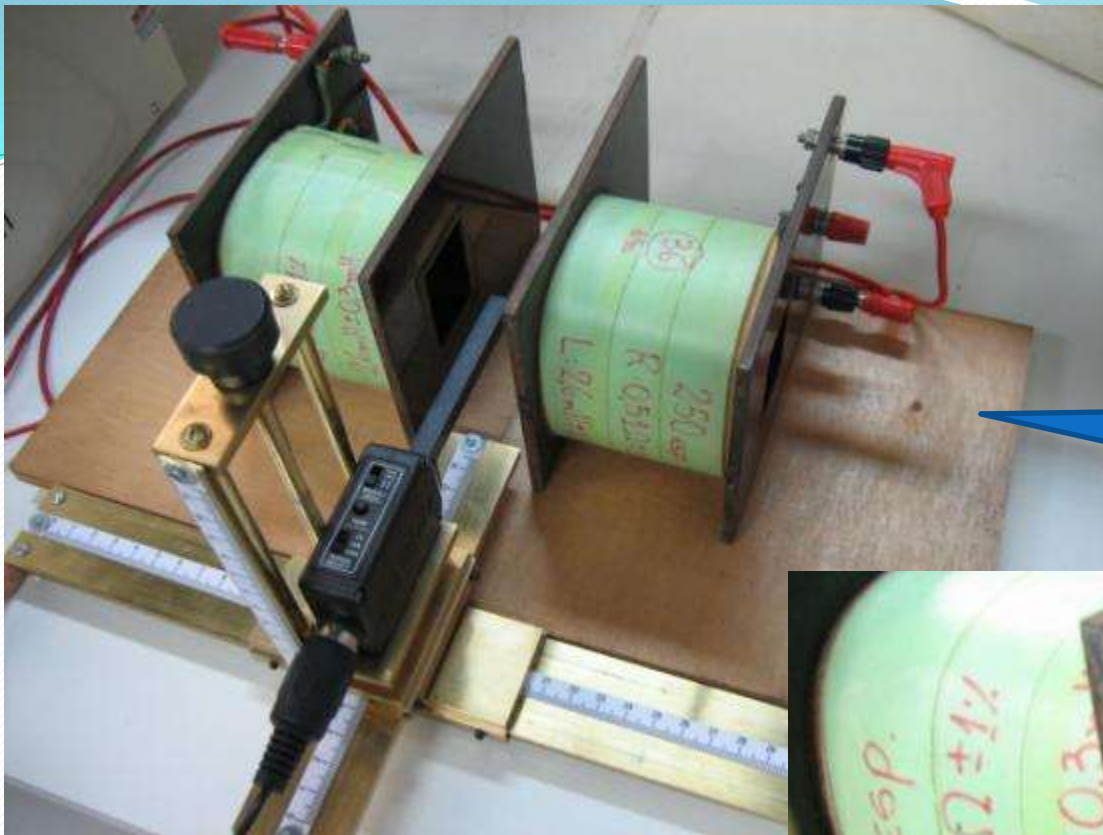


# Na prática...



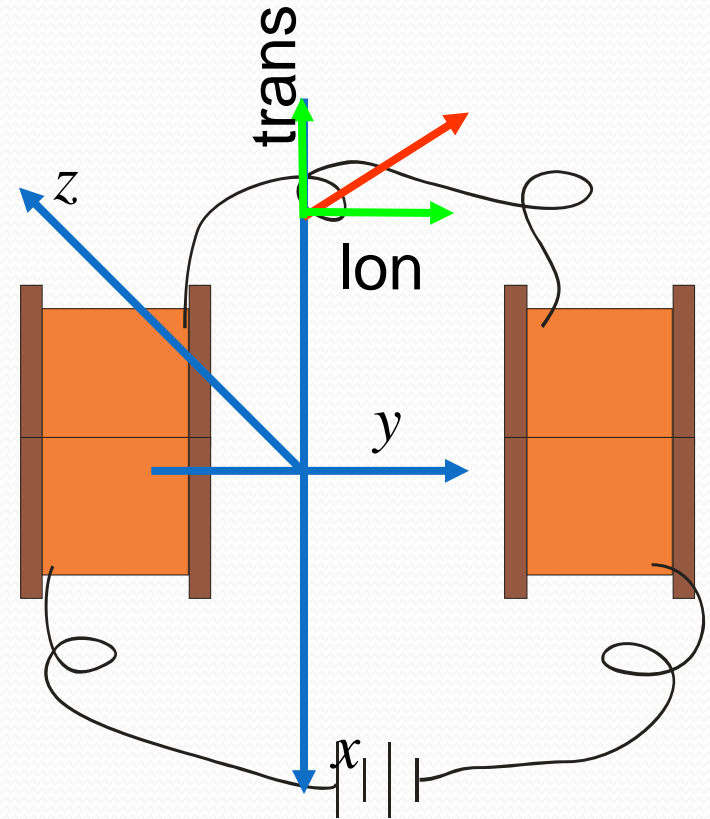
# Na prática...

