

DISCUSSÃO

# erretor 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

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

Física Exp. 3  
Aula 2, Experiência 2

Movimento em campo magnético

# Exp. 2 – Seletor de Velocidades

## PROGRAMAÇÃO

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

# Para entregar, Parte 1

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

# Como verificar o alinhamento das bobinas?

**CUIDADO:** Tem muita interferência na sala, por isso a bússola não dá o campo local!



restre. As bobinas foram alinhadas pelo uso de uma bússola para verificar que o campo gerado por cada uma estava na mesma direção e sentido.

# Parte 2, o campo magnético

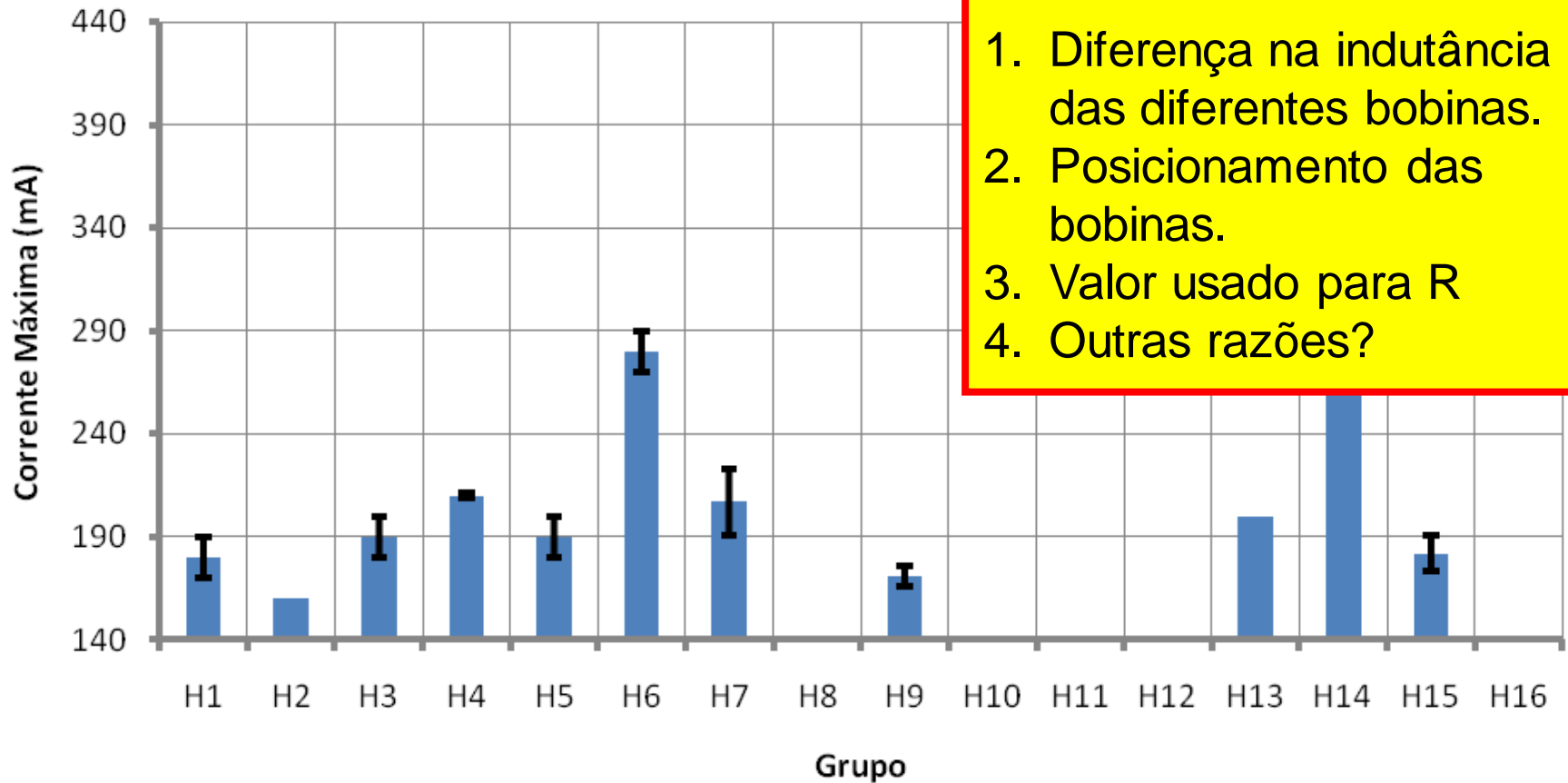
- Use um resistor de proteção de 10 ohms para medir a corrente pelas bobinas
- Aumente e diminua a corrente e verifique o que acontece com o feixe. Comente.
- Veja que a posição depende da corrente aplicada.
- Anote a corrente máxima que permita que o feixe continue visível na tela do **TRC**.
  - CUIDADO: Não passe de 2A e não mantenha uma corrente alta por muito tempo para não danificar as bobinas e nem o resistor de proteção.

# Corrente máxima (mA) p/ 700V

ponto na tela			
H1	180 (10)	H9	171 (5)
H2	160 (?)	H10	1340 (?)
H3	190 (10)	H11	--
H4	210 (1)	H12	--
H5	190 (10)	H13	200 (?)
H6	280 (10)	H14	360 (20)
H7	207 (16)	H15	182 (9)
H8	--	H16	1780

# Corrente máxima (mA) p/ 700V

1. Todos os TRC são iguais, com tela de 40mm.
2. Todo mundo orientou em relação ao campo local  
Porque os valores são tão diferentes?



1. Diferença na indutância das diferentes bobinas.
2. Posicionamento das bobinas.
3. Valor usado para R
4. Outras razões?

