



Física Experimental III

Notas de aula: www.if.usp.br/suaide

LabFlex: www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

Aula 12

Prof. Alexandre Suaide

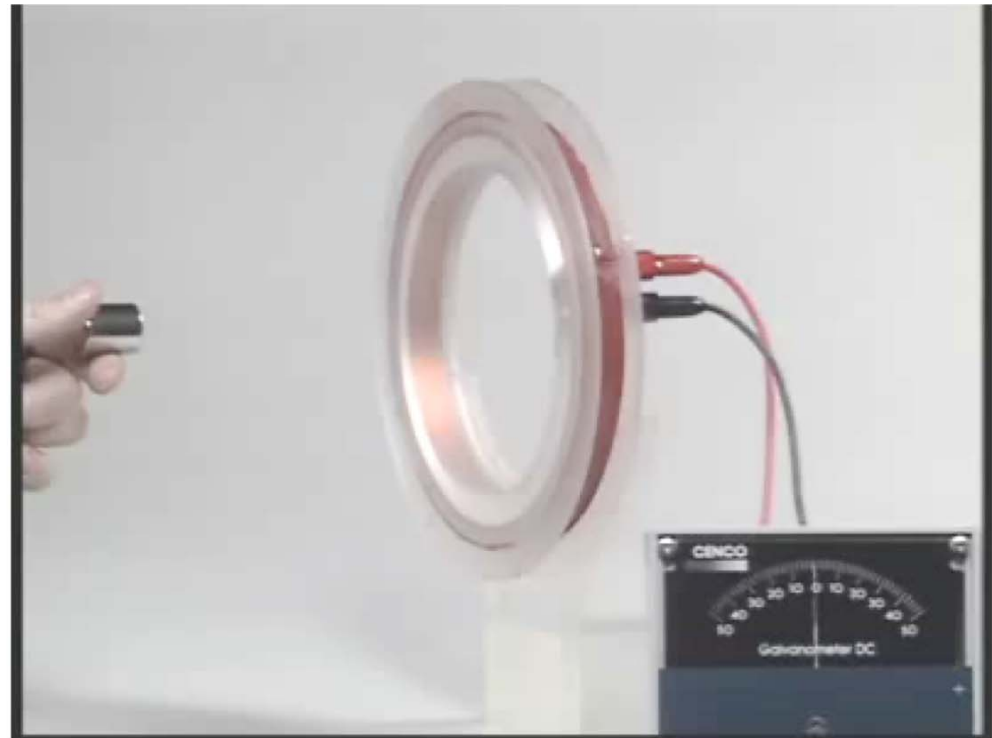
Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

Lei de Faraday

- A Lei de Faraday estabelece como uma variação de fluxo magnético pode induzir um potencial elétrico.

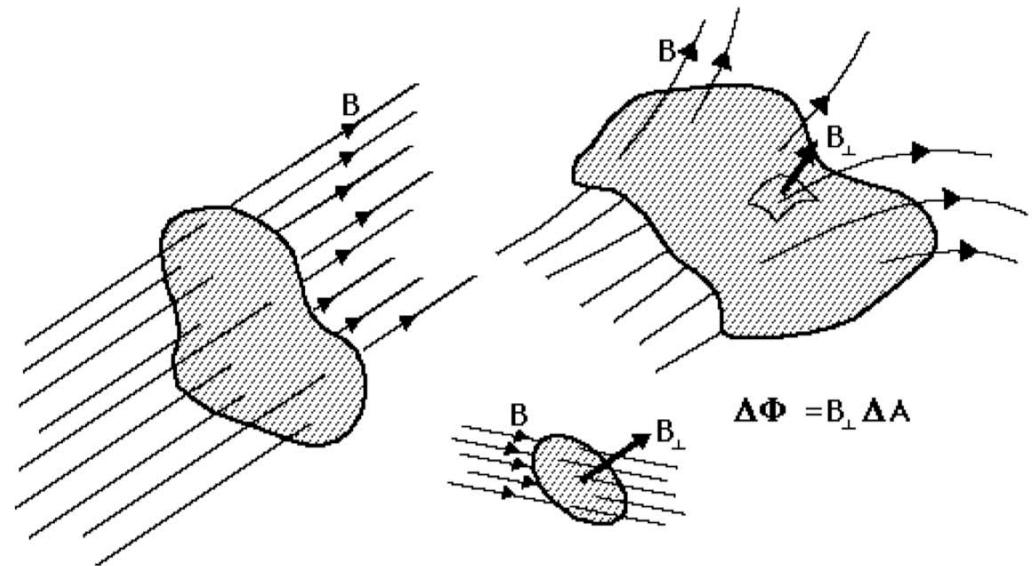
$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$



