

Seletor de Velocidades

<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

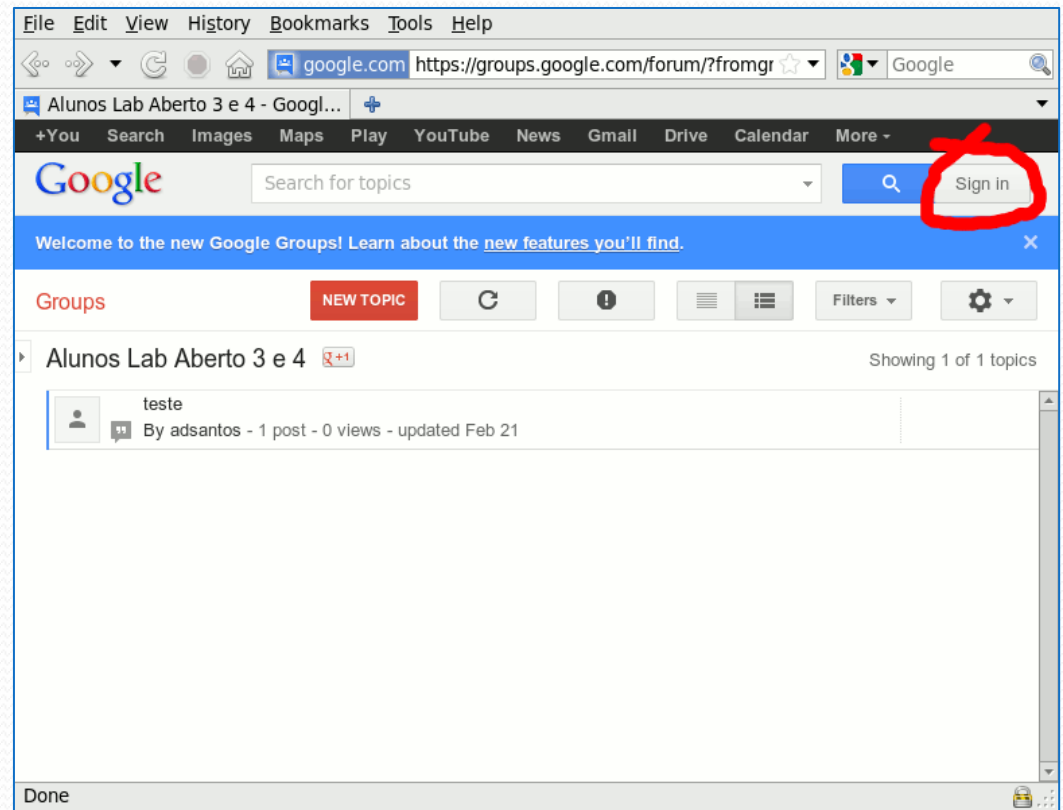
Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

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

Física Exp. 3
Aula 2, Experiência 2
Simulação campo Elétrico

Lembrete 1:

- Se inscrevam no grupo de discussão do LabAberto:
 - Através do site ou diretamente no google-groups
- E também no grupo do seu professor!



<http://lababerto.if.usp.br/index.php/Main/ListasDeDiscussao>

<https://groups.google.com/forum/?hl=en#!forum/alunos-lababerto34>

Lembrete 2:

- <http://sampa.if.usp.br/webroot/index.php>

The screenshot shows a web browser window displaying the webROOT interface. The browser's address bar shows the URL sampa.if.usp.br/webroot/index.php. The page title is "webROOT - GRIPER (Grupo de Íons Pesados Relativísticos) do Instituto de Física - USP/SP".

On the left side, there is a welcome message: "Bem-vindo Henrique de Melo Jorge Barbosa". Below this, it shows the last connection date and time: "Última conexão em 17/4/2012 - 8:51:58" and the registration date: "Cadastrado desde 16/4/2012 - 15:33:39".

In the center, there is a section titled "Selecione uma opção abaixo" (Select an option below). It lists several options:

- Minhas aplicações
- Criar um(a) novo(a) ...
 - Gráfico - Gráfico simples (um conjunto de dados) com ajuste de função
 - Combinado de gráficos - Combinar gráficos simples em uma única figura
 - Histograma 1D - Histograma em uma dimensão (x) com ajuste de função
 - Função $f(x)$ - Função de uma variável $f(x)$ com opção de integral e derivada
- Alterar senha
- Minhas preferências
- Ajuda
- Sair

On the right side, there is a section titled "Suas aplicações salvas" (Your saved applications). It displays a graph titled "Gráficos simples" (Simple graphs) with a linear fit. The graph shows a set of data points and a blue line representing the fit. The x-axis is labeled "x" and the y-axis is labeled "y".

Below the graph, there is a table of saved applications:

Nome	Salvo em	0 compartilhamento(s)
nome teste	17/04/2012 - 08:54:34	

Below the table, there is a section titled "Operações:" (Operations) with icons for creating, saving, deleting, and sharing applications.

At the bottom of the page, there is a footer that reads: "criado pelo Grupo de Íons Pesados Relativísticos (GRIPER) da IFUSP (2011)".

Lembrete 3:

- Cada monitor está com um professor específico.
- **Ele vai ajudar vocês a escolherem os projetos, e discutir a realização:**

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Henrique Barbosa | 1. Diego Gouveia - diegoalvesgouveia88@gmail.com |
| 2. Antônio Domingues | 2. Marco Antônio - marco.couto88@gmail.com |
| 3. Leandro Barbosa | 3. Rebeca Bayeh - beckynha.bayeh@gmail.com |
| 4. Eloisa Szanto | 4. Karin Seeder - ka_seeder@hotmail.com |
| 5. Nelson Carlin | 5. Jose La Rosa - jlarosan@if.usp.br |
| 6. Paulo Artaxo | 6. Luís Barbuto - luisbarbuto@hotmail.com |

Formem as equipes para a eletiva e avisem ao seu professor/monitor!

Lembrete 4:

Pergunta da semana

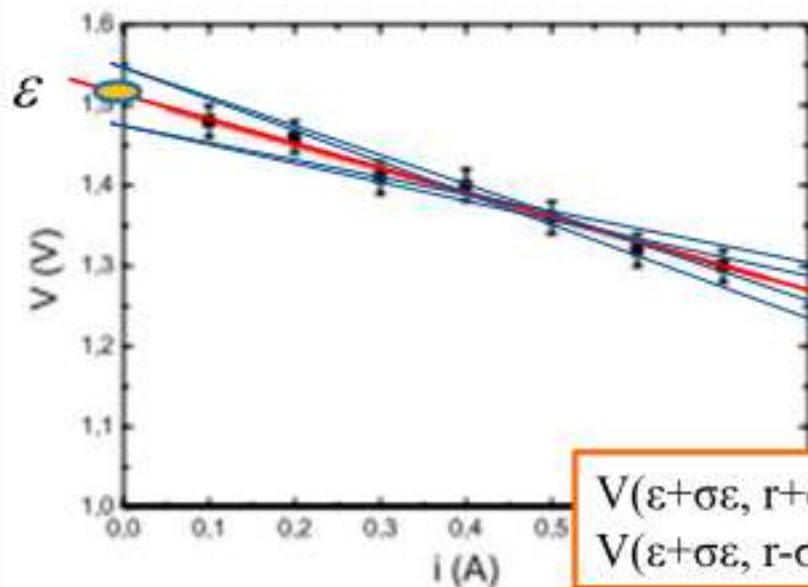
- Entreguem agora a pergunta da semana, e lembrem-se de anotar o nome do seu professor e do seu grupo!!

Consistência da análise

DISCUSSÃO

- $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$ e $r \pm \Delta r$
- Mas qual o erro em $I_{\max}$?
 - Podemos propagar os erros?
 - **NÃO! Pois ε e r não são independentes!!**

$$V = \varepsilon - r i$$



After 5 iterations the fit converged.
 final sum of squares of residuals : 1.24456e-006
 rel. change during last iteration : -5.58296e-015

degrees of freedom (FIT_NDF) : 28
 rms of residuals (FIT_STDFIT) : 2.10828e-005
 reduced chisquare) = WSSR/ndf : 4.44485e-010

Final set of parameters	Asymptotic Standard Error		
a	= -0.000277589	+/- 3.313e-006	(1.194%)
b	= 0.00340543	+/- 1.072e-005	(0.3148%)

correlation matrix of the fit parameters:

	a	b
a	1.000	-0.933
b	-0.933	1.000

Podemos calcular: $I_{\max} = \varepsilon/r$... Não podemos calcular $\Delta I_{\max}$ pela propagação!

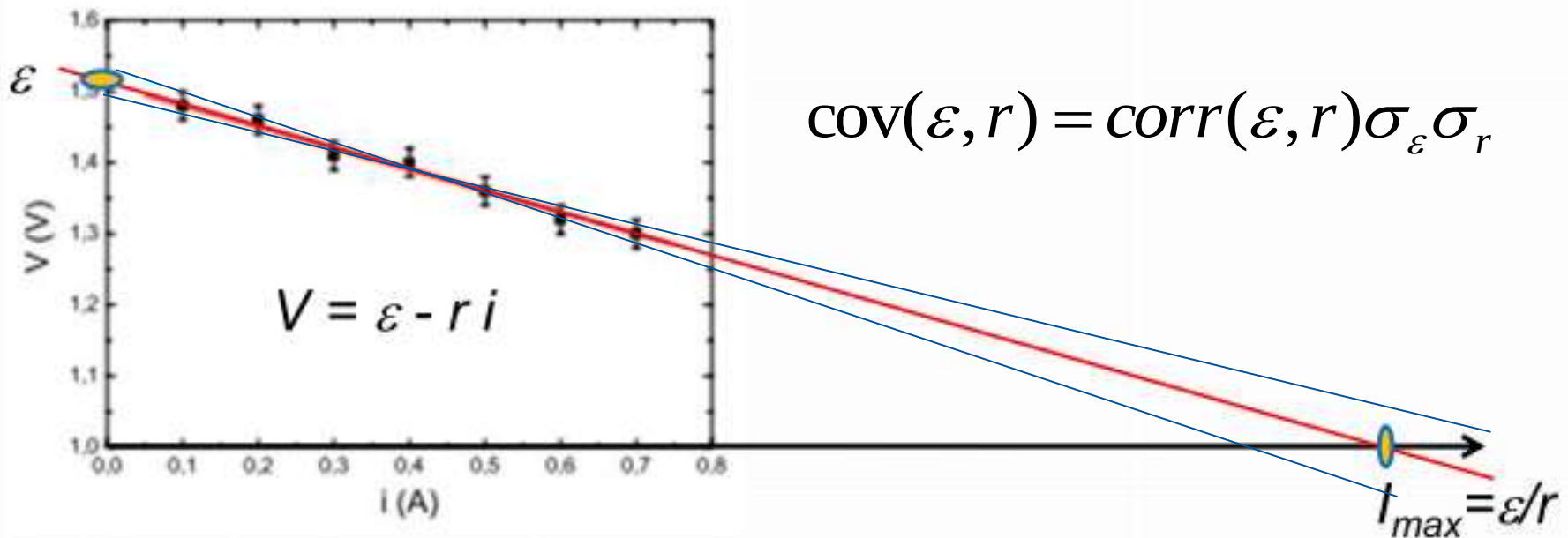
$V(\varepsilon + \sigma\varepsilon, r + \sigma r)$; $V(\varepsilon - \sigma\varepsilon, r - \sigma r)$;
 $V(\varepsilon + \sigma\varepsilon, r - \sigma r)$ e $V(\varepsilon - \sigma\varepsilon, r + \sigma r)$

$$I_{\max} = \varepsilon/r$$

Consistência da análise

- Neste caso, precisaríamos levar em conta esta covariância: $i_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$

$$\left(\frac{\sigma_{i_{\max}}}{i_{\max}} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r} \right)^2 - 2 \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} \frac{\sigma_r}{r} \text{corr}(\varepsilon, r)$$



Propagação de incertezas

- Vocês já aprenderam em lab 1 e 2:
 - <http://sampa.if.usp.br/~suaide/blog/?e=243>
- Seja f uma função não linear de n variáveis x_1 a x_n

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

- Você mediu valores $x_{1...n}$ com incertezas $\sigma_{1...n}$ e quer saber qual o valor da incerteza em f

$$x_1 \pm \sigma_{x_1}$$

$$\vdots$$

$$x_n \pm \sigma_{x_n}$$



$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\sigma_y = ?$$

Propagação de incertezas

- Com uma expansão de primeira ordem (linear) em torno de $X=(x_1,...,x_n)$ podemos calcular o valor da função em um ponto $X'=(x_1',...,x_n')$

$$y(X') \approx f(X) + \frac{\partial f(X)}{\partial x_1} (x_1' - x_1) + \dots + \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} (x_n' - x_n)$$

- Podemos calcular para m pontos X' distribuídos aleatoriamente em torno de X , usando $\Sigma=(\sigma_1, ..., \sigma_n)$
- E calculamos a média:

$$\overline{y(X')} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y(X^j) = f(X)$$

Propagação de incertezas

- Podemos também calcular a variância desta amostra de m valores aleatórios:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m [y(X^j) - \bar{y}]^2$$

- Que pela fórmula anterior, vale:

$$\sigma_y^2 \approx \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(X)}{\partial x_i} (x_i^j - x_i) \right]^2$$

Covariância x Variância

- Abrindo o termo quadrático:

$$\begin{aligned}\sigma_y^2 &\approx \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} (x_i^j - x_i) \right) \left(\sum_{k=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_k} (x_k^j - x_k) \right) \right] \\&= \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_k} \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m [(x_i^j - x_i)(x_k^j - x_k)] \\&= \sum_{i=k} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \boxed{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_i^j - x_i)^2 = \text{var}(x_i)} \\&\quad + \sum_{i \neq k} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_k} \boxed{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_i^j - x_i)(x_k^j - x_k) = \text{cov}(x_i, x_k)}\end{aligned}$$

Covariância x Variância

- Os termos cruzados se repetem, assim:

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=k} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{\substack{i \neq k \\ i < k}} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_k} \text{cov}(x_i, x_k)$$

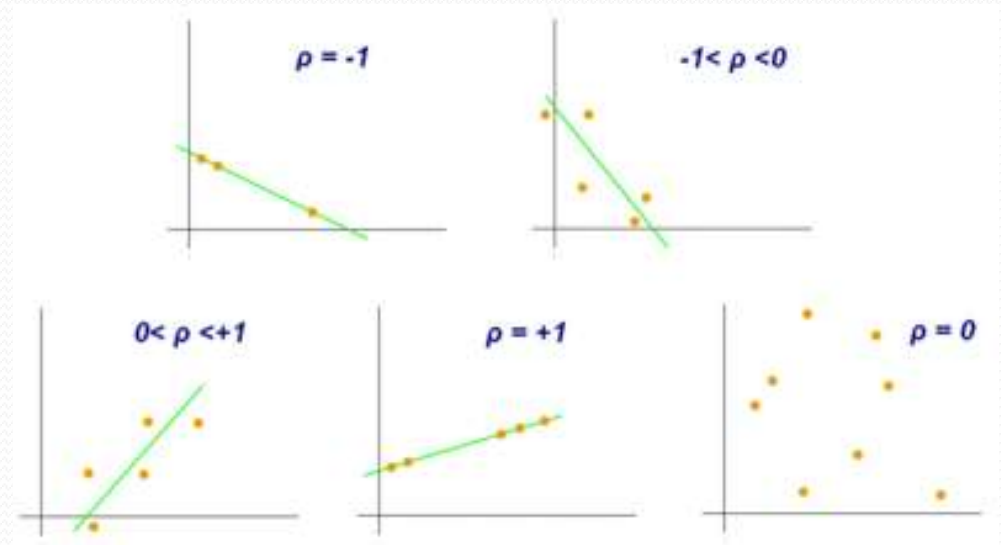
- A covariância tem unidades de $[x_i]/[x_k]$, assim é usual normaliza-la pelos desvios padrões