# Parte 3, deslocamento $\times I_B$

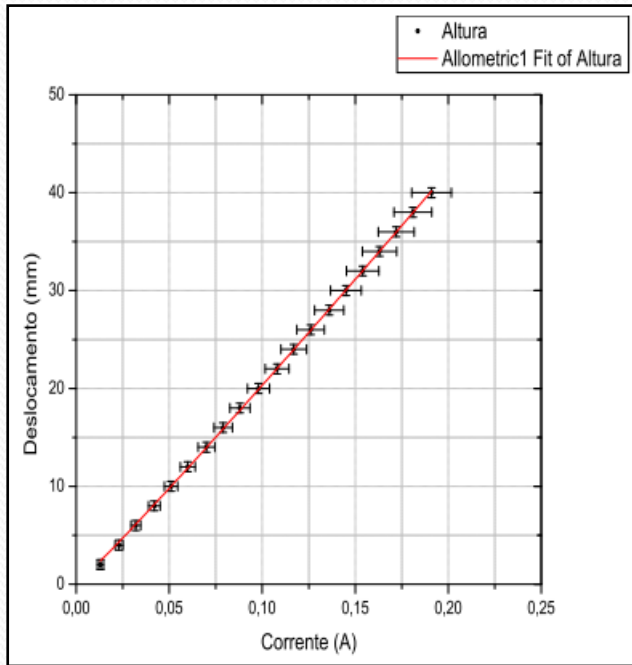
- Medir  $h$  em função de  $I_B$  para  $U_{ac}$  fixo ( $=v_{0x}$  fixo).
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

$$h = C i_b^\gamma$$

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



# H x corrente

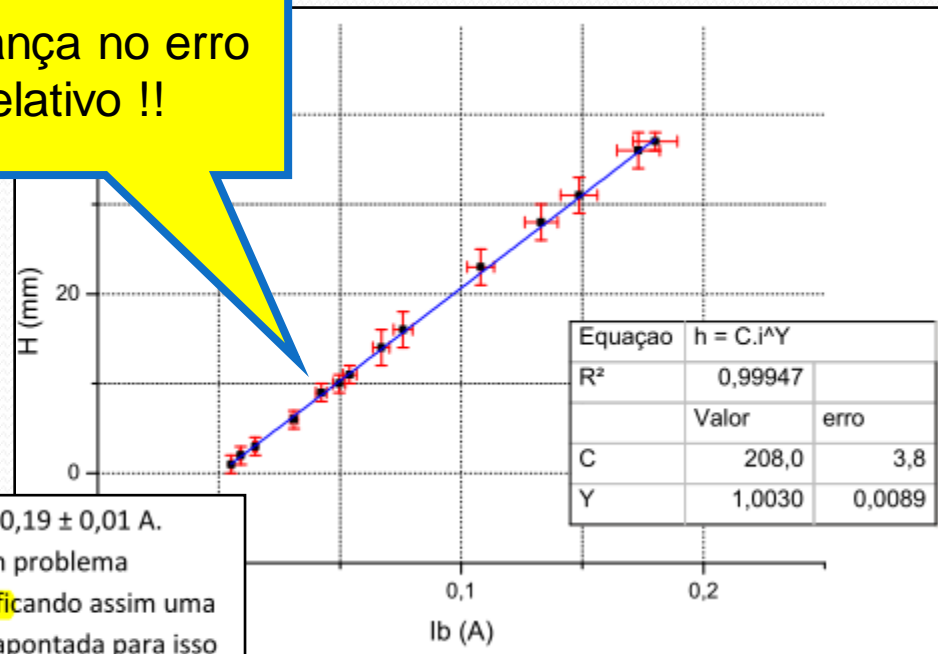


$\gamma$  é constante.  
C varia

Tabela 1 Resultados obtidos pelo ajuste

	$U_{ac} = 700 \text{ V}$		$U_{ac} = 850 \text{ V}$		$U_{ac} = 955 \text{ V}$	
	C	$\gamma$	C	$\gamma$	C	$\gamma$
valor	22,578	0,952	20,551	0,959	19,307	0,953
erro	0,899	0,018	0,432	0,010	0,416	0,011

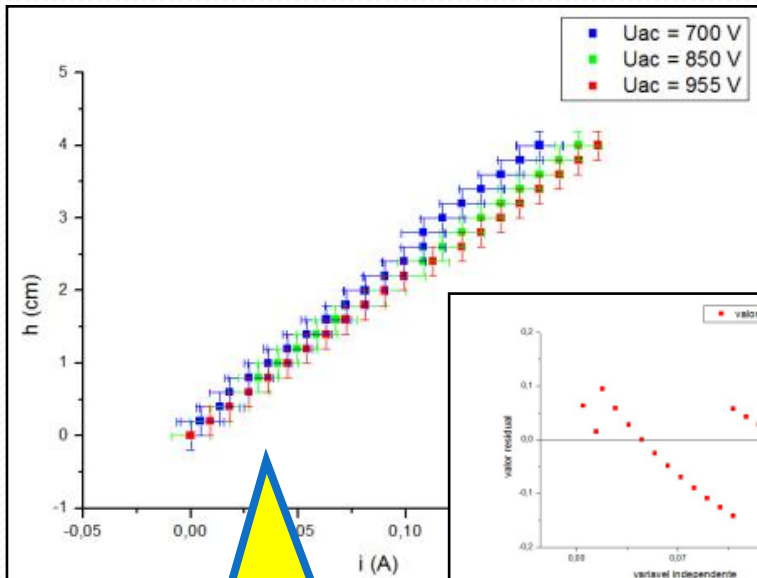
Mudança no erro relativo !!



A corrente máxima tal que o ponto do TRC permanece na tela é de  $0,19 \pm 0,01 \text{ A}$ .  
Durante a medição da altura do ponto do seletor de velocidade, um problema encontrado foi que **quando sua altura aumentava, o ponto duplicava, justificando assim uma incerteza maior (cerca de 2mm) na medição da altura**. Uma possível razão apontada para isso é a oscilação (frequência de 60hz) da rede elétrica. porque quem? testaram?

# H x corrente – Grupo H02

- Fizeram para 3 correntes diferentes...