Fluxo magnético

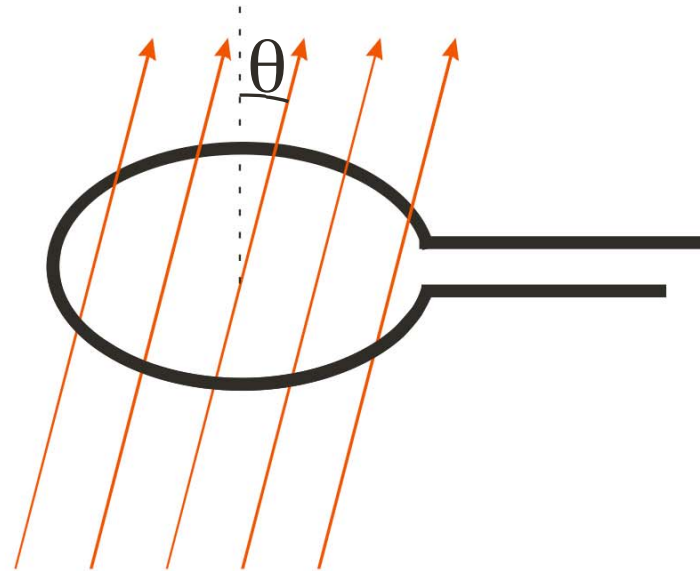
- Depende da intensidade do campo e da área transversal
- Variação do fluxo magnético
 - Campo varia e/ou
 - Área varia

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{a}$$



Fluxo magnético sobre uma espira ideal

- Espira circular de área A e N espiras
- Campo uniforme e constante na espira
 - Espira suficientemente pequena para supor que o campo não varia
- Ângulo entre a espira e as linhas de campo = θ



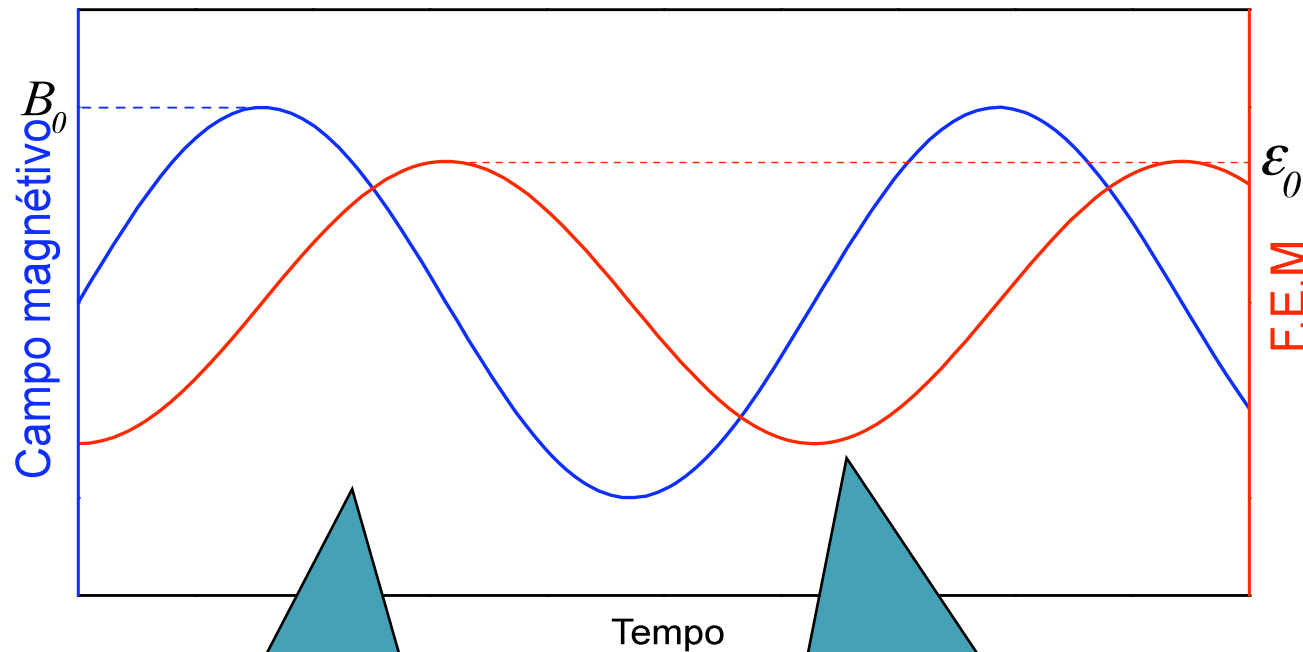
$$\phi_B = B(NA)\cos(\theta)$$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} = -A\cos(\theta)\frac{dB}{dt} + BA\sin(\theta)\frac{d\theta}{dt}$$