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=k} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{\substack{i \neq k \\ i < k}} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_k} \sigma_{x_i} \sigma_{x_k} \text{corr}(x_i, x_k)$$

Correlação

- O coeficiente de correlação de Pearson tem a vantagem de variar entre -1 e 1 , e indica se duas variáveis são dependentes ou não:

$$\begin{aligned} \text{corr}(x_i, x_k) &= \frac{\text{COV}(x_i, x_k)}{\sigma_{x_i} \sigma_{x_k}} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^m (x_i^j - \bar{x}_i)(x_k^j - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_i^j - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^M (x_k^j - \bar{x}_k)^2}} \end{aligned}$$



Caso da C.C. da pilha, $V = \varepsilon - r \cdot i$

- Para $i_{\max} = \frac{\varepsilon}{r} \Rightarrow \frac{\partial i_{\max}}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{r}$, e $\frac{\partial i_{\max}}{\partial r} = -\frac{\varepsilon}{r^2}$

- Portanto:

$$\left(\sigma_{i_{\max}}\right)^2 = \left(\frac{1}{r} \sigma_{\varepsilon}\right)^2 + \left(-\frac{\varepsilon}{r^2} \sigma_r\right)^2 + 2 \frac{1}{r} \left(-\frac{\varepsilon}{r^2}\right) \text{cov}(\varepsilon, r)$$

- Dividindo por $(\varepsilon/r)^2$

$$\left(\frac{\sigma_{i_{\max}}}{i_{\max}}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2 - 2 \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} \frac{\sigma_r}{r} \text{corr}(\varepsilon, r)$$

Caso da C.C. da pilha

- Exemplo prático:

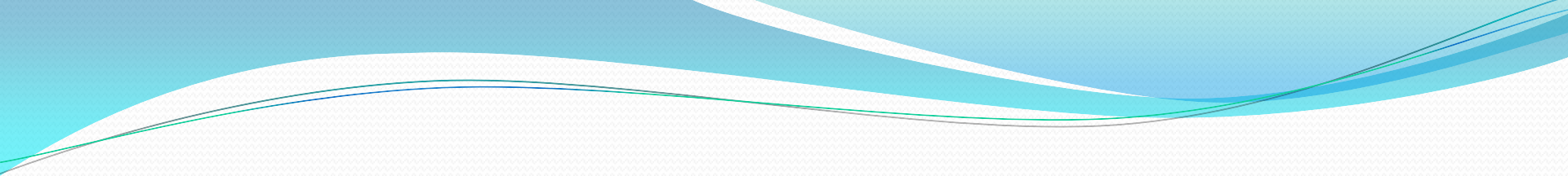
- $\varepsilon = 1.2 \pm 3\% \text{ V}$
- $r = 0.6 \pm 9\% \Omega$
- $\text{corr}(\varepsilon, r) = 0.915$

$$i_{\max} = \frac{1.2\text{V}}{0.6\Omega} = 2\text{A}$$

- Sem correlação: $\frac{\sigma_{i_{\max}}}{i_{\max}} = \sqrt{0.03^2 + 0.09^2} = 9.5\%$

- Com correlação:

$$\frac{\sigma_{i_{\max}}}{i_{\max}} = \sqrt{.03^2 + .09^2 - 2 \cdot 0.03 \cdot 0.09 \cdot 0.91} = 6.4\%$$



Mostrar planilha com Monte Carlo

Exp. 2 – Seletor de Velocidade

DISCUSSÃO

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Movimento em campo elétrico
- Semana 2
 - Simular o campo elétrico
- Semana 3
 - Movimento em campo magnético
- Semana 4
 - Mapear campo magnético
- Semana 5
 - Espectrômetro de massa parte 1
- Semana 6
 - Espectrômetro de massa parte 2

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
 - Procure fazer com que o feixe esteja focalizado e pelo menos sobre o eixo horizontal
- Nesta condição, aplique **$V_{ac}=700V$** , e defina a origem neste ponto e deixe o TRC fixo nesta posição da bancada (fotografe a tela do TRC)

Foto da Tela

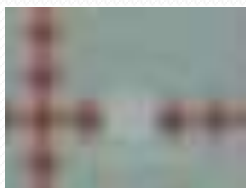
Desvio muito grande! Não sei se todos os grupos usaram o mesmo Uac



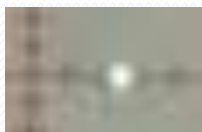
4



4



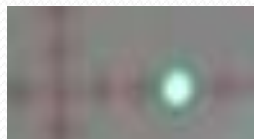
4



5



2



6



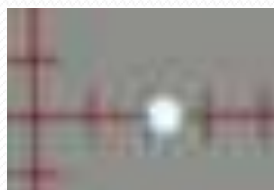
5.5



5.5



6



4.5

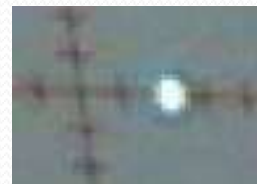
Média da turma:
4.7 (11) mm



5.5

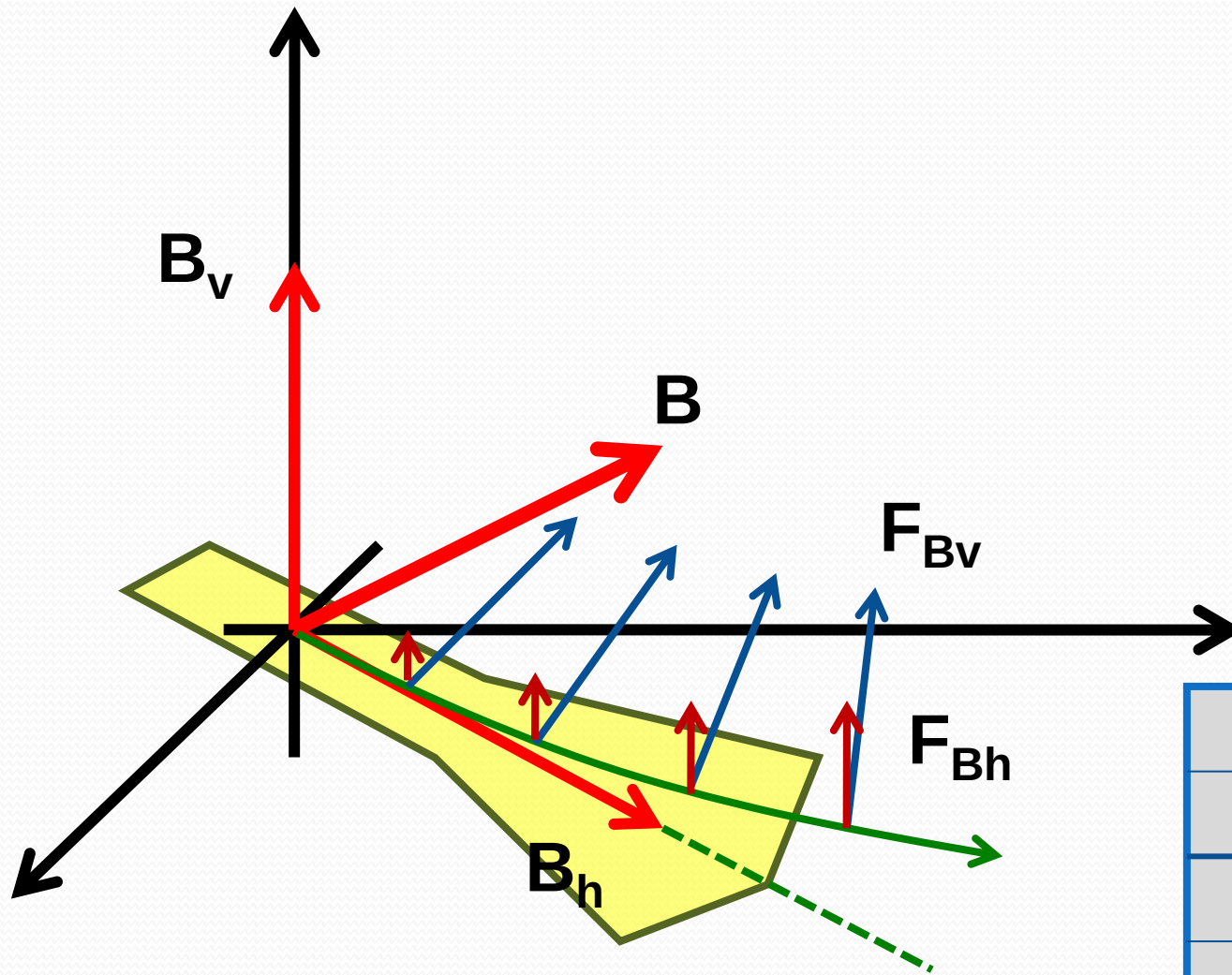


5

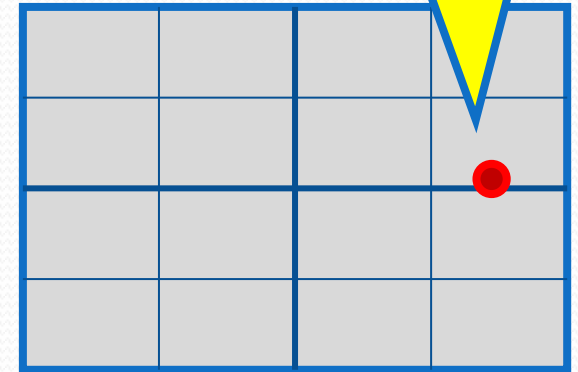


4

Campo magnético da Terra



Quase todo o deslocamento na horizontal



Campo magnético da Terra

- Velocidade da partícula

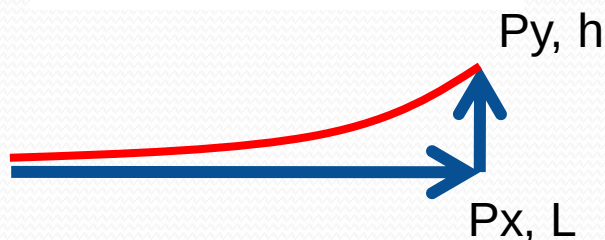
$$eU_{ac} = \frac{1}{2} m_e v^2 \quad v(700V) = \sqrt{\frac{2eU_{ac}}{m_e}} = 5.23\% \text{ luz}$$

- Impulso da força magnética aprox. constante:

$$P_y = |\vec{F}_B| \Delta t = evB_v \Delta t = eB_v L$$

- A direção é dada pelos momentos:

$$\frac{P_y}{h} \approx \frac{P_x}{L} = \frac{m_e v}{L}$$



4.7 (11) mm

A intensidade total é 0.3 gauss

$$B_{vertical} \approx \frac{h m_e v}{L^2 e} = 0.052(12) \text{ gauss}$$

Google Calculator

Compose Mail - hmjbarbo x sqrt(electron mass/electron x (27) Facebook x Earth's magnetic field - Wil x

← → ↻ 🏠 [https://www.google.com.br/#hl=en&sclient=psy-ab&q=sqrt\(electron+mass%2Felectron+charge](https://www.google.com.br/#hl=en&sclient=psy-ab&q=sqrt(electron+mass%2Felectron+charge)

Box.net ADrive ADVFn Email hbarbosa 10 Calendar Maps Cambridge Lidar dbarbosa.me

+Henrique Search Images Maps Play YouTube Gmail Drive Calendar Orkut More ▾

Google sqrt(electron mass/electron charge * 700V * 2) / (28.5 cm)^2 * 4.7 mm / gauss

Search About 60,900 results (0.42 seconds)

Web

Images

Maps

Videos

News

Shopping

More

Sao Paulo - São Paulo
Change location

Show search tools

electron mass / elementary charge) * (700 V) * 2) / ((28.5 cm)^2)) * (4.7 (mm / gauss)) =

0.05162516308

Rad		x!	(	)	%	AC
sin ⁻¹	sin	√	7	8	9	÷
cos ⁻¹	cos	ln	4	5	6	×
tan ⁻¹	tan	log	1	2	3	-
π	e	x ^y	0	.	=	+

[Principles of Physics \(a Calculus-Based Text - 4th Edition - Scribd](#)
www.scribd.com/.../Principles-of-Physics-a-Calculus-Based-Te...

Electron volt Elementary **charge** Gas constant Gravitational constant If m 1 m 2, the acceleration is negative and the **masses** move in the opposite direction. of **Charged** Particles in a Uniform Electric Field 618 Electric Flux 621 **Gauss's Law** of 4.00 cm and the fly as a cylinder 4.00 mm long and 2.00 mm in diameter.

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.