Faltam os ajuste nos gráficos

Faltam as incertezas nos resíduos

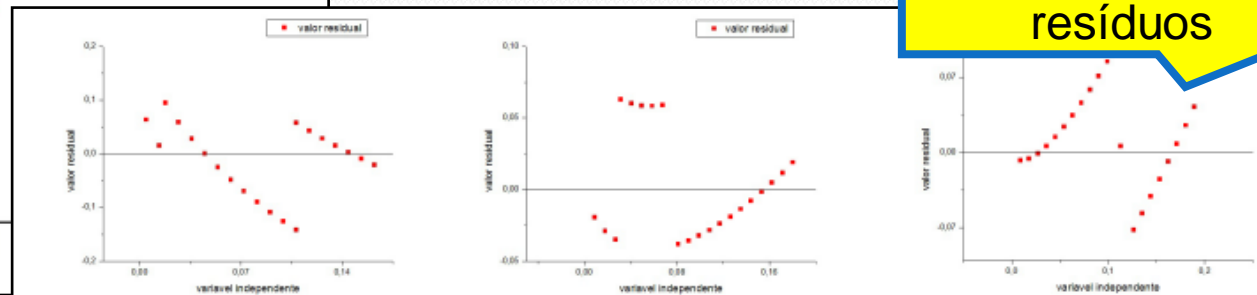
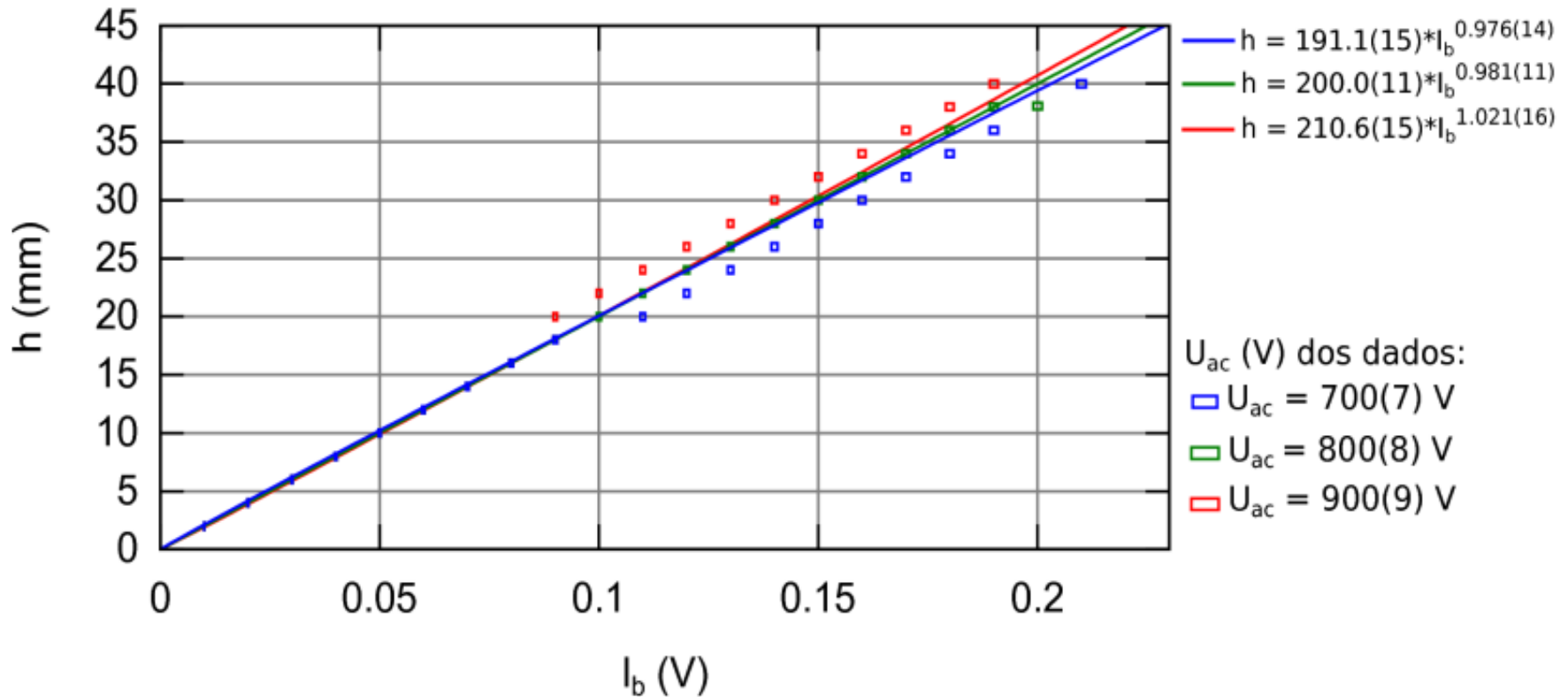


Figura 2: Gráficos dos dos resíduos do ajuste das curvas ajustadas de  $I_B \times h$  para  $U_{ac} = 700$  V,  $850$  V e  $955$  V respectivamente.

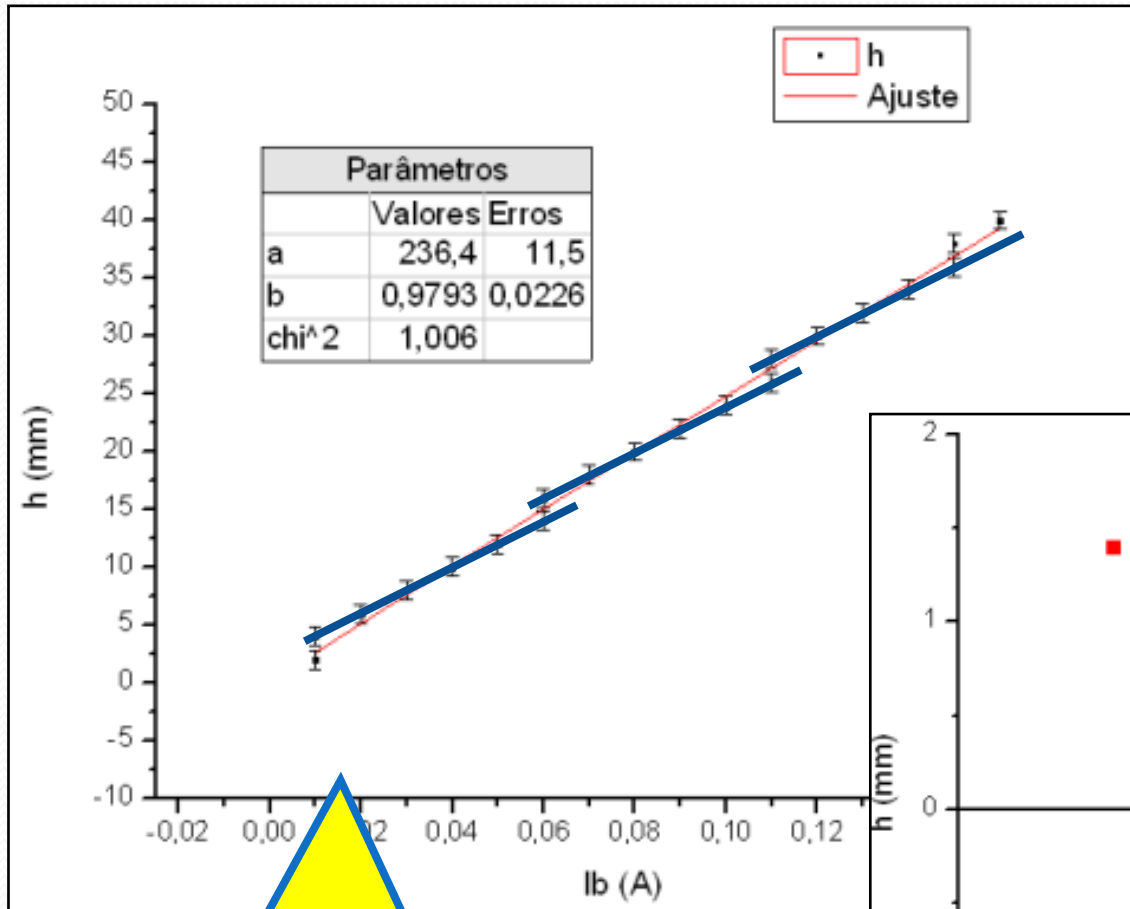
- A análise dos resíduos do ajuste nos mostra que os dados não apresentavam alta qualidade, fato provavelmente explicado pela escolha da escala de **200 V no multímetro**. Com isto, os valores medidos para as tensões das quais foram obtidas os valores das correntes apresentaram baixa precisão e baixo desvio padrão entre os dados dos medidores. Outra explicação para os padrões encontrados nos resíduo seria o desalinhamento das bobinas, que causaria erros sistemáticos.