Campo magnético e F.E.M.

$$B = B_0 \sin(\omega t)$$

$$\varepsilon = -NA\omega B_0 \cos(\omega t)$$



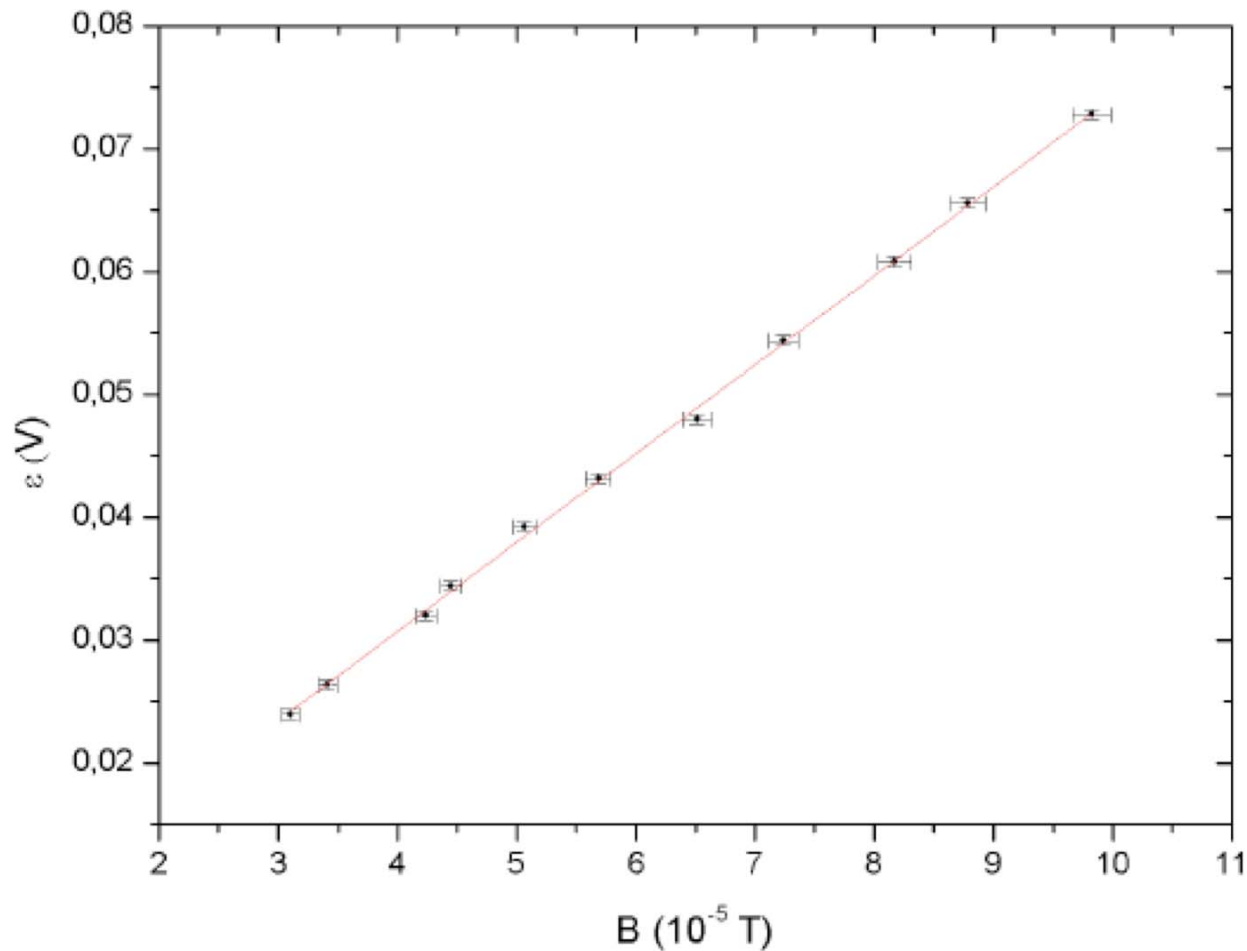
A F.E.M. é defasada de $\pi/2$ em relação ao campo magnético