Muito simples, nem vou comentar

Parte 3, deslocamento x V_p

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

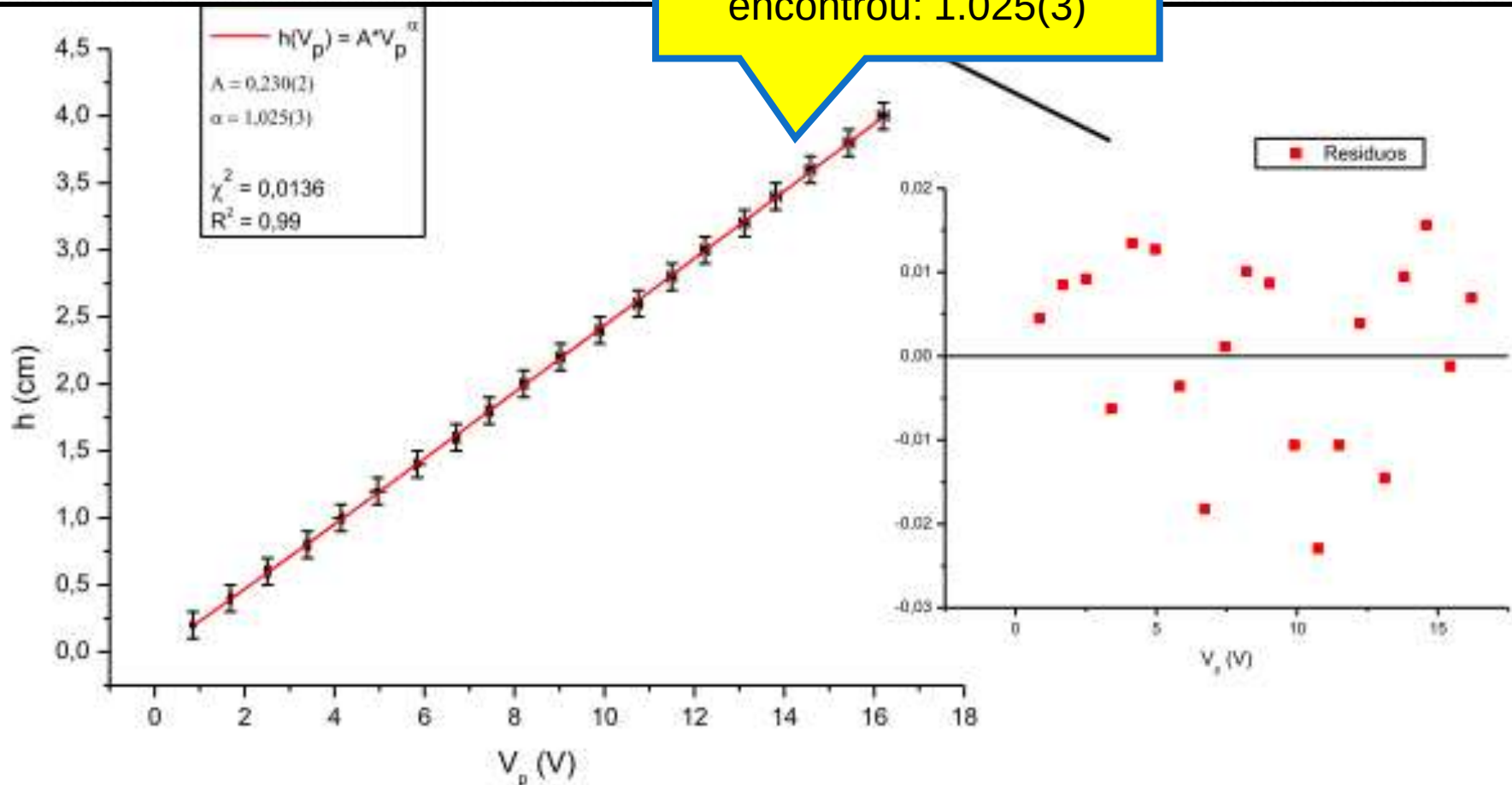
$$h = AV_p^\alpha$$

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

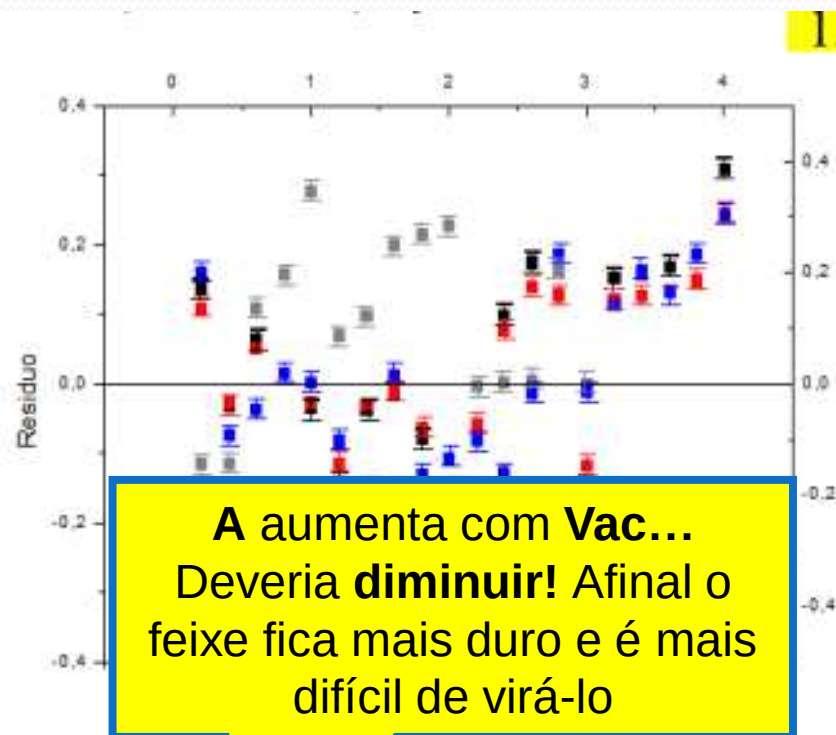
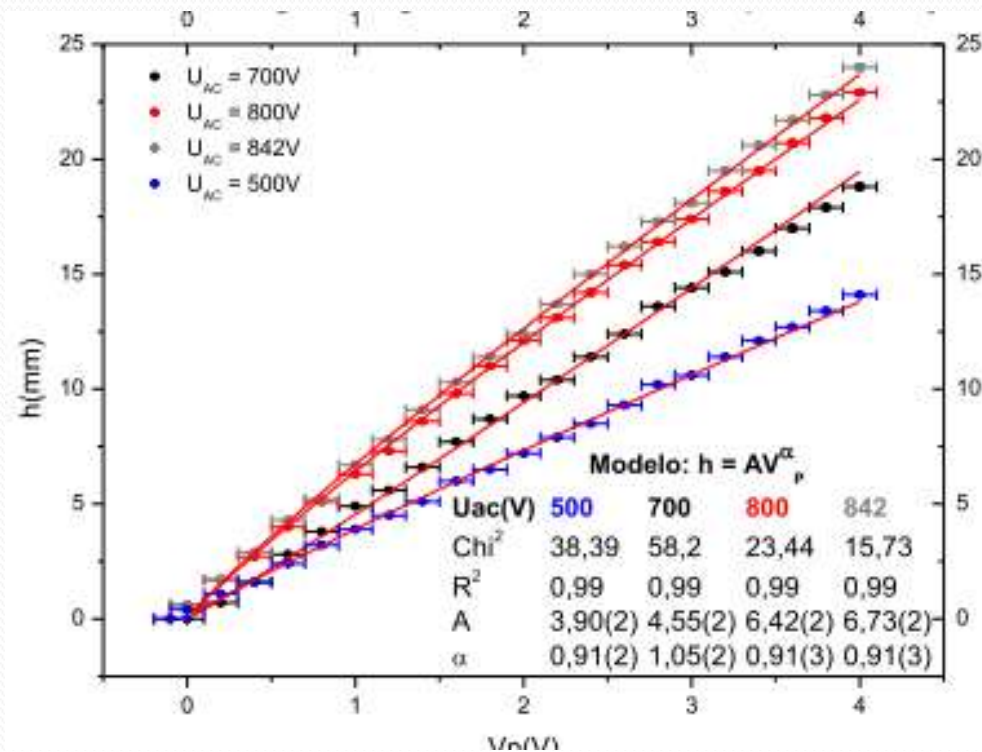
Deslocamento pelo campo elétrico

$$h = AV_p^\alpha$$

Parece uma linha reta! E,
ajustando com α livre,
encontrou: 1.025(3)



E se medir vários U_{ac}



	500 V	700 V	800 V	842 V
A (mm)	3.90 (2)	4.55 (2)	6.42 (2)	6.73 (2)
α ()	0.91 (2)	1.05 (2)	0.91 (3)	0.91 (30)

α permanece constante

Dependência com Vp

α	α
0.997 (6)	1.025 (3)
1.05 (2)	1.018 (4)
1.015 (4)	1.009 (7)
1.034 (4)	1.030 (6)
1.019 (5)	1.031 (8)
0.986 (9)	0.85 (7)
1.01 (6)	0.791 (6)
1.022 (3)	
1.000 (7)	

Todos os valores em torno de +1.0

Parte 4, deslocamento x Vac

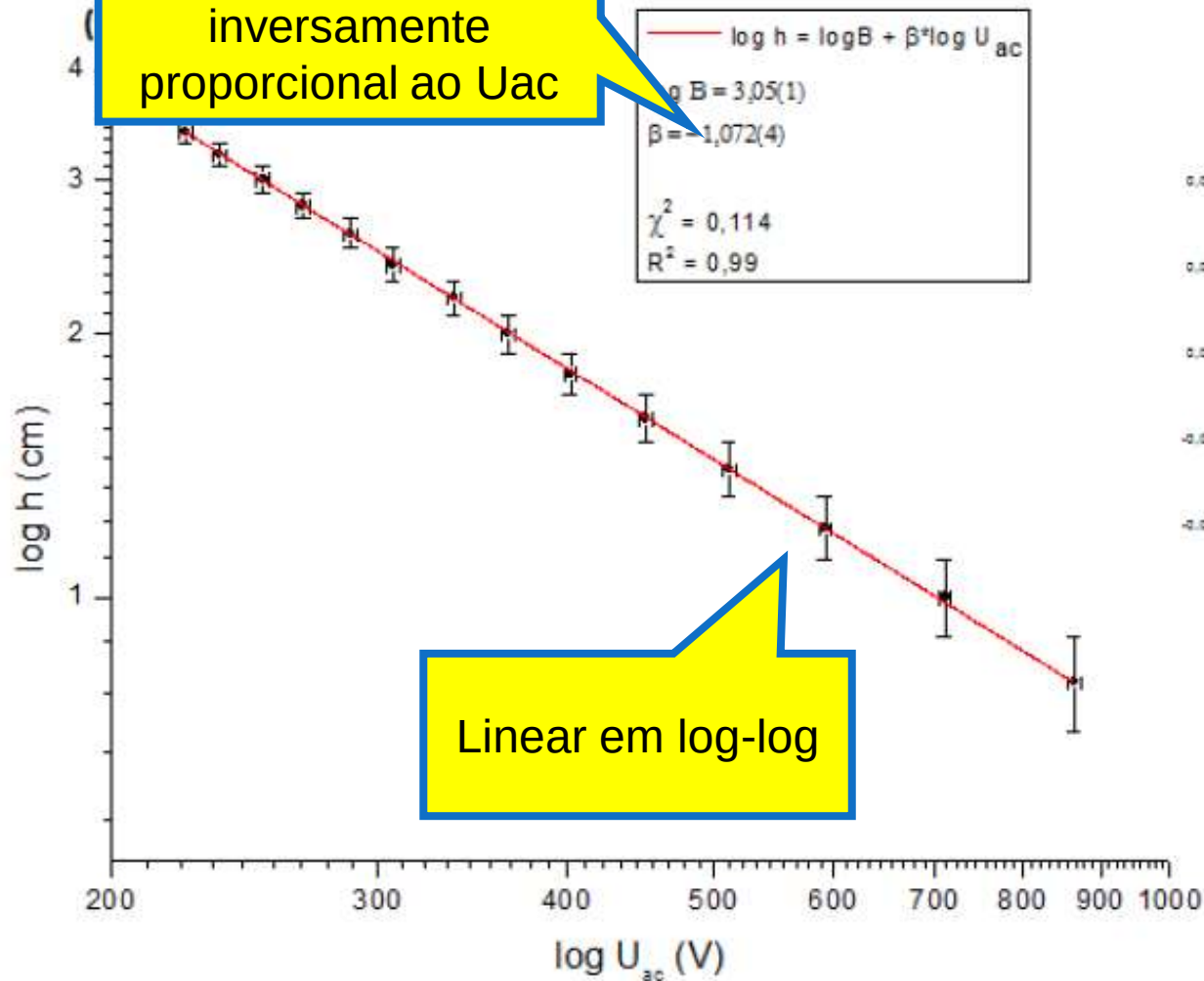
- Medir h em função de U_{ac} para V_p fixo.
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

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

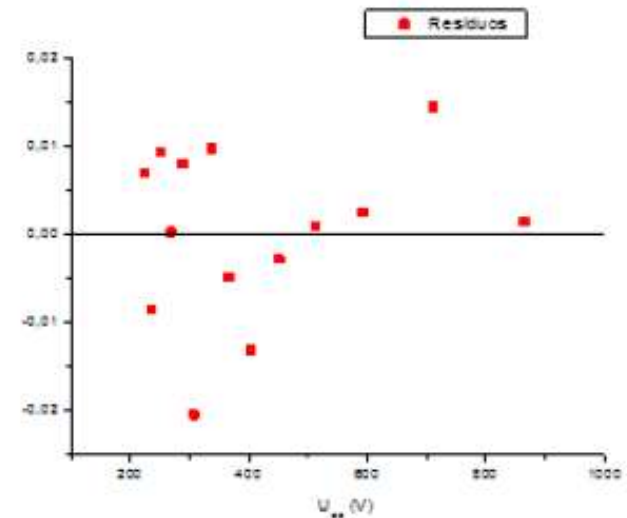
- Fazer um gráfico de h em função de U_{ac} para V_p fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
 - Se for obtenha o expoente beta. Compare com os valores obtidos por seus colegas
 - **Importante:** a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível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

Deslocamento pelo Uac

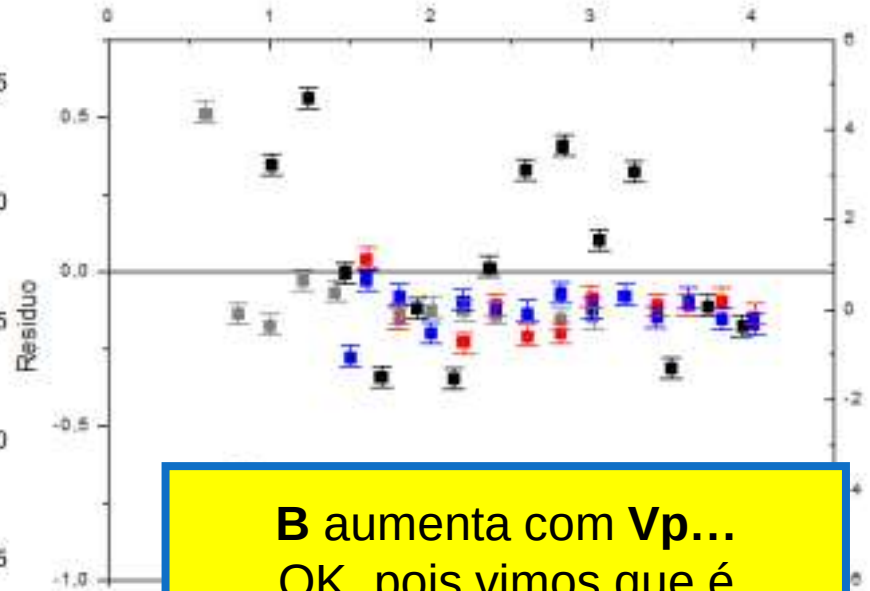
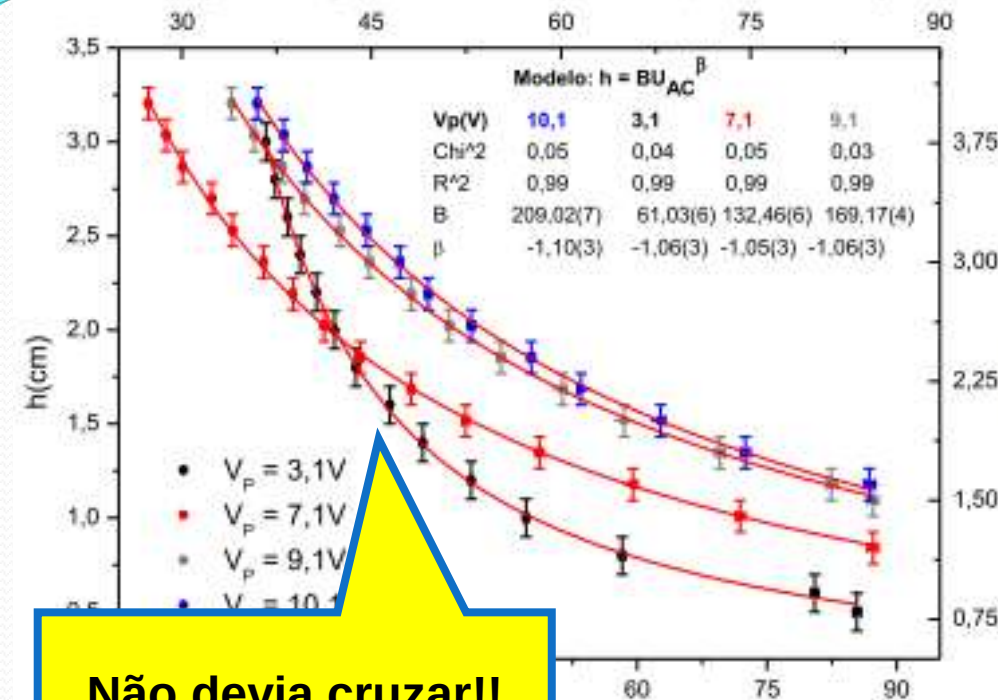
Com coeficiente -1.0
Indica ser
inversamente
proporcional ao Uac