# H04 x corrente

Deslocamento x  $I_b$

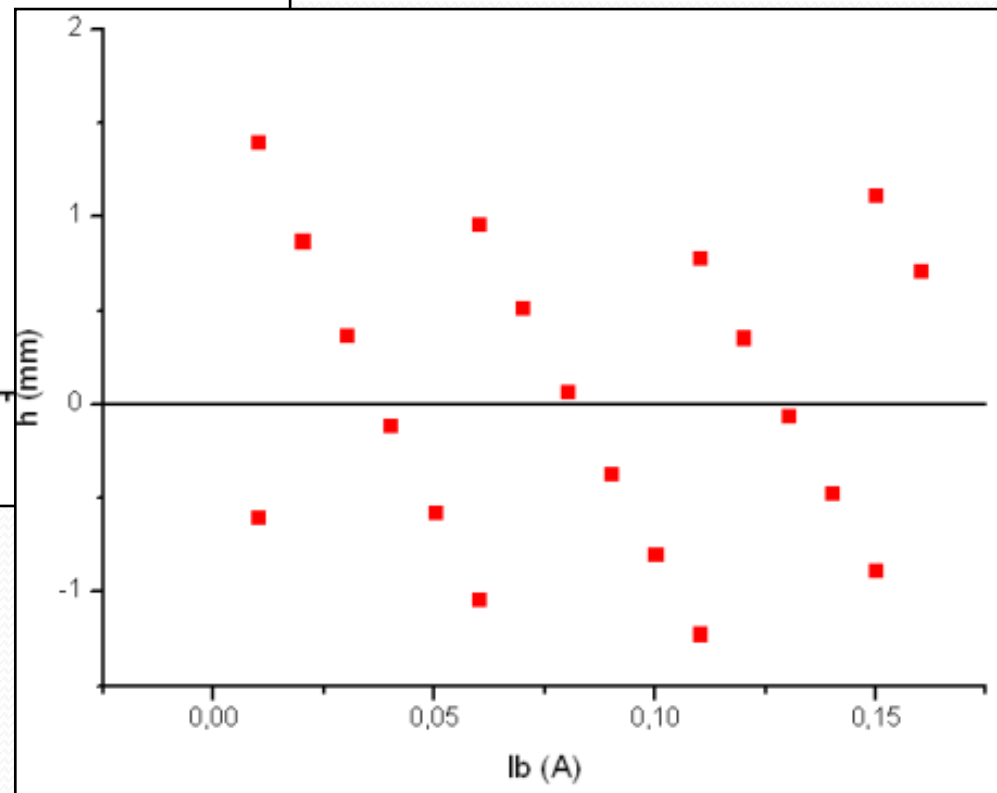


# Caso Interessante



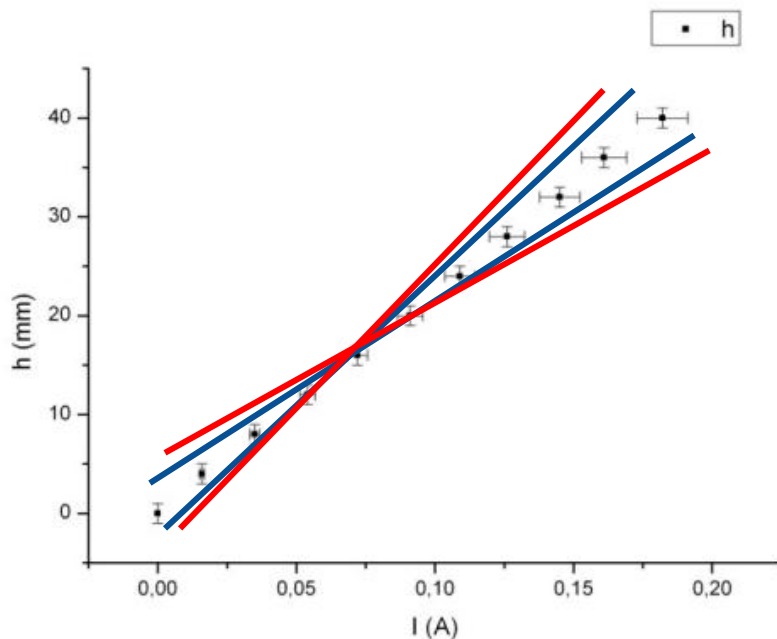
- O que pode explicar esse padrão nos resíduos?

escala do multímetro?  
medida do  $h$ ??