A amplitude da F.E.M. depende das características geométricas mas depende também da frequência de oscilação do campo

Campo magnético e F.E.M.

$$B = B_0 \sin(\omega t)$$

$$\varepsilon = -NA\omega B_0 \cos(\omega t)$$



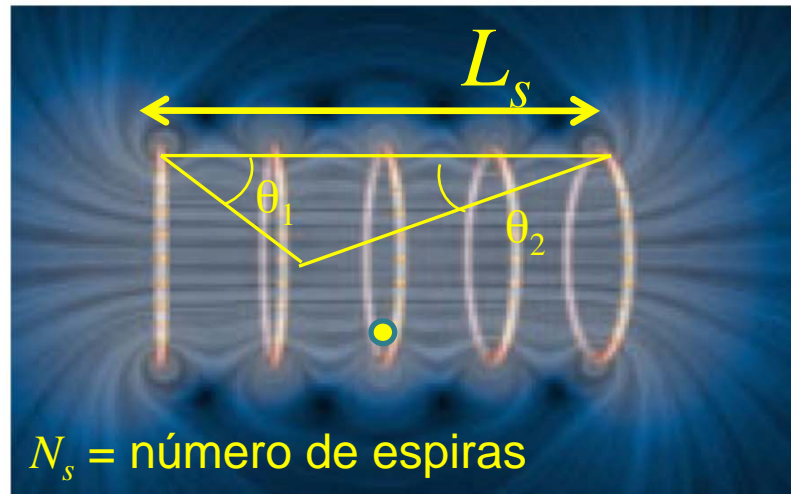
Questão interessante:

- No cálculo da área efetiva da bobina sonda a expressão a que cheguei depende do cosseno de dois ângulos internos ao solenóide de referência, não tenho a medida desses ângulos e também não tenho a medida da posição da bobina sonda no interior do solenóide, há alguma outra maneira de efetuar esse cálculo ?
- Pergunta: Como resolver este problema?
 - Resposta: Com que precisão você sabe onde colocou a bobina? 10 cm? 15 cm?

Questão interessante:

- Vamos supor que a posição da bobina seja:
 - $Z = (40 \pm 15)$ cm porque eu não fiz a medida de posição
- Como esta incerteza afeta o campo calculado?

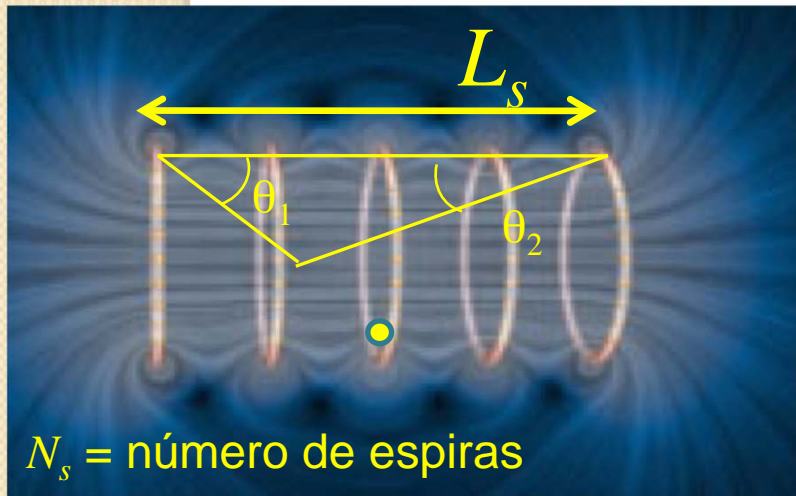
$$B(t) = \frac{\mu_0 N_s}{2L_s} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \cdot i(t)$$



Questão interessante:

- Vamos supor que a posição da bobina seja:
 - $Z = (40 \pm 15)$ cm porque eu não fiz a medida de posição
- Como esta incerteza afeta o campo calculado?

$$B(t) = \frac{\mu_0 N_s}{2L_s} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \cdot i(t)$$