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



Medindo vários V_p



	3.1 V	7.1 V	9.1 V	10.1 V
B (mm)	61.03 (6)	123.46 (6)	169.17 (4)	209.02 (7)
β (°)	-1.06 (3)	-1.05 (3)	-1.06 (3)	-1.10 (3)

β permanece constante

Dependência com Uac

β	β
-1.041 (5)	-1.072 (4)
-1.05 (3)	-1.055 (5)
-1.076 (4)	-1.051 (6)
-0.88 (4)	-1.19 (2)
-1.06 (2)	-1.126 (32)
-1.106 (8)	-5.46 (27)
-1.04 (12)	-0.978 (8)
-1.044 (7)	
-1.03 (6)	

Todos os valores em torno de -1.0

Resumo

- Nossos resultados mostram que:

$$h \propto V_P$$

$$h \propto \frac{1}{U_{ac}}$$

- Ou seja, algo assim:

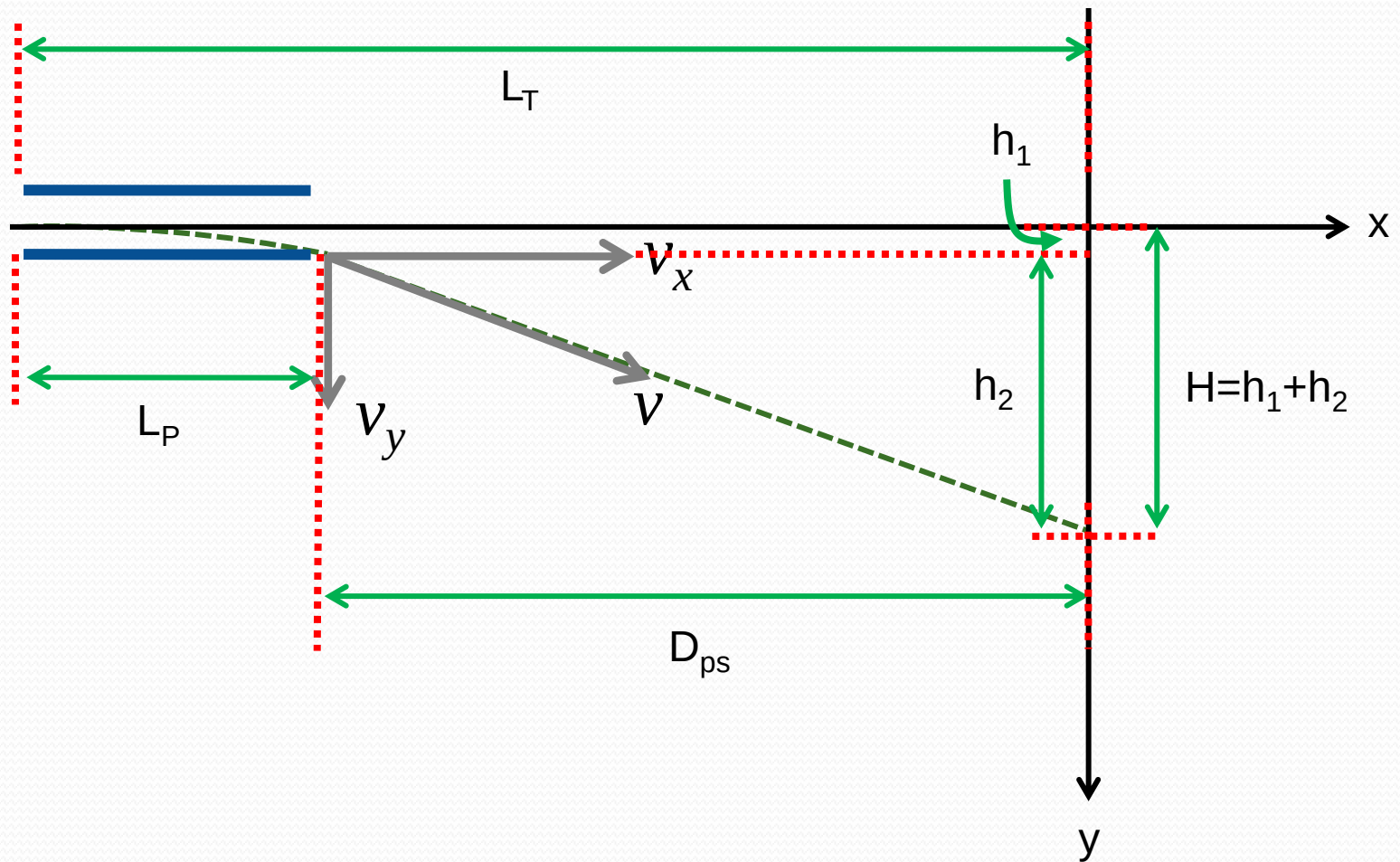
$$h \propto \frac{V_P}{U_{ac}}$$

Pergunta da semana

- Faça um modelo físico para o efeito do campo elétrico (E), que descreva a altura de impacto (H) dos elétrons no anteparo, supondo as dimensões abaixo, que as placas defletoras sejam paralelas e os elétrons têm uma velocidade de entrada nas placas v_{ox} . Desconsidere efeitos de bordas nas placas.

Notação para modelo E

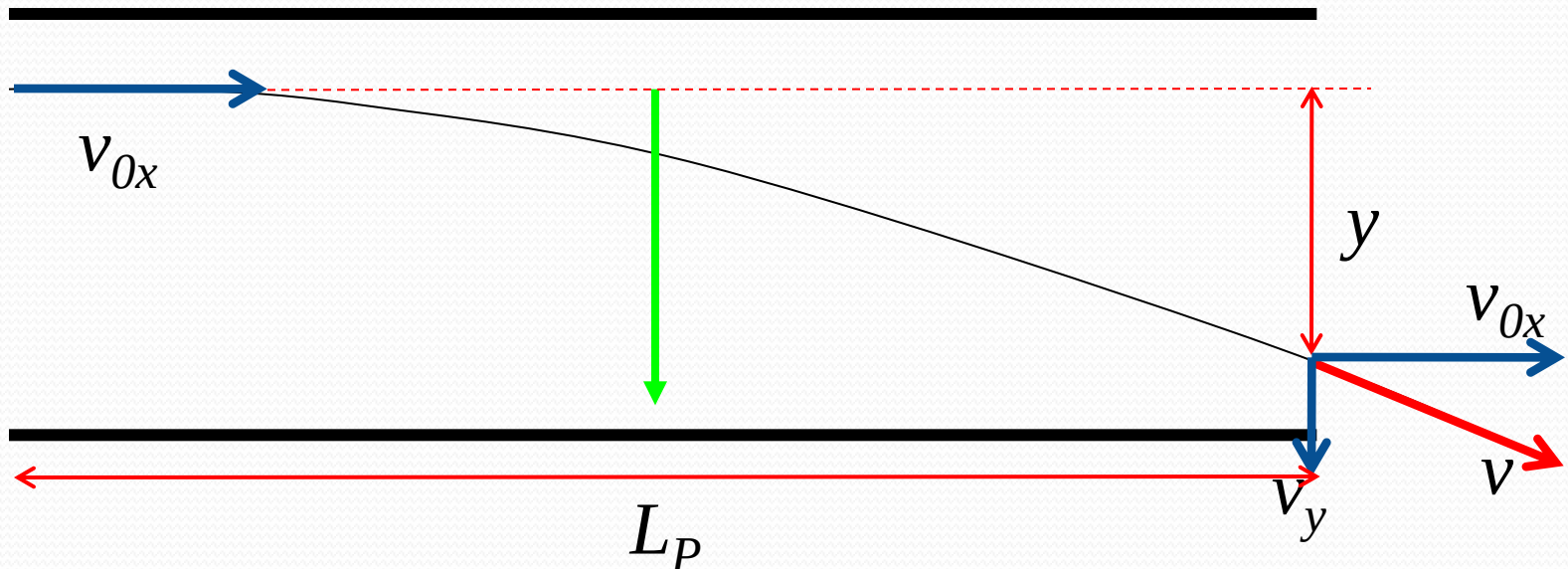
hipótese que as placas são um capacitor ideal



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniforme em x

$$t = \frac{L_P}{v_{0x}}$$

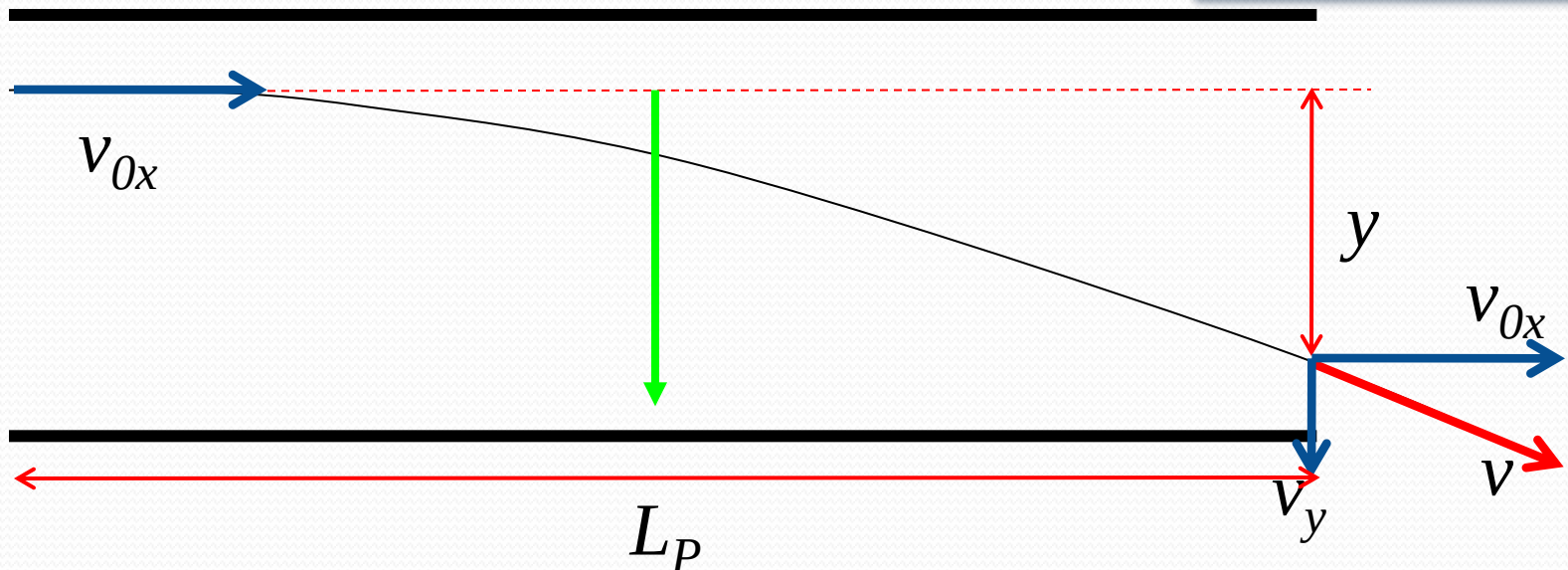


Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

$$\vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow F_y = qE \Rightarrow a_y = \frac{qE}{m}$$

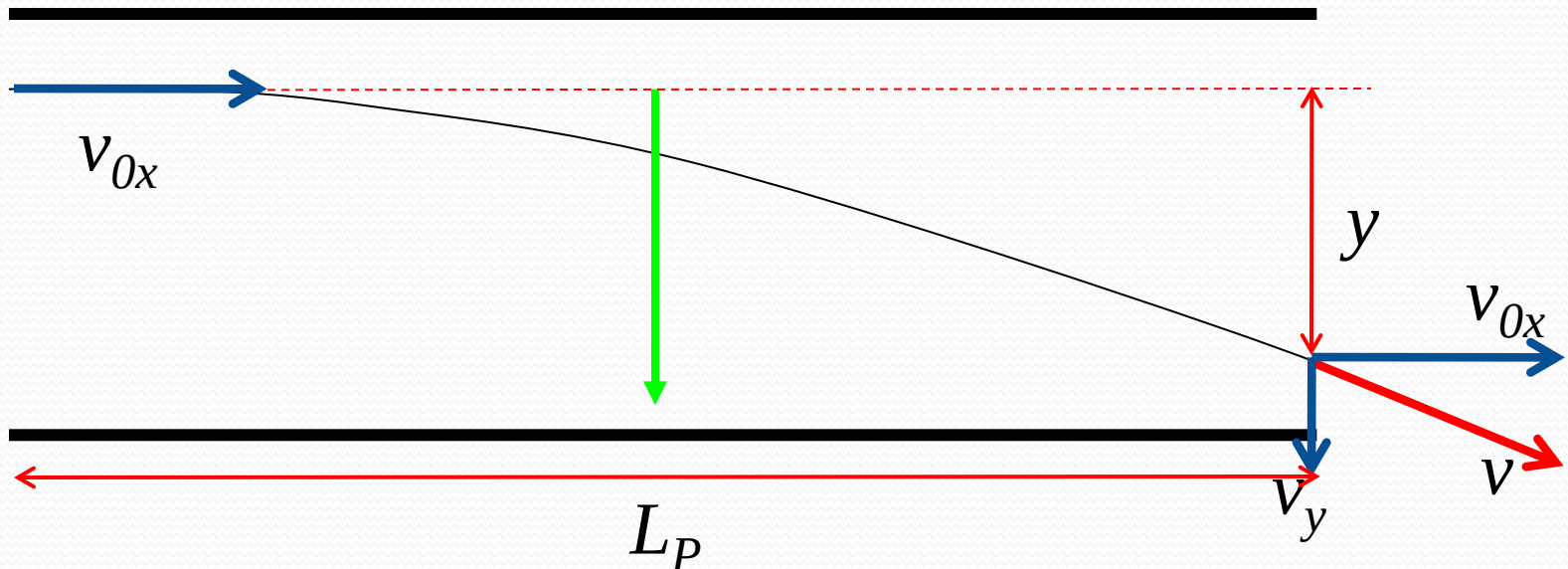
$$v_y = v_{0y} + a_y t \Rightarrow v_y = \frac{qE}{m} t \Rightarrow v_y = \frac{qEL_P}{mv_{0x}}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