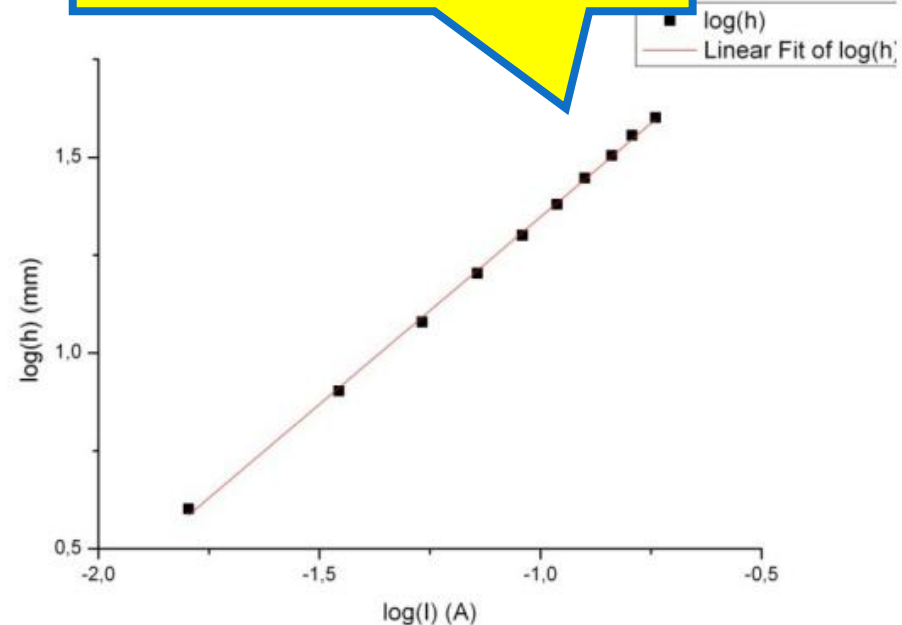


# Problema

- Para a correta estimativa dos parâmetros no ajuste, é preciso considerar as incertezas.



Este grupo colocou dois graficos: um deles com os erros, outro apenas com o ajuste!



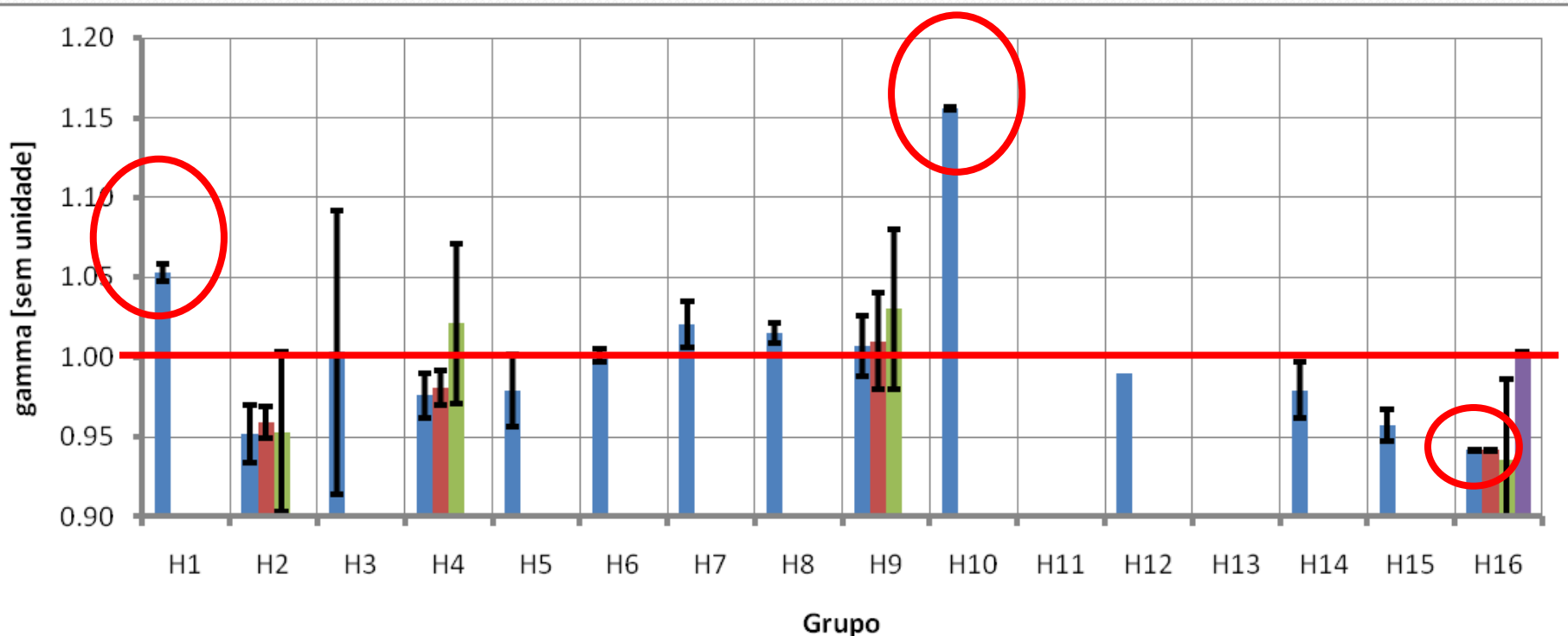
# H x corriente

	$\gamma$		$\gamma$
H1	1.053 (5)	H9	1.007(19) 1.01(3) 1.03(29)
H2	.952(18) .959(10) .953(11)	H10	<b>1.15628</b> (87)
H3	1.0030 (89)	H11	--
H4	.976(14) .981(11) 1.021(16)	H12	<b>0.989728 (?)</b>
H5	0.97 <b>93 (226)</b>	H13	--
H6	1.001 (4)	H14	<b>0.97929 (1727)</b>
H7	<b>1.02066 (1444)</b>	H15	0.957 (10)
H8	1.015 (6)	H16	.94176(39) .936(37) 1.00318(44)

Algarismos significativos...  
Incertezas...