- $L_s = 80$ cm, $R = 8,2$ cm
 - $Z = 40$ cm
 - $\cos \theta_1 + \cos \theta_2 = 1,95$
 - $Z = 25$ cm
 - $\cos \theta_1 + \cos \theta_2 = 1,93$
- Então,
 - $\sigma_B/B \sim (1,95 - 1,93)/1,95 \sim 1\%$

Questão interessante:

- no cálculo da área efetiva da bobina sonda a expressão a que cheguei depende do cosseno de dois ângulos internos ao solenóide de referência, não tenho a medida desses ângulos e também não tenho a medida da posição da bobina sonda no interior do solenóide, há alguma outra maneira de efetuar esse cálculo ?
 - Resposta: Mesmo considerando uma incerteza muito grande na posição da bobina sonda no interior do solenóide, a incerteza no campo magnético calculado é muito pequena

Questão interessante:

- Checando isto experimentalmente

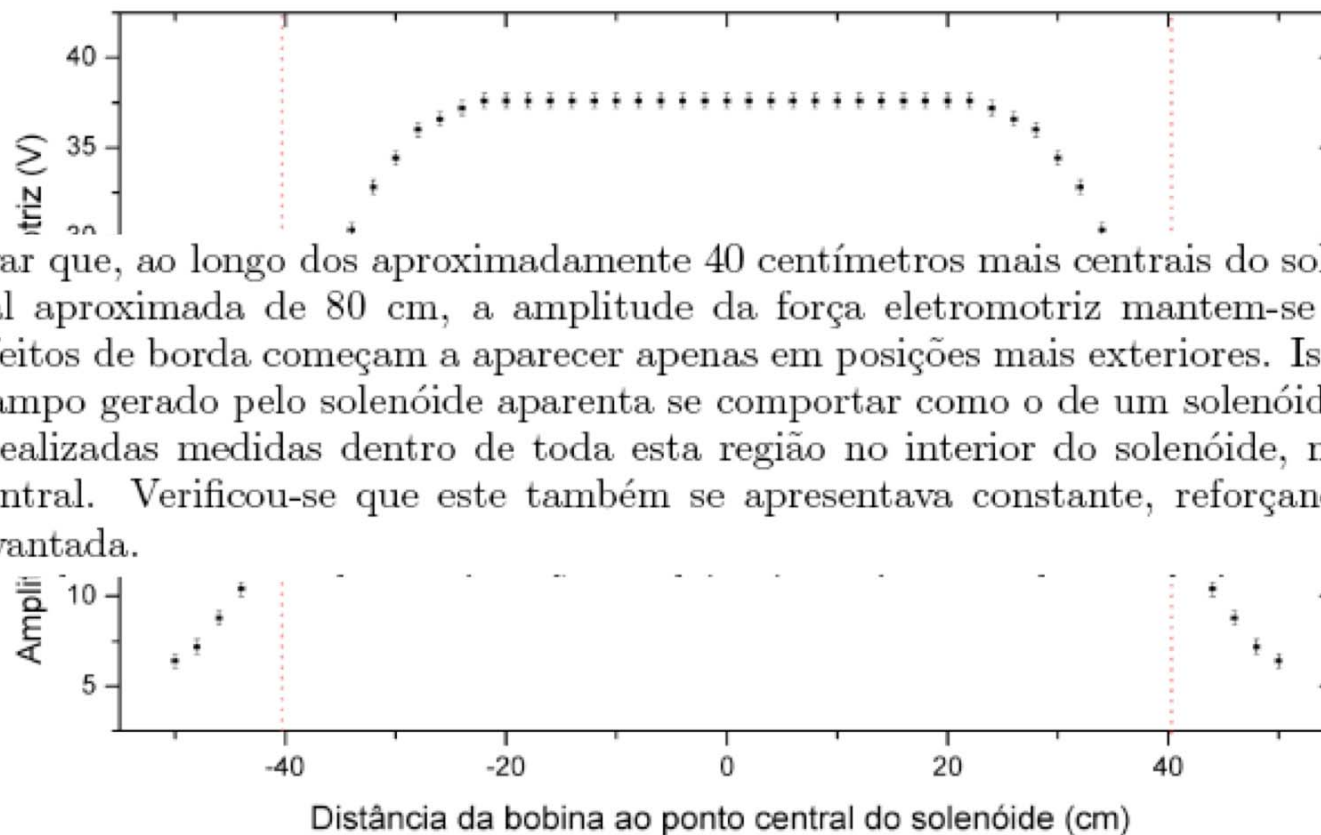
Na tom
solenóide

Devido a ξ
procurou-se

Pode-se observar que, ao longo dos aproximadamente 40 centímetros mais centrais do solenóide, tendo este largura total aproximada de 80 cm, a amplitude da força eletromotriz mantém-se praticamente constante, e os efeitos de borda começam a aparecer apenas em posições mais exteriores. Isso sugere que, nesta região, o campo gerado pelo solenóide aparenta se comportar como o de um solenóide infinito.