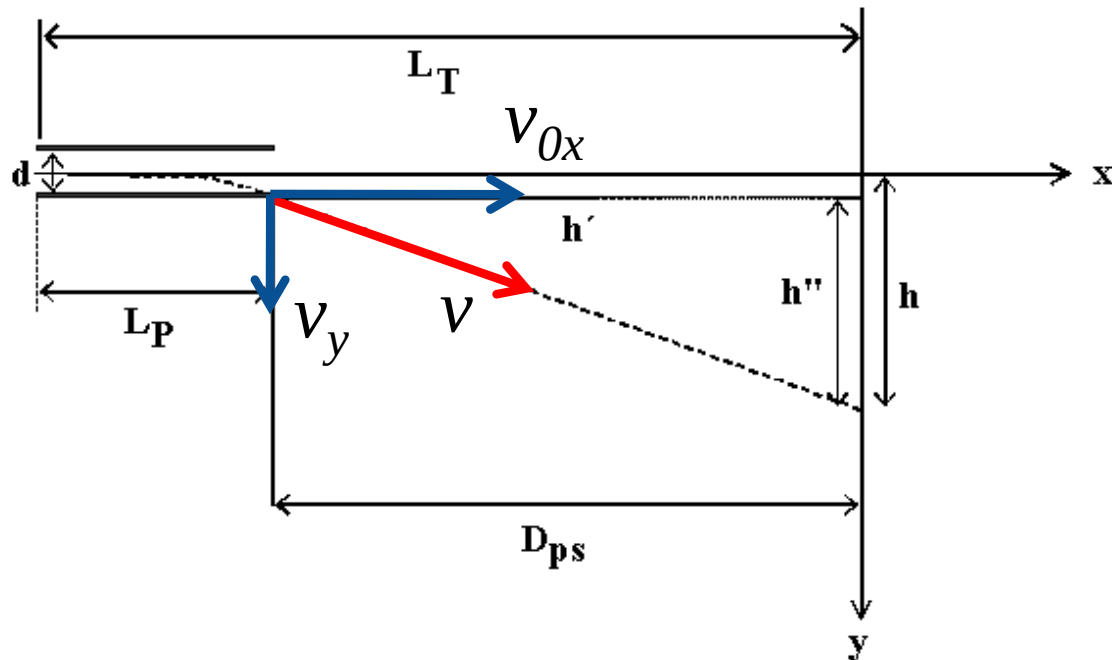
$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \Rightarrow y = \frac{qE}{2m} \left(\frac{L_P}{v_{0x}} \right)^2$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Após as placas voltamos a ter movimento uniforme

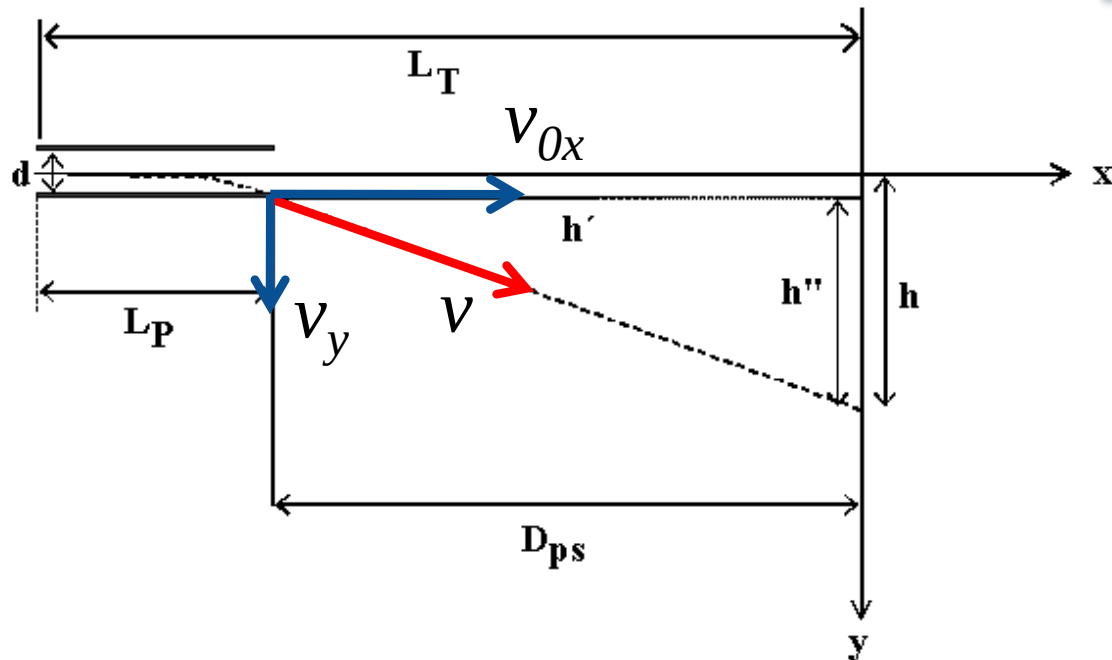
$$t = \frac{D_{PS}}{v_{0x}} \quad h'' = v_y t = \frac{qEL_P}{mv_{0x}} \frac{D_{PS}}{v_{0x}}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

$$h = y + h'' = \frac{qE}{2m} \left(\frac{L_P}{v_{0x}} \right)^2 + \frac{qE}{m} \frac{L_P D_{PS}}{v_{0x}^2} = \frac{qEL_P}{mv_{0x}^2} \left(\underbrace{\frac{L_P}{2} + D_{PS}}_{L_C} \right)$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

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

Distância do centro das placas

- Ou seja:

$$h = A \frac{E}{v_{0x}^2}$$

h é proporcional ao campo elétrico e inversamente proporcional ao quadrado da velocidade

Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Em um capacitor ideal, o campo vale:

$$|E| = V_P/d$$

- A velocidade do elétron depende da tensão de aceleração através de:

$$K_{cin} = qV_{AC} \Rightarrow \frac{1}{2}mv_{0x}^2 = qV_{AC}$$

- Ou seja:

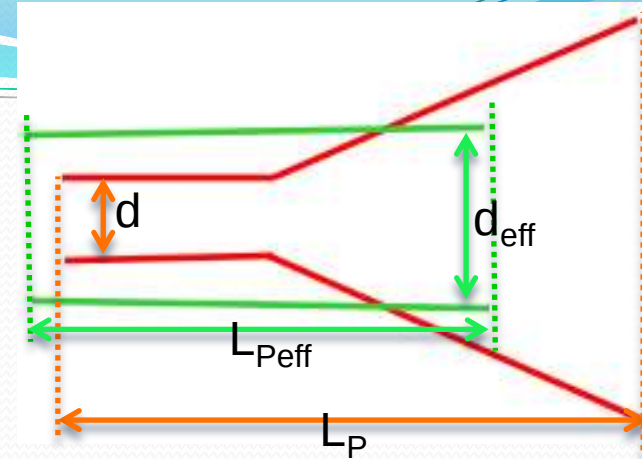
$$h = A \frac{E}{v_{0x}^2} = A' \frac{V_P}{V_{AC}}$$

h é proporcional à tensão entre as placas e inversamente proporcional à tensão de aceleração dos elétrons

Quem é a constante A' ?

- Ou seja

$$A' = \frac{L_P}{2d} L_C$$



- Contudo, quais são as dimensões das placas equivalentes (L_P) e a distância (d) entre elas?
- Tenho duas variáveis e apenas uma medida. Como eu resolvo esta ambigüidade?

Quem é L_P e d ?

- Vamos lembrar alguns conceitos sobre movimento, em especial impulso de uma força

$$\vec{I} = \Delta \vec{p} = \int_0^t \vec{F}(t) dt$$

- No nosso caso ideal, a força é constante com módulo dado por qE . Nesta situação:

$$\vec{I} = \int_0^t \vec{F}(t) dt = \int_0^t q\vec{E} dt = q\vec{E}t = q\vec{E} \frac{L_P}{v_{0x}}$$

Quem é L_P e d ?

- Lembrando que o deslocamento na tela do TRC vale:

$$h = \frac{qEL_P}{mv_{0x}^2} L_C$$

- E sabendo que o impulso, **na direção y**, tem módulo qEL_P/v_{0x} , e sabendo que o momento inicial da partícula vale $p = mv_{0x}$, temos:

$$h = \frac{\text{Impulso}_y}{p} L_C = \frac{\Delta p_y}{p} L_C$$

Quem é L_p e d ?

- Ou seja, o deslocamento está diretamente relacionado ao impulso fornecido pelo campo elétrico

$$h = Cte \frac{\Delta p}{p}$$

- Podemos utilizar esta informação para fazer uma escolha realista para o comprimento efetivo das placas.
 - Em que parte da trajetória se dá o impulso que altera o deslocamento da partícula?

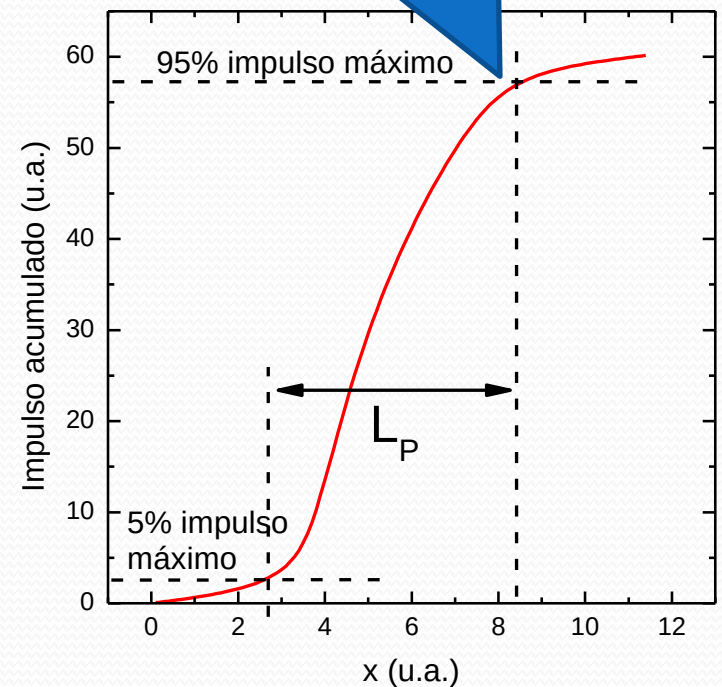
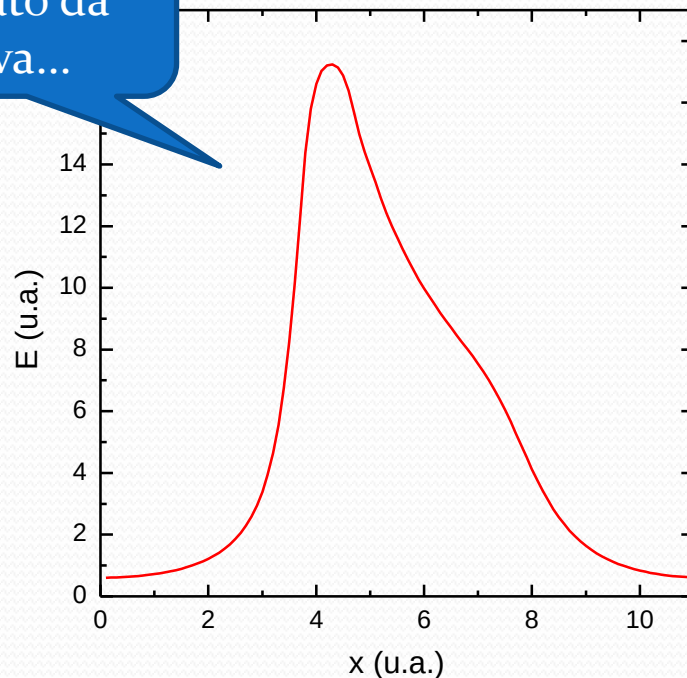
No caso não ideal, temos:

- Calculando o impulso acumulado

Como varia o campo elétrico real ??

A integral mostra a região onde este é transferido!

Seja qual for o formato da curva...



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Movimento em campo elétrico
- Semana 2
 - Simular o campo elétrico
- Semana 3
 - Movimento em campo magnético
- Semana 4
 - Mapear campo magnético
- Semana 5
 - Espectrômetro de massa parte 1
- Semana 6
 - Espectrômetro de massa parte 2

Não podemos quebrar o TRC para medir o campo entre as placas... Então vamos simular!!

O potencial elétrico

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

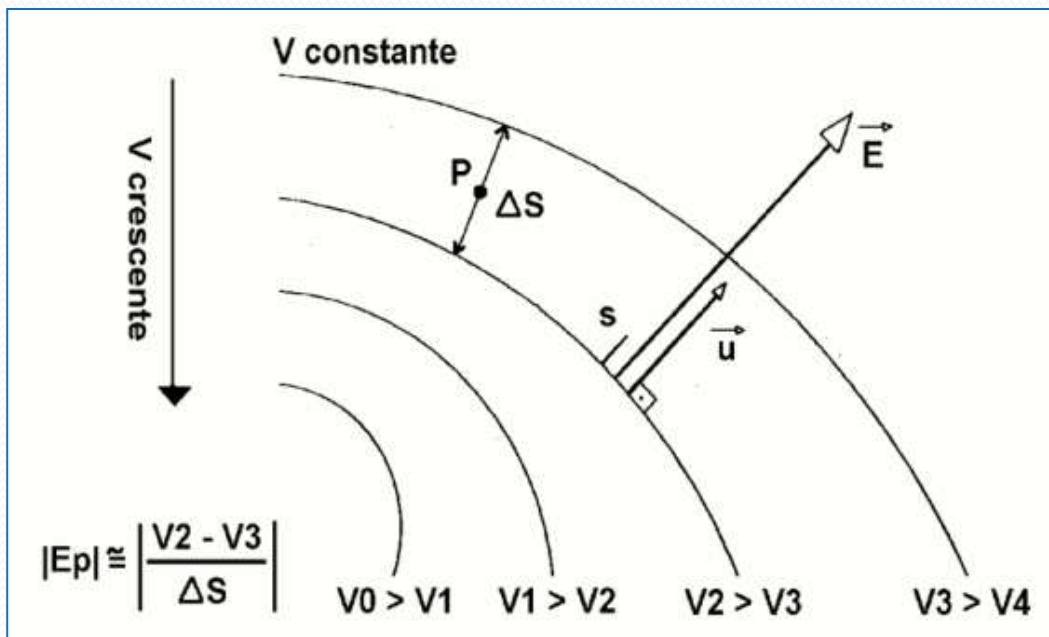
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

θ 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 $\mathbf{u}$:



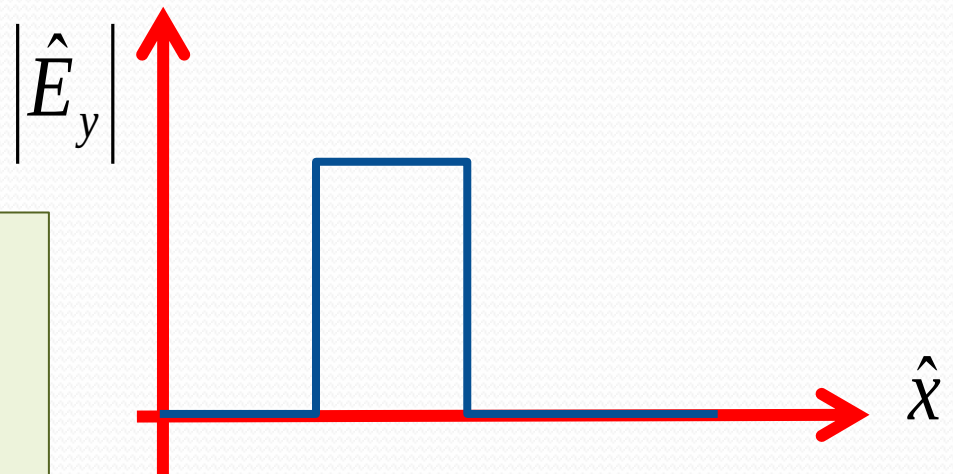
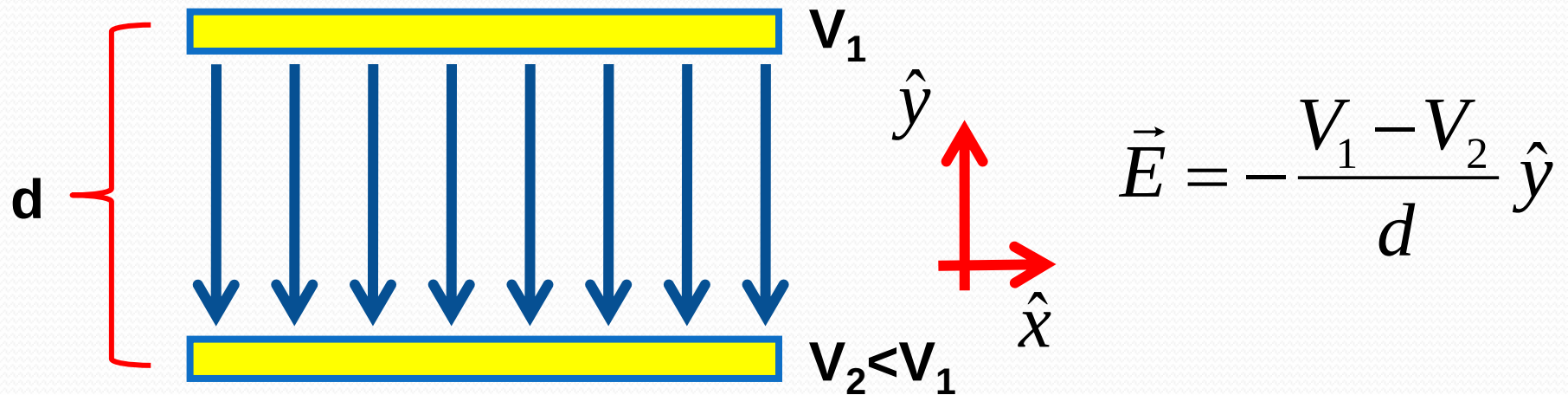
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

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

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

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

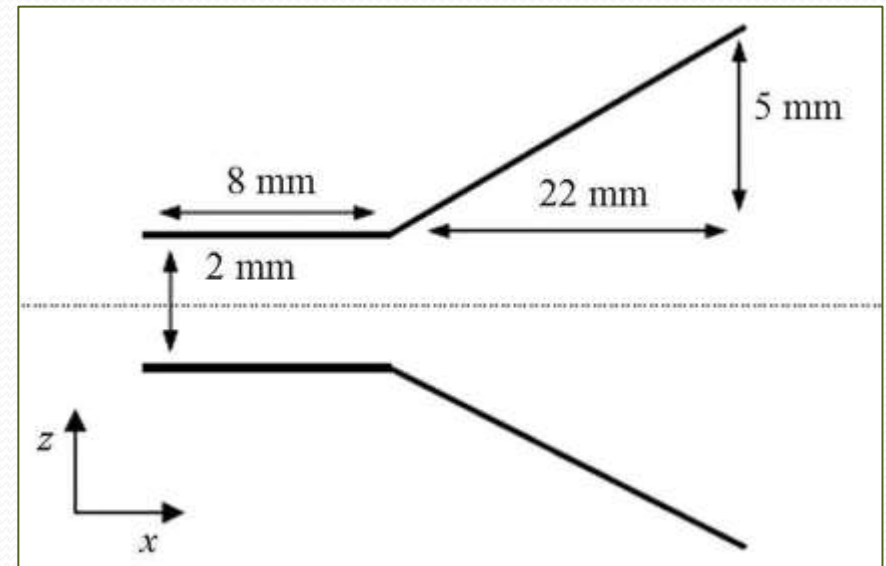
- Como é o campo elétrico de um capacitor ideal?



Campo elétrico uniforme em modulo, 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??

Comparação teórica

Para determinar o potencial, precisamos resolver as equações do EM

- Lei de Gauss

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \cdot (-\nabla \cdot V) = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- Equação de Poisson para o potencial

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

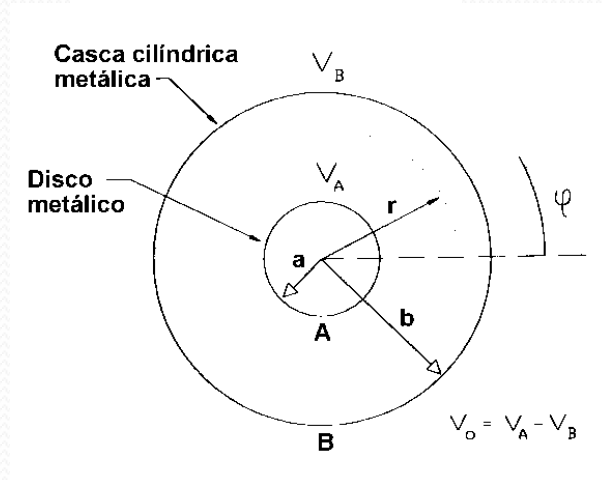
- Na ausência de cargas livres (Equação de Laplace)

$$\nabla^2 V = 0$$

Resolvendo a equação de Laplace

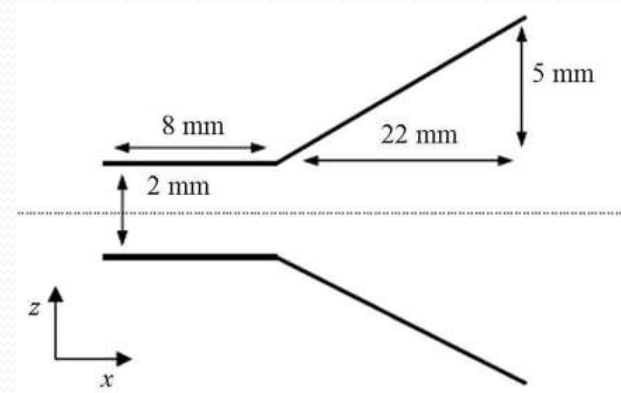
$$\nabla^2 V = 0$$

- Sistemas simétricos
 - Resolução algébrica fácil

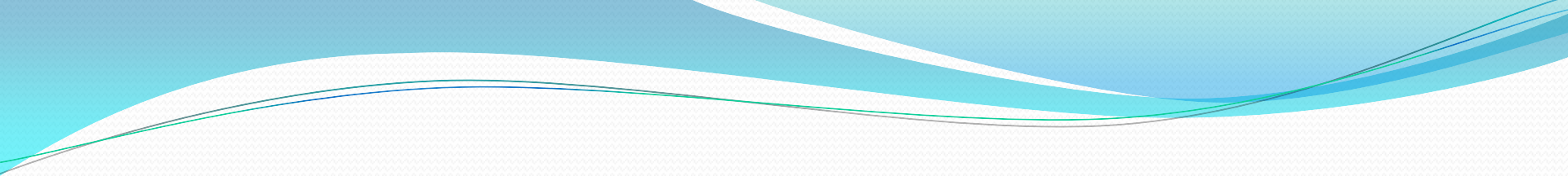


$$V(r) = A \ln r + B$$

- Sistemas mais complexos
 - Como resolver?



$$V(x, y) = ?$$



1. Diferenças finitas no EXCEL

Resolução numérica da equação de Laplace

- Vamos olhar o Laplaciano em duas dimensões:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = 0$$

- Como calcular estas derivadas?
 - Aproximação numérica para derivada

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x, y) \approx \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{V(x + \Delta x / 2, y) - V(x - \Delta x / 2, y)}{\Delta x}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Vamos agora calcular a derivada segunda

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V(x + \Delta x / 2, y) - V(x - \Delta x / 2, y)}{\Delta x} \right) \\ &\approx \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x / 2, y) - \frac{\partial}{\partial x} V(x - \Delta x / 2, y) \right)\end{aligned}$$

- Vamos calcular o primeiro termo da expressão acima:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x / 2, y)$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Cálculo do primeiro termo:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(\overbrace{x + \Delta x / 2}^{x_0}, y) = \frac{V(\overbrace{x + \Delta x / 2 + \Delta x / 2}^{x_0}, y) - V(\overbrace{x + \Delta x / 2 - \Delta x / 2}^{x_0}, y)}{\Delta x}$$

- Ou seja:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x + \Delta x / 2, y) = \frac{V(x + \Delta x, y) - V(x, y)}{\Delta x}$$

- Do mesmo modo para o segundo termo:

$$\frac{\partial}{\partial x} V(x - \Delta x / 2, y) = \frac{V(x, y) - V(x - \Delta x, y)}{\Delta x}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Assim, as derivadas segunda, em x e y, valem:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) = \frac{V(x + \Delta x, y) - 2V(x, y) + V(x - \Delta x, y)}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = \frac{V(x, y + \Delta y) - 2V(x, y) + V(x, y - \Delta y)}{\Delta y^2}$$

- Se escolhermos $\Delta x = \Delta y = \Delta$ pode-se resolver a equação de Laplace facilmente

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} V(x, y) = 0$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Substituindo as derivadas calculadas e fazendo $\Delta x = \Delta y = \Delta$ a equação de Laplace fica:

$$\frac{V(x + \Delta, y) + V(x - \Delta, y) - 4V(x, y) + V(x, y + \Delta) + V(x, y - \Delta)}{\Delta^2} = 0$$

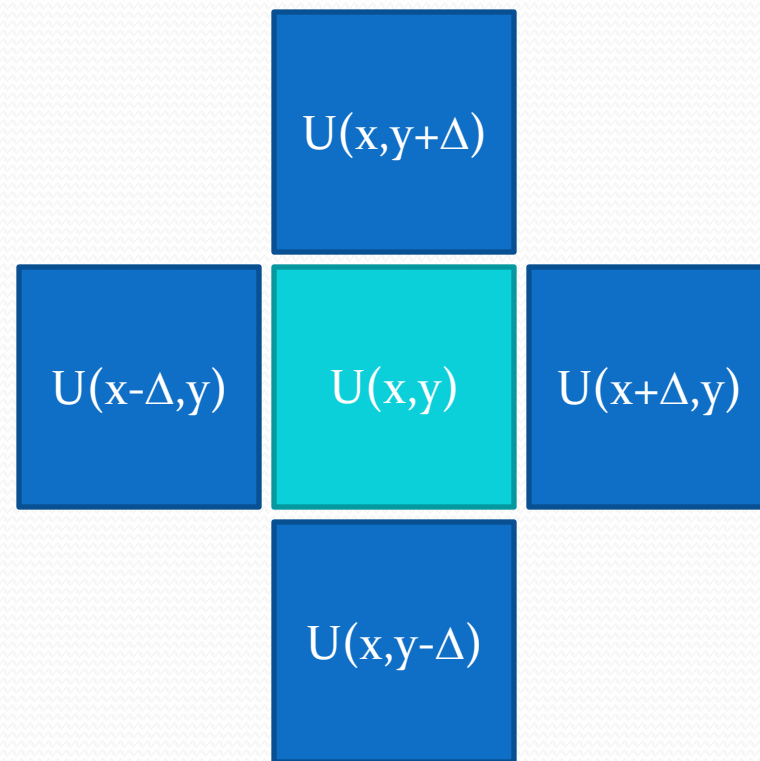
- Isolando o termo $V(x, y)$, encontramos:

$$V(x, y) = \frac{V(x + \Delta, y) + V(x - \Delta, y) + V(x, y + \Delta) + V(x, y - \Delta)}{4}$$

Resolução numérica da equação de Laplace

- Ou seja:
 - A solução da equação de Laplace diz que o potencial em um ponto é dado pela MÉDIA SIMPLES dos potenciais nas vizinhanças.
 - Podemos usar o EXCEL!!!!

$$V(x,y) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} V(x+\Delta, y) + \\ V(x-\Delta, y) + \\ V(x, y+\Delta) + \\ V(x, y-\Delta) \end{pmatrix}$$



de Trabalho

Mos

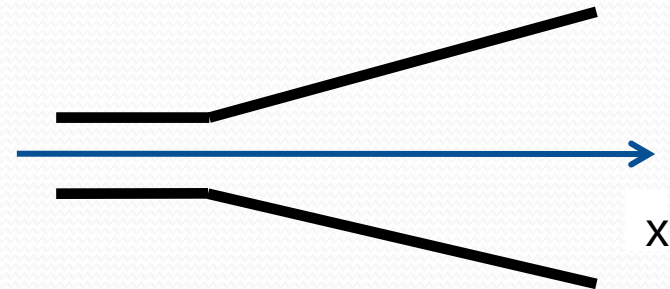
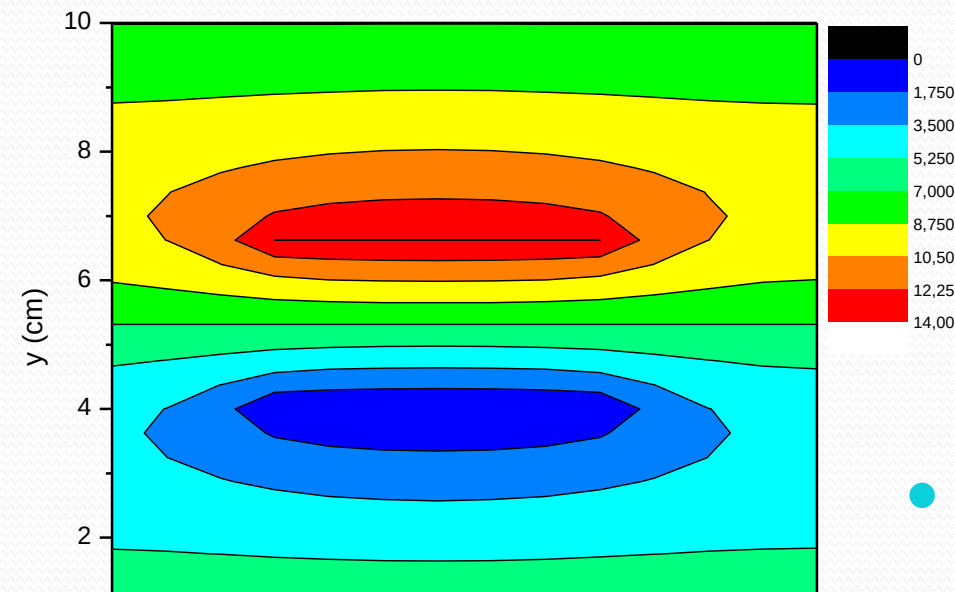
✓ f_x =0,25*(E26+F2+E3+D2)

Alinhamento

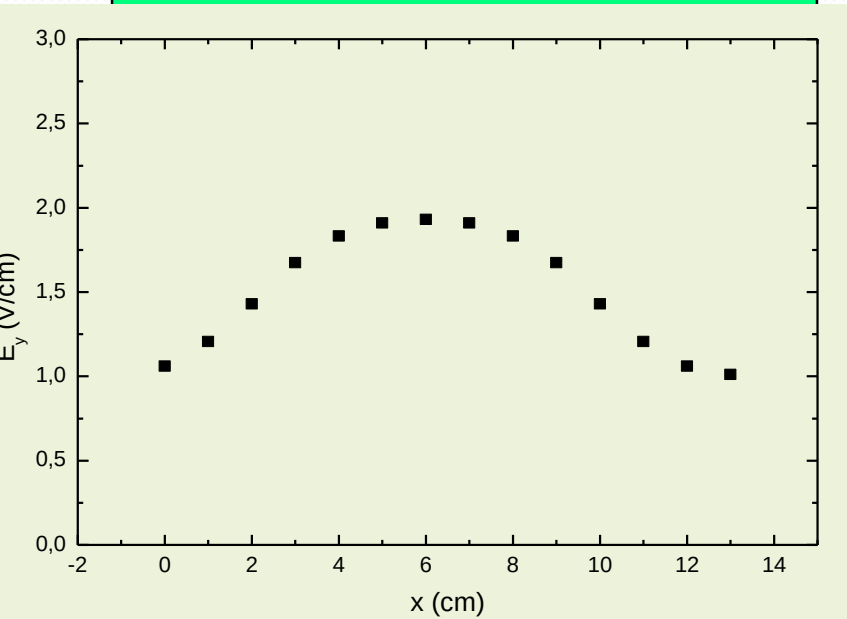
	D	E	F
02	6,386184	=0,25*(E26+F2+E3+D2)	6,354573
09	5,809742	5,770682	5,736701
31	5,237632	5,168216	5,108223
97	4,671778	4,557222	4,4604

-
- The screenshot shows an Excel spreadsheet with a grid of numbers. Red arrows indicate a path starting from cell B1, moving down to B14, then right to E14, then down to E17, then left to D17, then down to D19, then left to C19, then down to C22, then left to B22, and finally down to B24. Blue squares highlight cells B14, E14, E17, D17, D19, C19, C22, B22, and B24. The spreadsheet has a ribbon at the top with tabs for 'Formatação Condicional', 'Formulas', 'Referências', and 'Dados'. The status bar at the bottom shows '4' and '14'.