Suporte de madeira  
para poder  
centralizar o medidor  
Hall



# Para entregar – Parte 2

- Fazer **1** gráfico de  $B_{lon}$  ao longo do eixo  $x$  para **3** valores de corrente nas bobinas.
- Para **1** das correntes fazer **1** gráfico de  $B_{trans}$  e  $B_{lon}$  ao longo do eixo  $x$ .
  - Argumente fisicamente porque não é preciso medir o campo transversal e nem o campo nos outros eixos
- Fazer **1** gráfico de  $B_{lon}/i$  ao longo do eixo  $x$  para as **3** correntes medidas
  - O resultado obtido é razoável? Você esperava a linearidade entre campo e corrente? Porque? Explique.



## 4. Dicas



# Uso do Data Studio – Sensor HALL

Cada “run” é uma tomada de dados

Precisa configurar a interface para o sensor HALL

Grafico, multimetro, histograma, ...

Vejam o tutorial no site!

The screenshot displays the Data Studio software interface. The main window is titled "Experiment Setup" and shows a "Science Workshop 750" interface with a "Magnetic Field Sensor" connected to the "DIGITAL CHANNELS". A yellow callout bubble points to the sensor connection, stating "Precisa configurar a interface para o sensor HALL".

The "Sensors" list on the left includes: Thermistor Sensor, Time Of Flight Acc, User Defined Sens, UVA Sensor, and Voltage Sensor. The "Signal Output" dropdown is set to "Output".

A "Please enter a value." dialog box is open, showing "Keyboard 1" and a value of "7 mm".

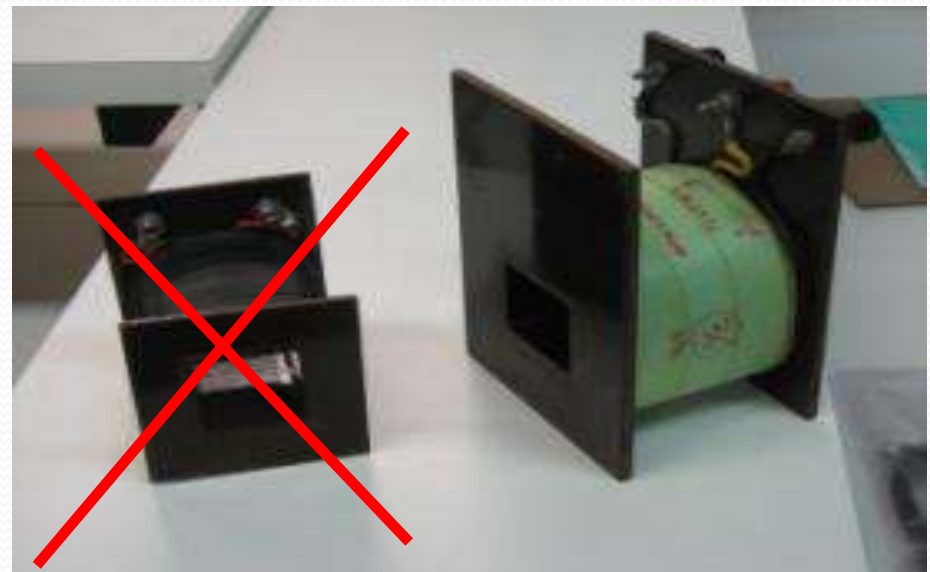
The "Graph 1" window shows a plot of "Magnetic Field Strength" with a red diamond data point at approximately (2, -4). The x-axis ranges from -2 to 3, and the y-axis ranges from -100 to 100.

The "Displays" panel on the left shows various display options: 314 Digits, 314 Digits, FFT, Graph, Graph 1, Histogram, Meter, Scope, Table, and Workbook.

The "Digits 1" window shows the current reading: "Magnetic Field Strength (10X), Ch A Run #1" and "Magnetic Field Strength (10X)" with a value of "-4 gauss".