# H x corrente

- Média =  $0.99 \pm 0.05$  (std)
- Exceto por alguns grupos, a maioria entrou valores compatíveis ( $3\sigma$ ) com  $\gamma=1$ , ou seja, **h** linear com **i**



# Parte 4, deslocamento x Vac

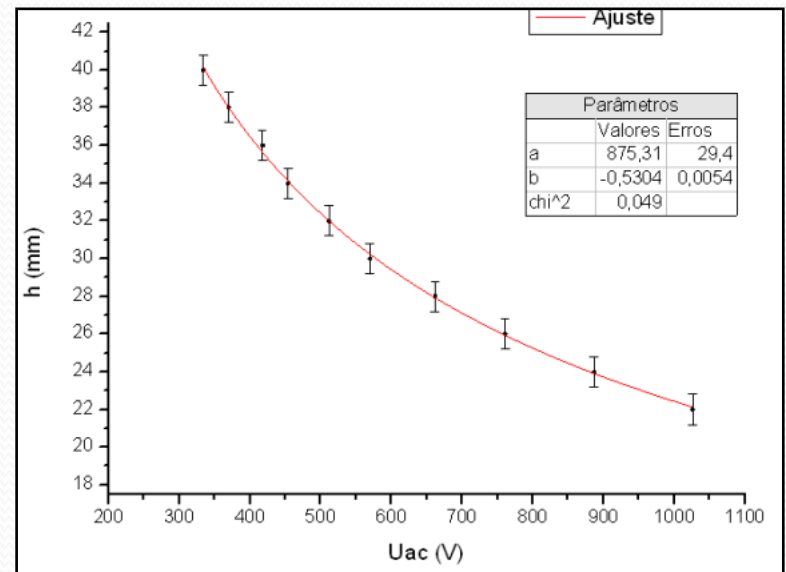
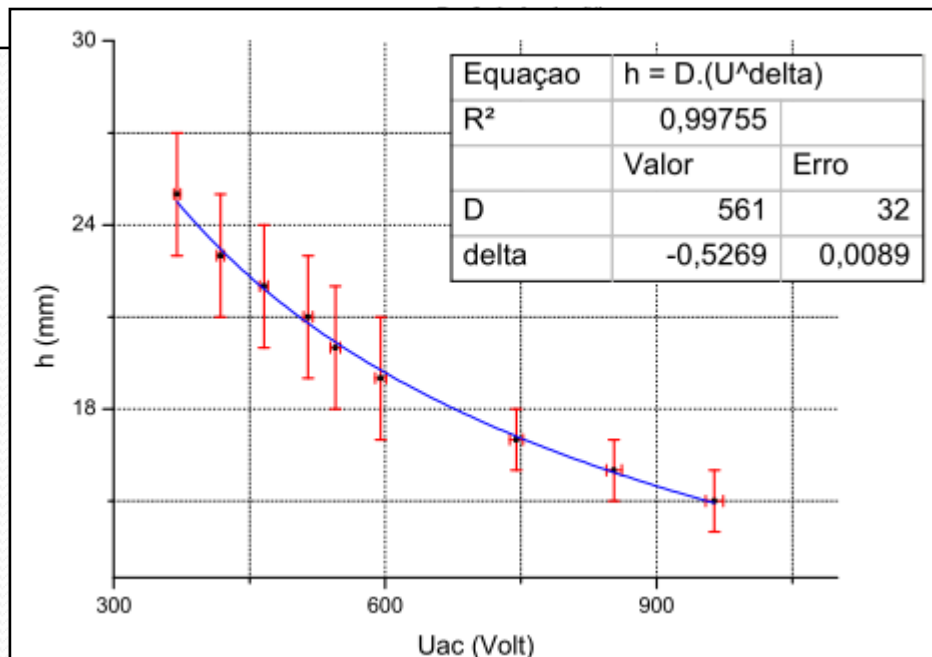
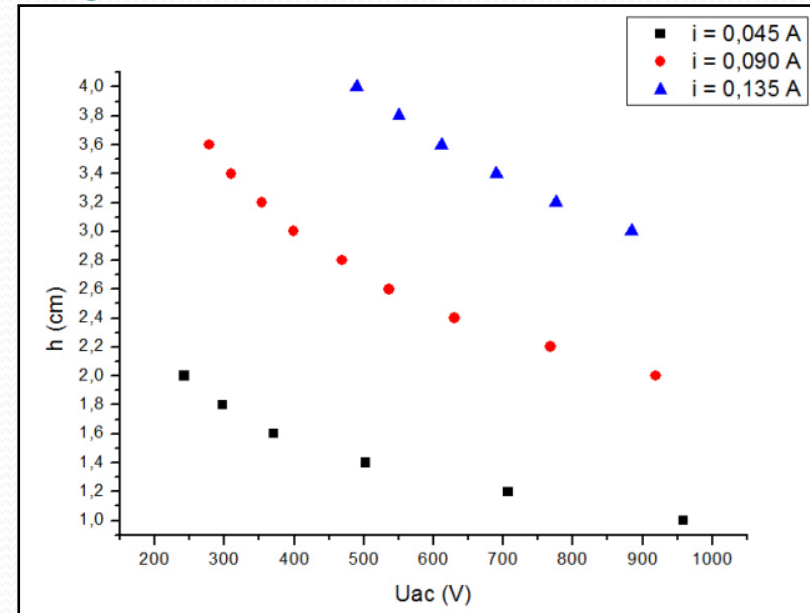
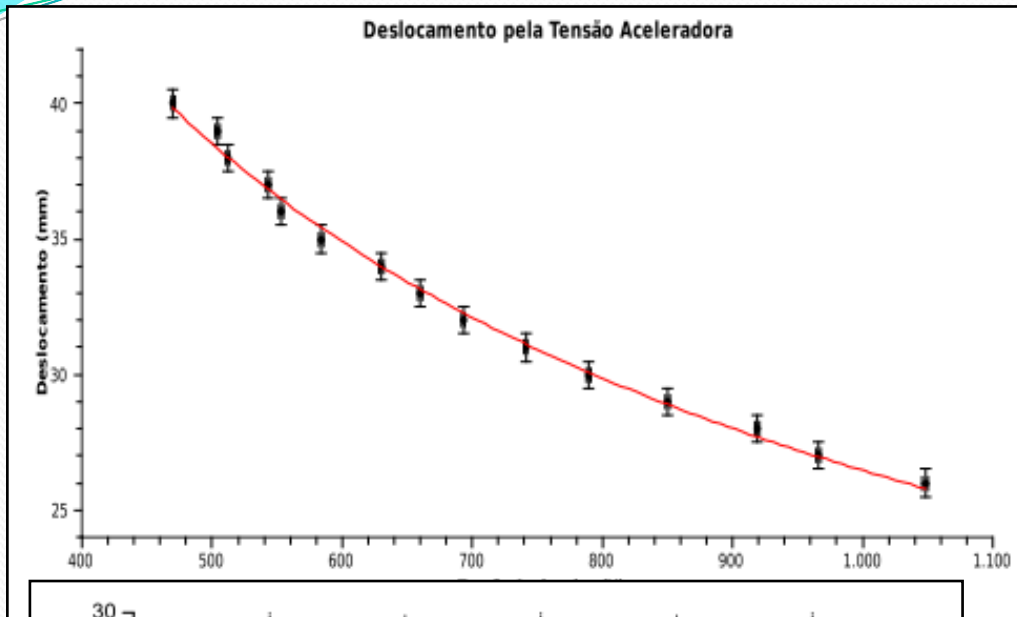
- Medir  $h$  em função de  $U_{ac}$  para  $I_B$  fixo.
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