Criando um Excel para calcular o Laplaciano

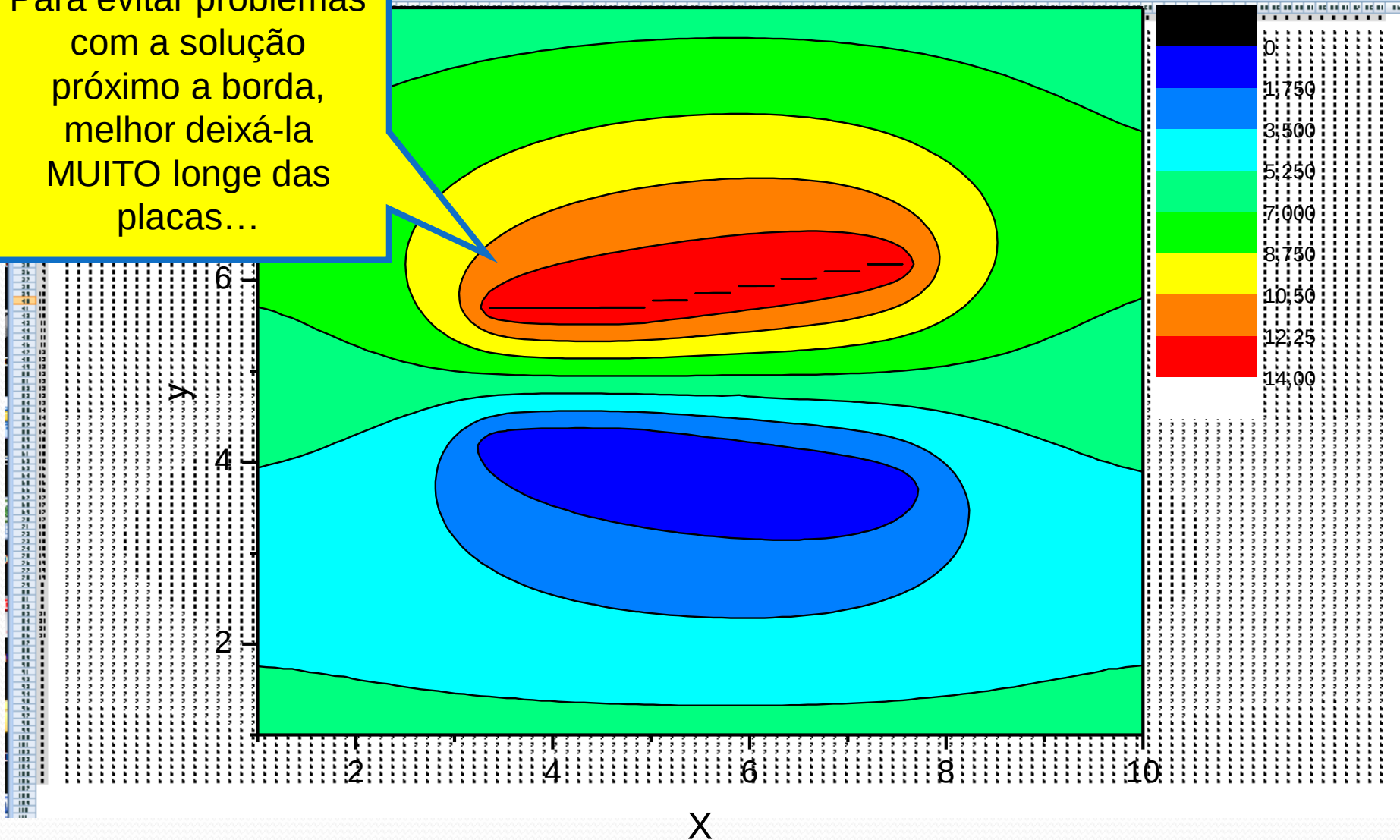


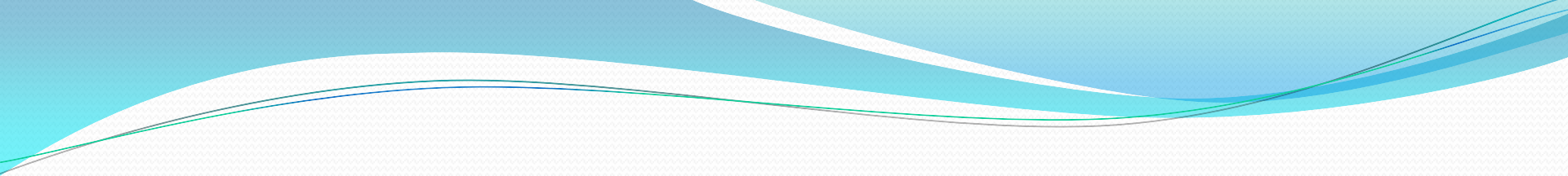
- O problema é simétrico em torno do eixo x... Porque o potencial não é simétrico?
- O Potencial é definido a menos de uma constante, i.e., a grandeza física é o campo elétrico



Exemplo: simulação na planilha

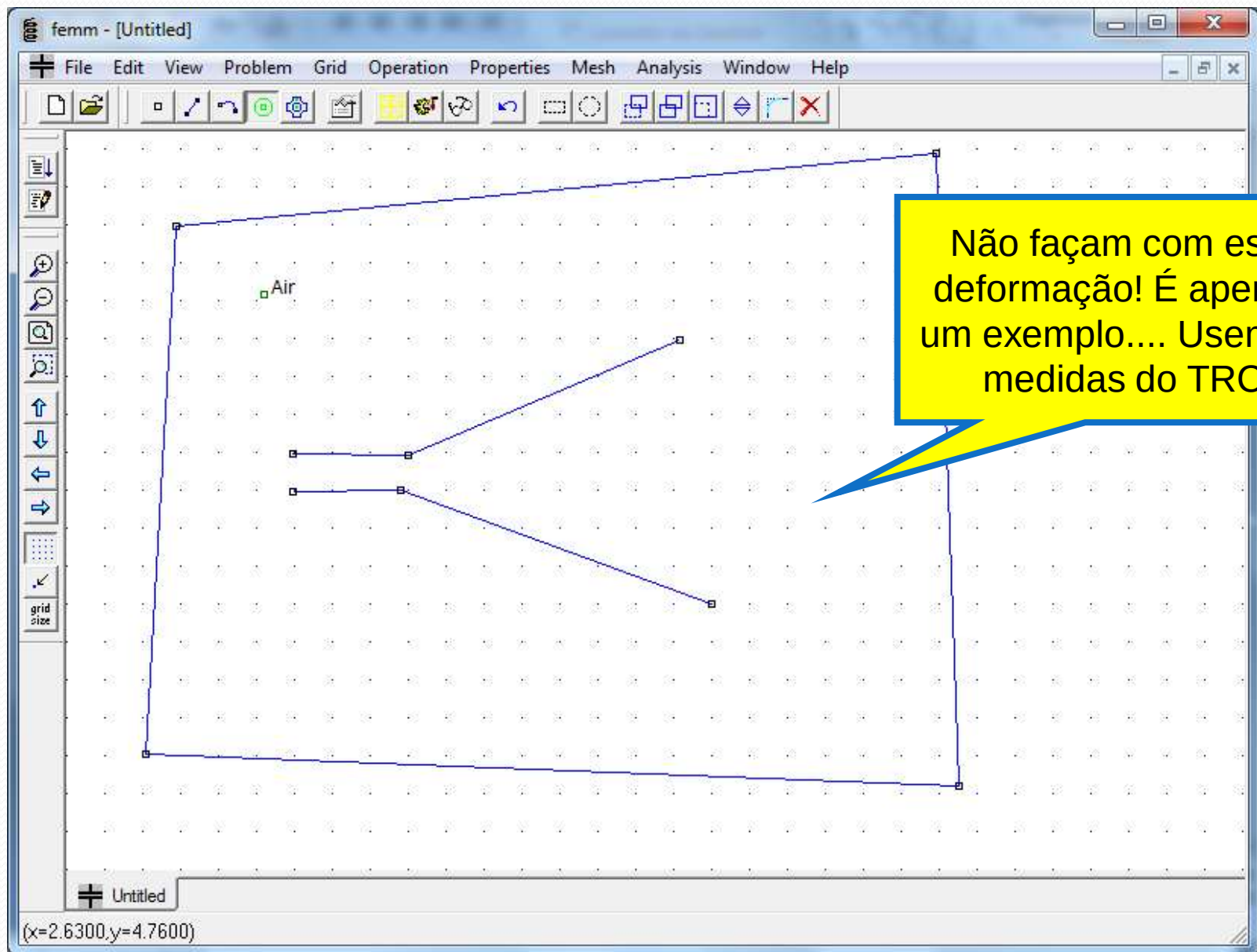
Para evitar problemas com a solução próximo a borda, melhor deixá-la MUITO longe das placas...