# 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



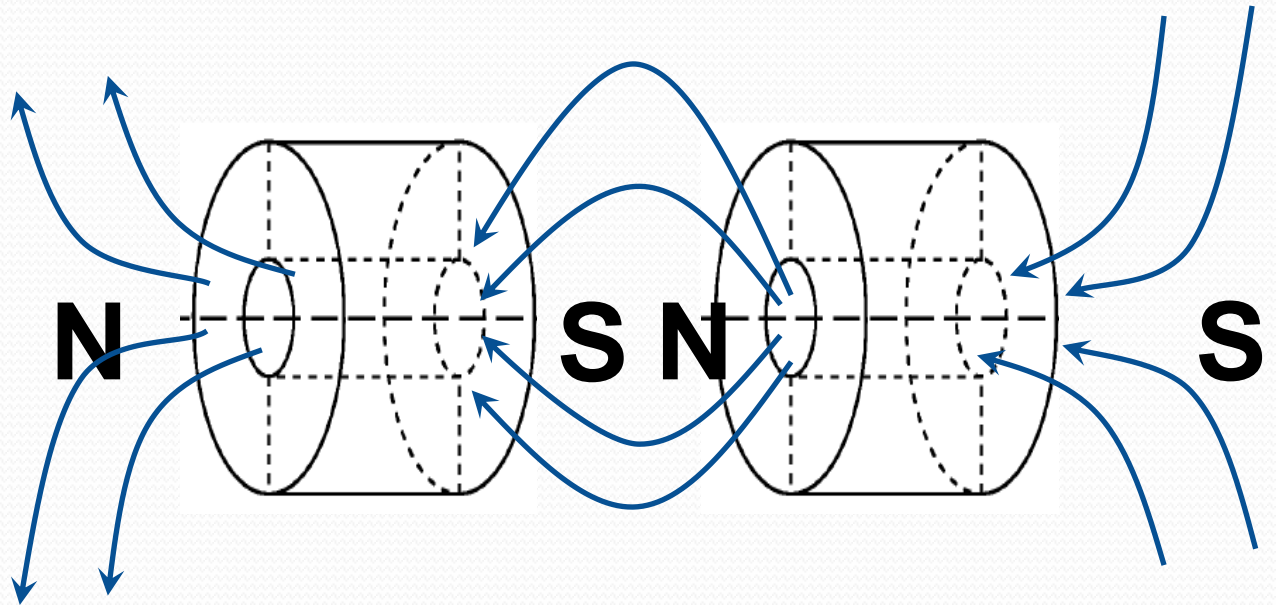
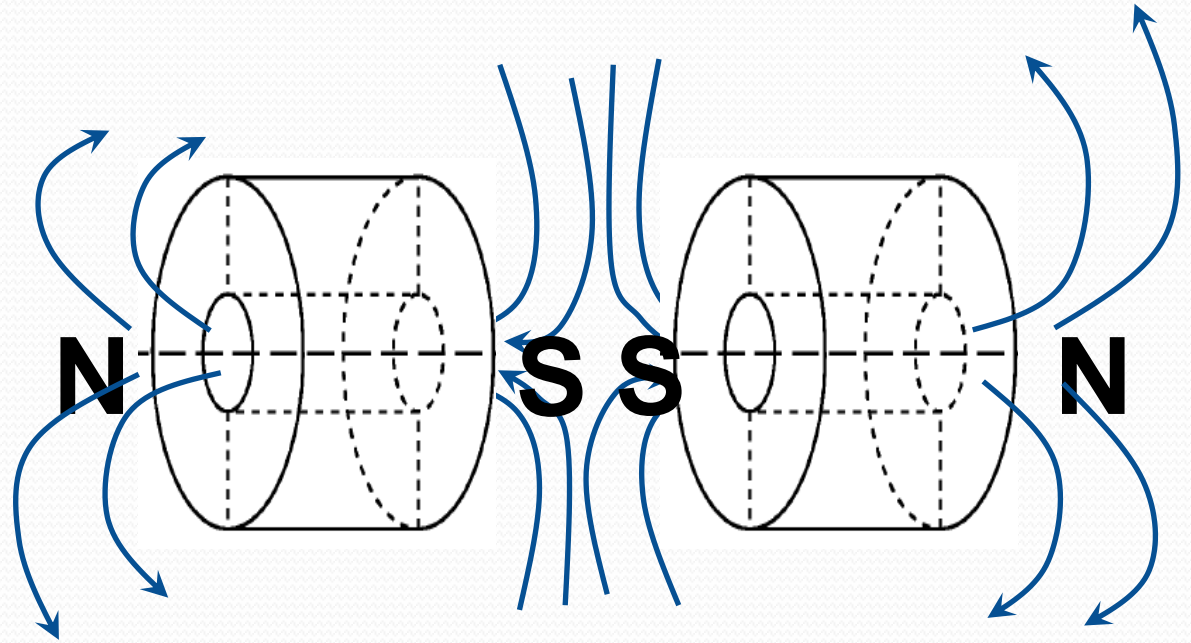
# Cuidado experimental 2