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

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

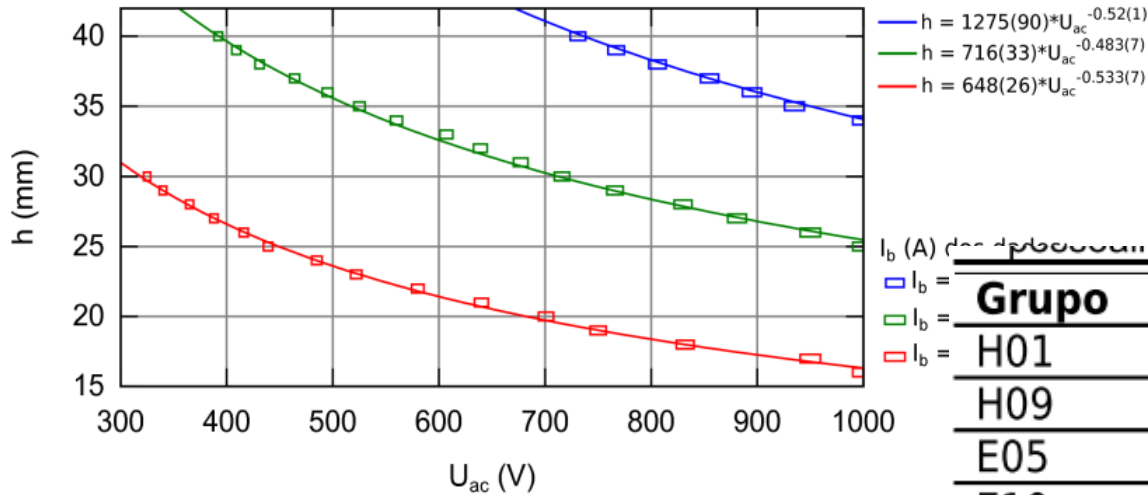


# H x Tensão de aceleração



# H02

Deslocamento x  $U_{ac}$



Grupo	Gama	Delta
H01	1.0528(46)	-0.542(9)
H09	1.007(19)	-0.63(3)
E05	1.01(1)	-0.531(6)
E10	1.092(19)	-0.455(12)
J03	1.006(3)	-1.11(15)
J12	1.025(5)	-0.566(5)

Comparando os resultados obtidos em todas as curvas com os obtidos pelos demais grupos, percebeu-se coerência com a maioria deles, apesar de alguns valores serem discrepantes (provavelmente devido a erros sistemáticos/problema no equipamento).

Gama teve o valor próximo a 1 e delta próximo a -0.5, mostrando assim uma dependência aproximadamente linear entre o deslocamento e a corrente, porém inversamente proporcional à raiz quadrada de  $U_{ac}$ .

# Problema com as medidas – H8

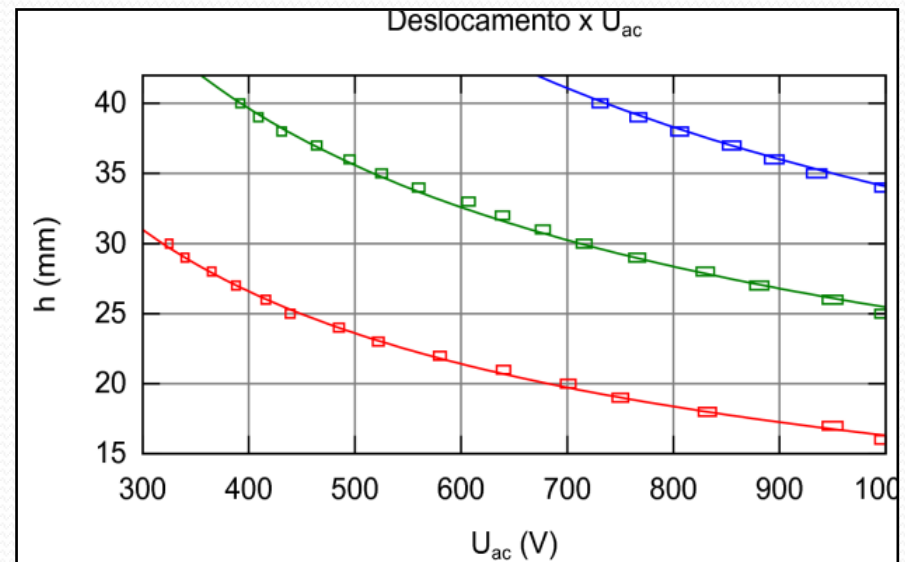
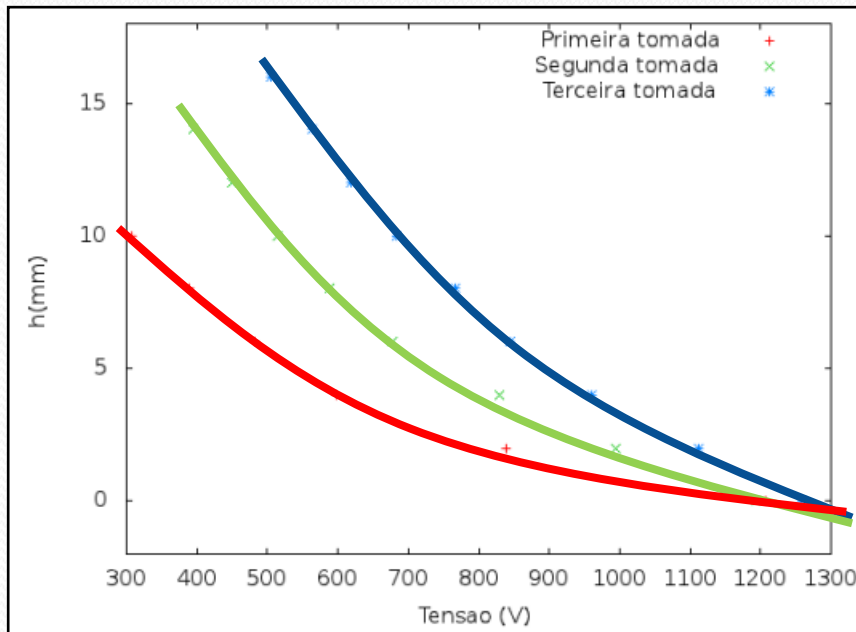
Queremos testar a hipótese de que a relação entre  $h$  e o potencial de aceleração  $U_{ac}$  seja da forma

$$h = U_{ac}^{\delta},$$

para tensões constantes entre as placas da ordem de 0,516 V, 1,062 V e 1,660 V, respectivamente.