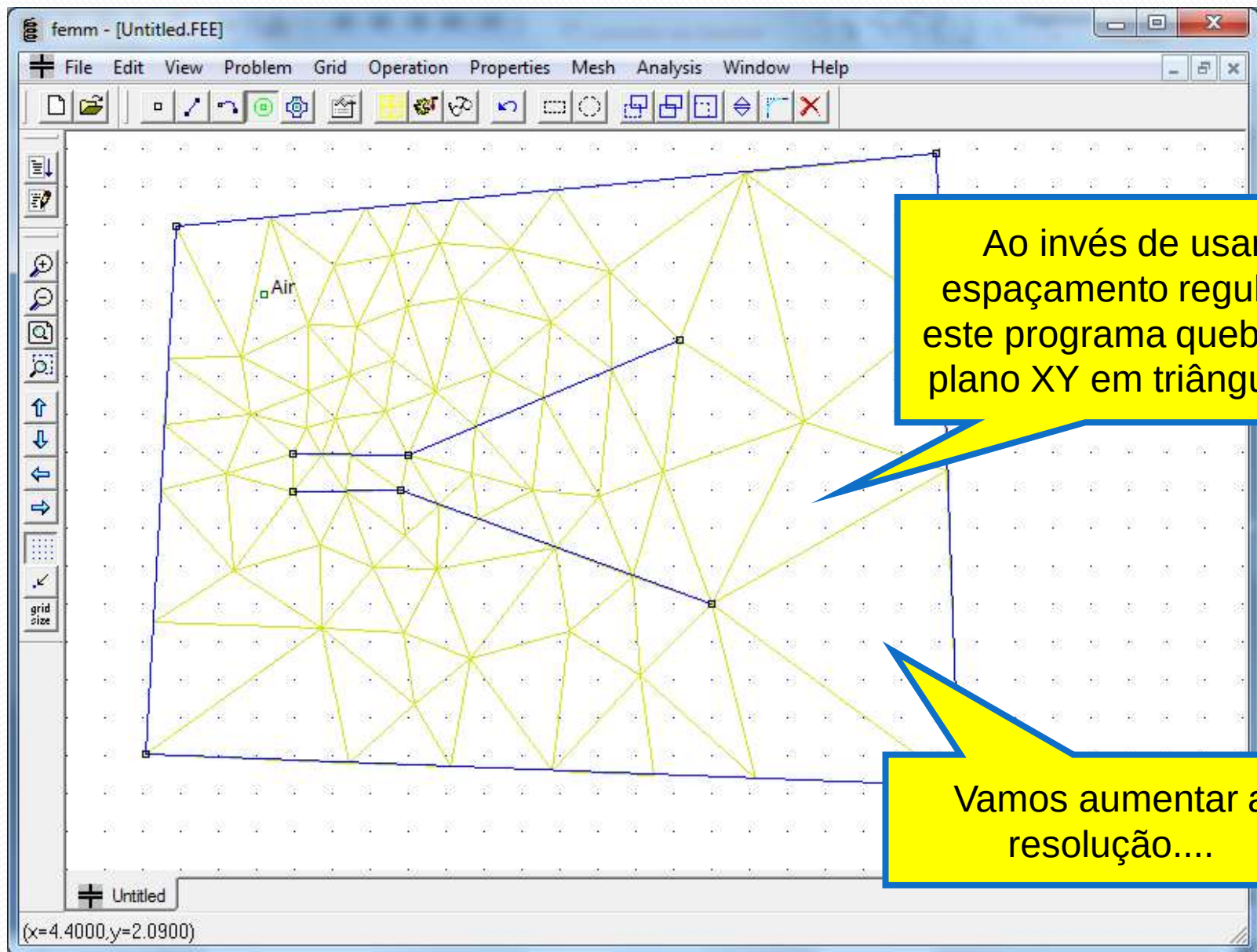


2. Uso do programa FEMM

Primeiro definimos o problema



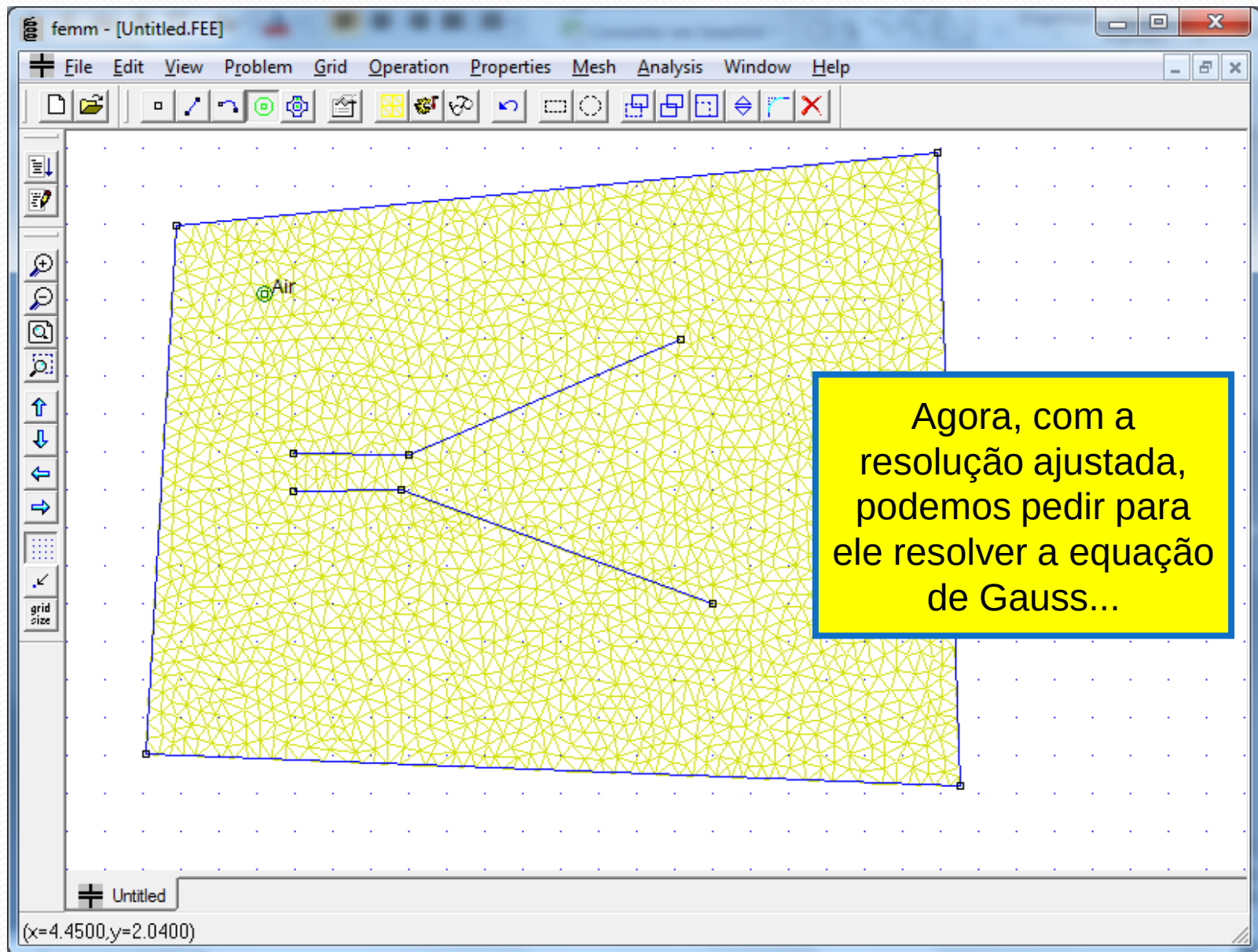
Criamos a malha



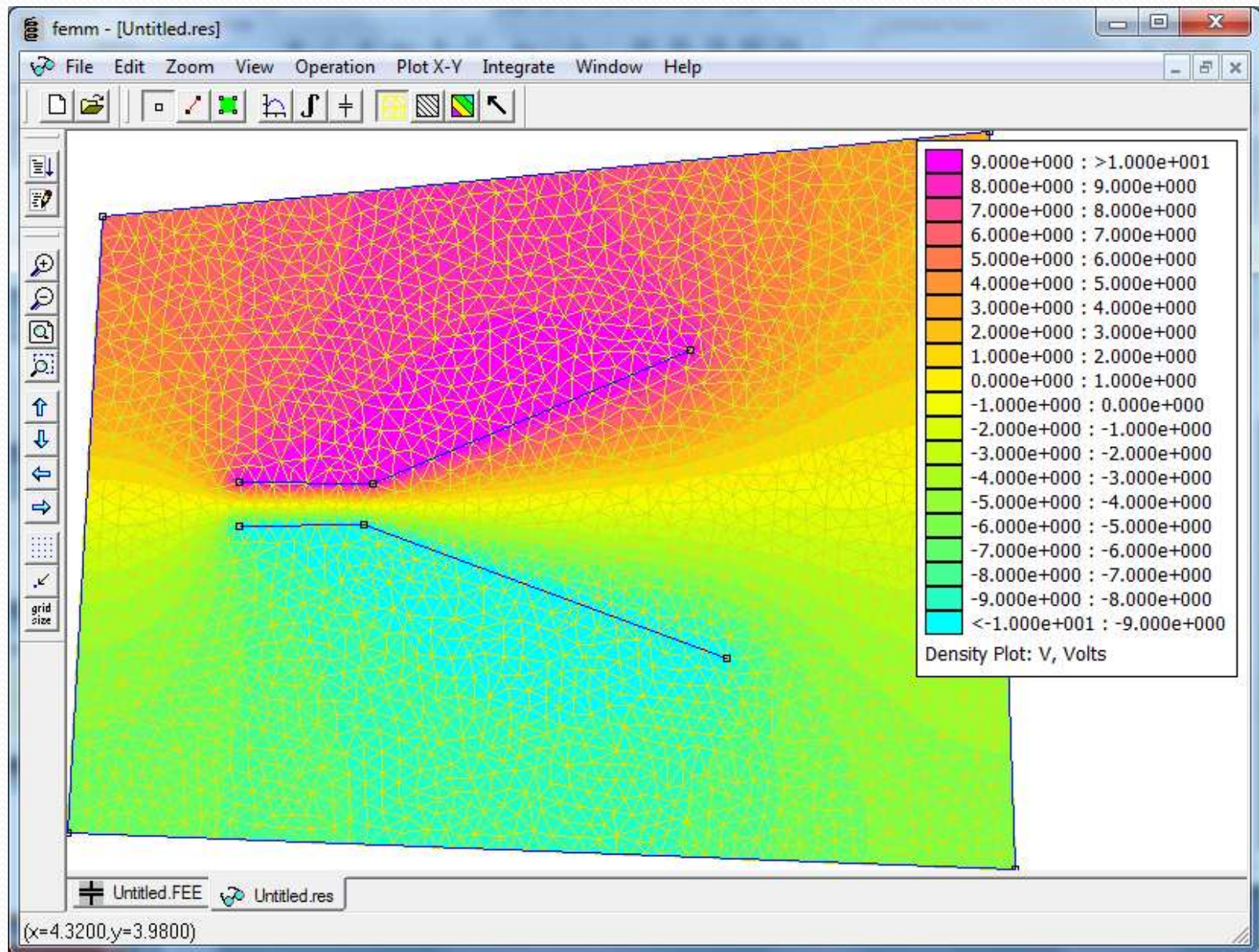
Ao invés de usar
espaçamento regular,
este programa quebra o
plano XY em triângulos

Vamos aumentar a
resolução....

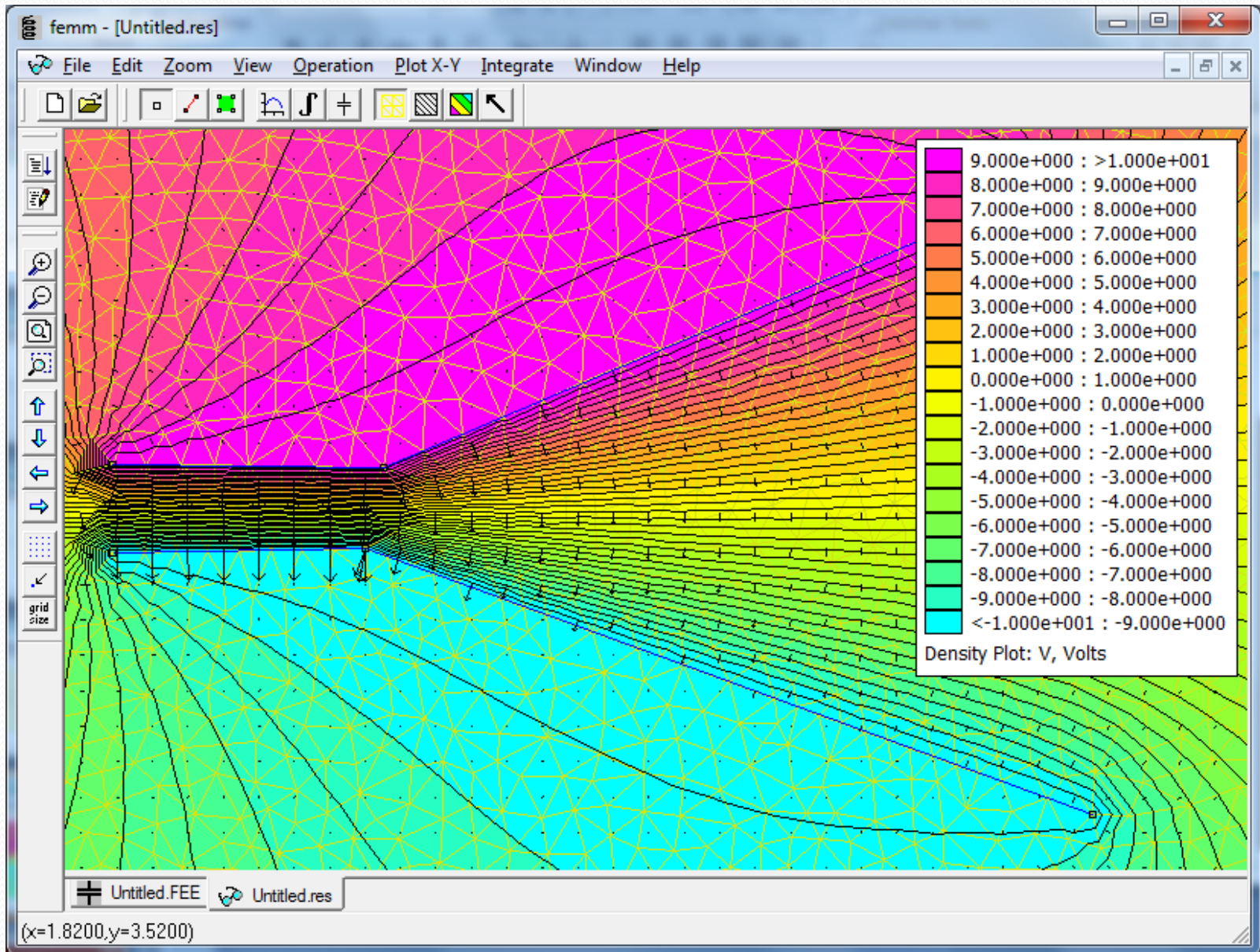
Agora sim...



Mapa do potencial elétrico



Equipotenciais e Vetor Campo E.



que são interessantes para alunos de física experimental:

- http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_378.pdf
- http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_44.pdf
- http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_40.pdf

Ajuste de curva aos dados experimentais

Como ajustar uma função qualquer aos dados experimentais? Isto pode ser feito com vários programas: excel, origin, root, gnuplot, etc... Abaixo seguem alguns tutoriais:

- ORIGIN
 - Versao 8 - TUTORIAL_ORIGIN8.pdf
 - Wiki oficial - Nonlinear Curve Fitting
 - Wiki oficial - User Defined Fitting
- GNUPLLOT
 - Guia geral e fitting
 - Not so frequently asked questions
- ROOT
 - Official HowTo's
- QTiPlot (similar ao Origin mas é para Linux)
 - Homepage oficial do programa
 - Guia oficial <http://youtube.googleapis.com/v/YxmMxPvk76w&hl=en&fs=1&>

Outros Softwares

- DataStudio
 - Tutorial passo a passo para uso DS com o sensor HALL (17/ago 2011)
- Programa QFIELD
 - Guia pratico do qfield
- FEMM
 - Tutorial para campos eletricos (por Vicente Pagliaro, 26/out 2010)
 - PPT passo a passo para campos eletricos (por Vicente Pagliaro, 26/out 2010)
 - Video passo a passo para campos elétricos (por Fábio Jorge)
 - Tutorial para campos magneticos (por Fleury Filho e Henrique Barbosa, 7/out 2009)
 - PPT passo a passo para as bobinas do TRC (por Henrique Barobsa, 19/out 2012)
 - Video passo a passo para campos magnéticos (por Fábio Jorge)
 - Script "lua" para exportar os dados de um mapa 2D do FEMM para um arquivo texto. - Versão 1.1 (por Henrique Barbosa, 23/out 2009)
- RayTrace

Notas de Aula

Estadística

Apostilas

Software

Tutoriais

Instrumentos

Artigos Científicos

[edit](#)

Folha de dados – Parte 1

- Usando a planilha, simule um capacitor de placas paralelas ideais.
 - Diferença de potencial 9V
 - Separação 6 mm
 - Comprimento 30 mm
- Entregue o gráfico do campo elétrico, em função da distância ao centro das placas, ao longo da linha que separa as duas placas
 - Entregar os gráficos colocando E_x e E_y no mesmo gráfico, e indicando a posição das placas.
 - Colocar a solução analítica do capacitor ideal
- A partir dos seus resultados:
 - O campo elétrico é uniforme? Há efeitos de borda?

Folha de dados – Parte 2

- Simule com o FEMM 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?

Relatório

- Da simulação do campo, fazer o gráfico de impulso acumulado em função do comprimento.
 - Determinar o comprimento efetivo das placas (L_p)
 - Usar como limites 5% e 95% do impulso máximo acumulado como limites
 - Dica: use o Excel e faça a integral como a soma de pequenos retângulos
- Determinar a distância efetiva (d) entre as placas ideais de comprimento L_p para que elas provoquem o mesmo impulso total
- Comparar esses parâmetros com as medidas equivalentes das placas do TRC e discutir.

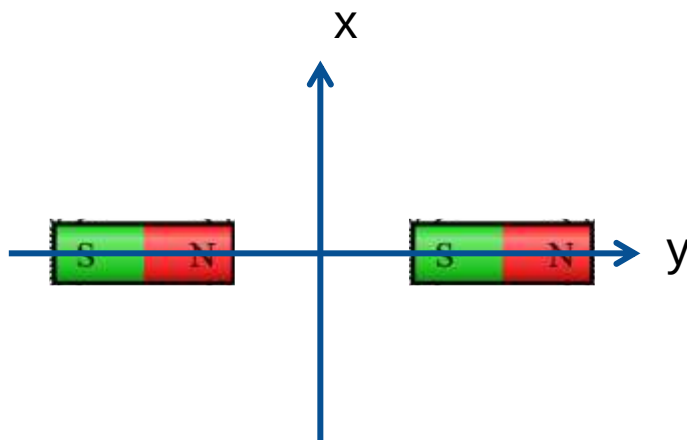
OBSERVAÇÃO

- Como esta semana faremos apenas simulações, então a presença no laboratório não será cobrada!
- A sala estará aberta, em alguns horários, para que vocês possam tirar eventuais dúvidas, ou retomar dados da semana anterior.

Pergunta da semana

- Esboce as linhas de campo magnético para os dois arranjos abaixo.
 - Qual a direção preferencial do campo em $x=0$ e $y=0$?
 - Em qual arranjo o campo é mais intenso nesta posição?

Situação 1



Situação 2