- Não confiem 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 A**
- 
- NÃO DEIXEM O RESISTOR ESQUENTAR





# Cuidado 3

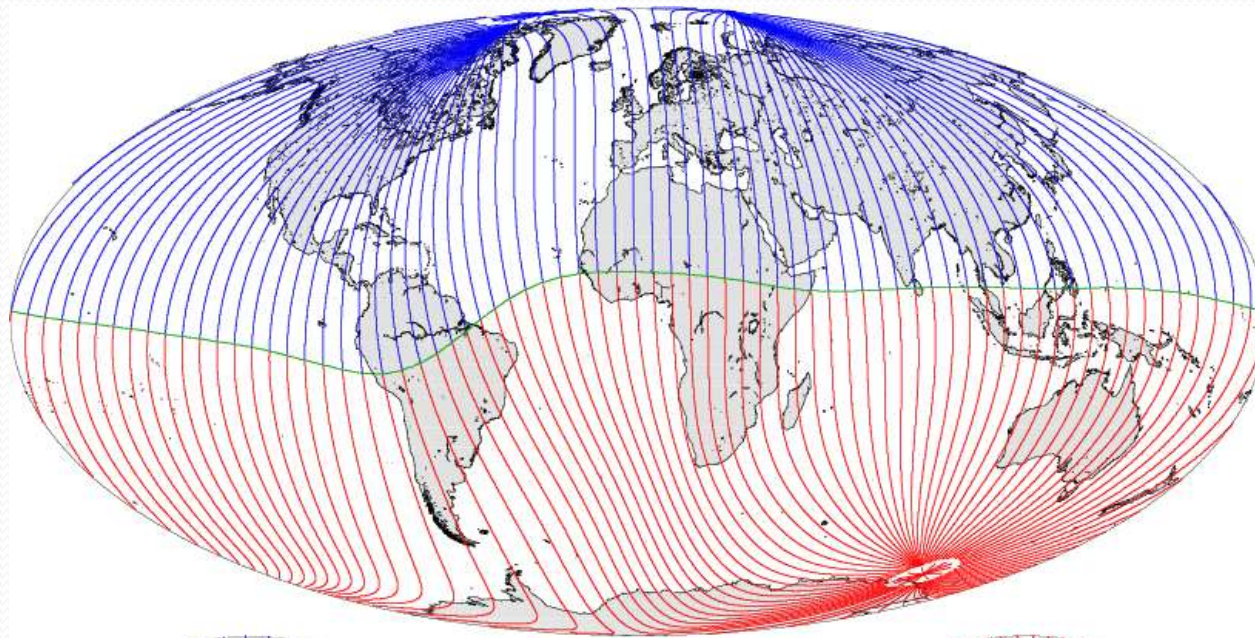


# Medida do campo das bobinas

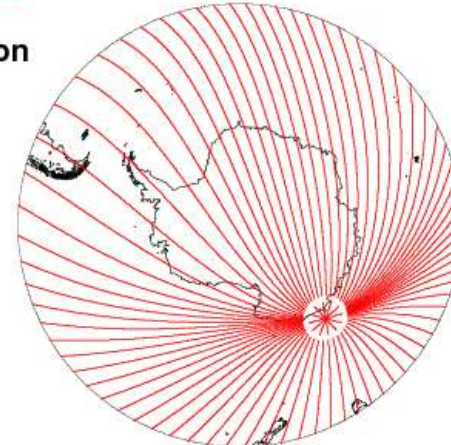
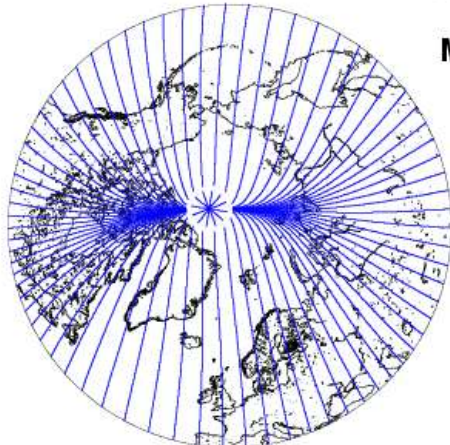
- Selecione o sensor a ser utilizado
- Calibre o sensor
  - Ambiente com campo = 0
  - Como?
    - Câmara de referência
    - Região com campo nulo
- Posicione o sensor na região a ser medida e use o DataStudio



# Bom trabalho!



**Magnetic Field Direction  
2010**



<http://geomag.org>, 2008