Temos abaixo uma regressão para o valor de 1,660 V, cujo valor correto é 1,660(8) V. Essa foi nossa melhor tomada de medidas, e portanto foi a única para a qual fizemos a regressão; mesmo assim, o valor obtido do coeficiente  $\delta$  difere muito do obtido pelos nossos colegas. Obtivemos

$$\delta = -2,15(24).$$

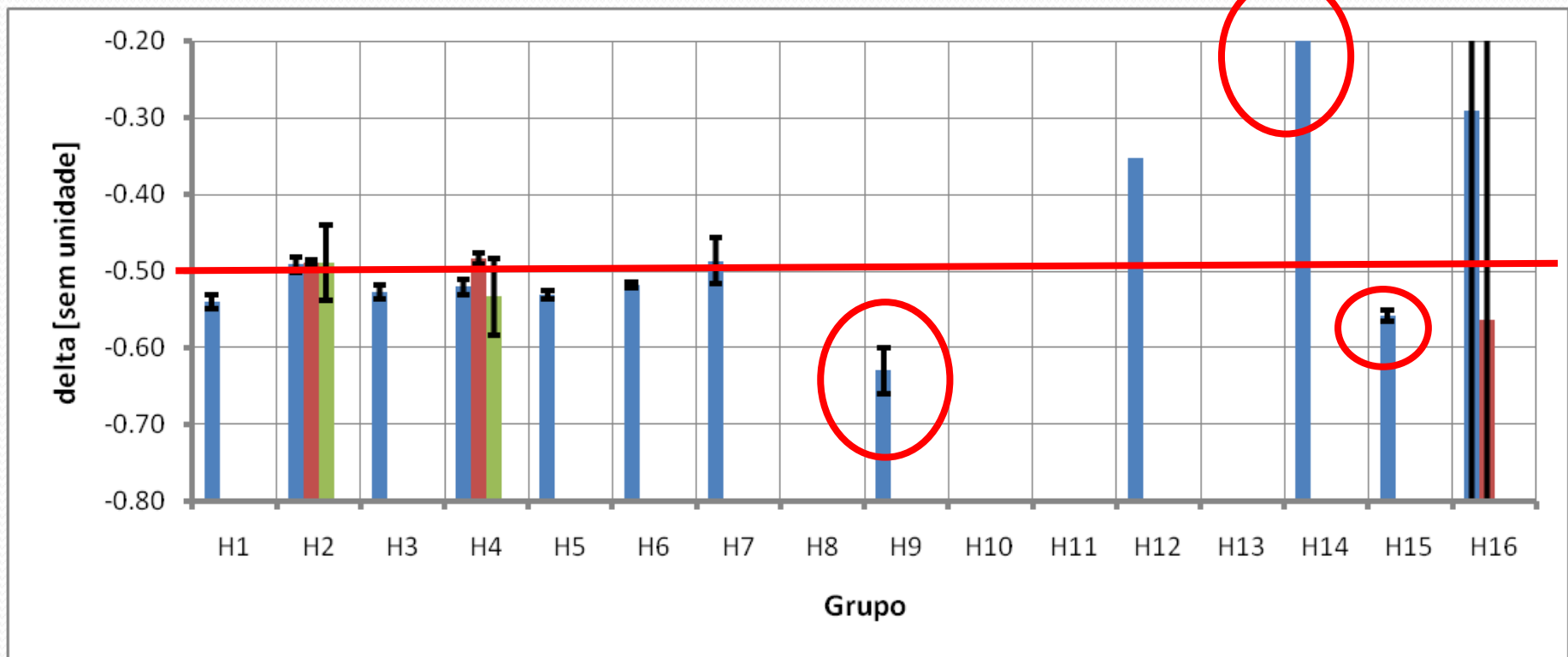


# H x velocidade

	$\delta$		$\delta$
H1	-0.54 (1)	H9	-0.63 (3)
H2	-.491 (10) -.489 (3) -.489(6)	H10	--
H3	-0.5269 (89)	H11	--
H4	-0.52 (1) -0.483 (7) -0.533 (7)	H12	<b>-0.351867</b>
H5	-0.5304 (54)	H13	--
H6	-0.518 (4)	H14	<b>1.0 10<sup>-14</sup></b>
H7	-0.4865 <b>(300)</b>	H15	-0.558 (7)
H8	<b>-2.15 (24)</b>	H16	<b>-0.29111 1.86052</b> <b>-0.56368 2.49457</b>

# H x velocidade

- Média =  $-0.5 \pm 0.6$  (std)
- Média (excluindo outliers) =  $-0.50 \pm 0.08$  (std)
- Exceto por alguns grupos, a maioria entrou valores compatíveis ( $3\sigma$ ) com  $\delta = -0.5$ , ou seja,  $h \sim 1/\text{raiz}(\text{Vac})$



# Como calcular o erro na corrente?

- Teve um grupo que dividiu as incertezas, usando a fórmula da lei de ohm!

A incerteza da Tensão nas placas  $\sigma_U$  é de  $0,5\% + 1d$ , e do resistor de  $10 \Omega$   $\sigma_R$  é de  $0,8\% + 1d$ , sendo assim a incerteza da corrente foi calculada segundo a equação 3.

$$\sigma_I = \frac{\sigma_U}{\sigma_R}$$

errado! é preciso fazer a propagação de incerteza!! vocês não podem dividir os dois erros...



- Deviam ter feito a propagação de erros:

$$\sigma_i = \sqrt{\left(\frac{\sigma_U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U * \sigma_R}{R^2}\right)^2} \quad (1)$$

$$i = \frac{V}{R} \quad \frac{\sigma_i}{i} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2}$$