Foram assim realizadas medidas dentro de toda esta região no interior do solenóide, não apenas ao longo do eixo central. Verificou-se que este também se apresentava constante, reforçando a hipótese anteriormente levantada.

captação, e
varios ponto
variável de a

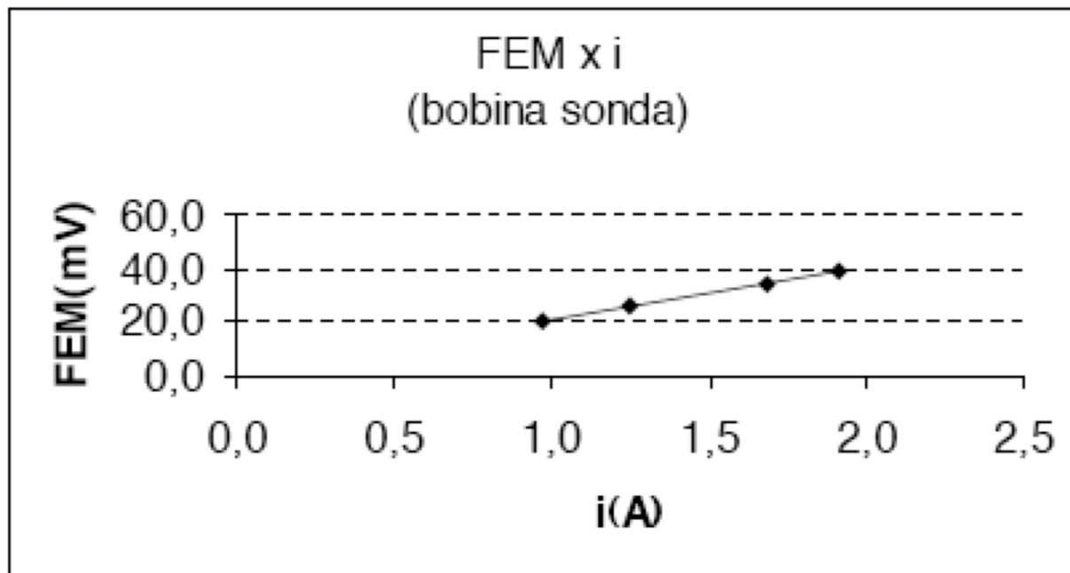


do
do
solenóide,
al, pelo

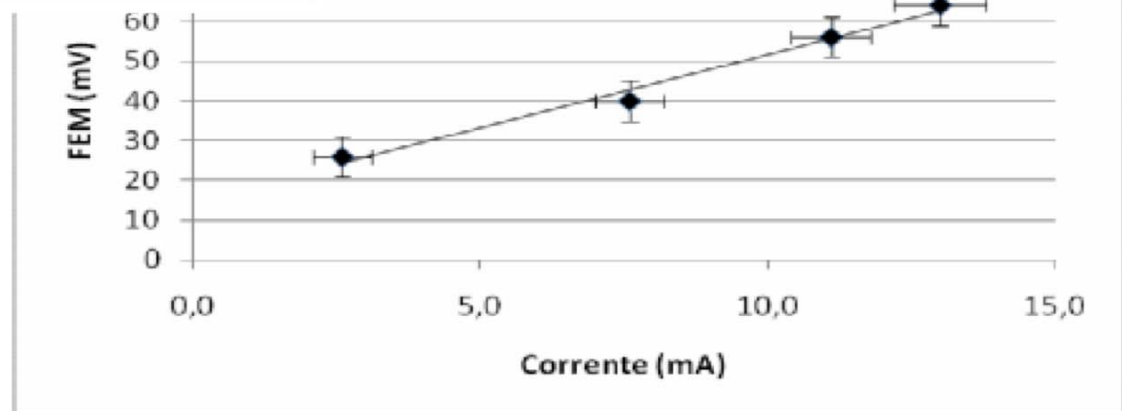
o 1, em
almente
tra 3.

Resultados

- Ainda a questão de incertezas...

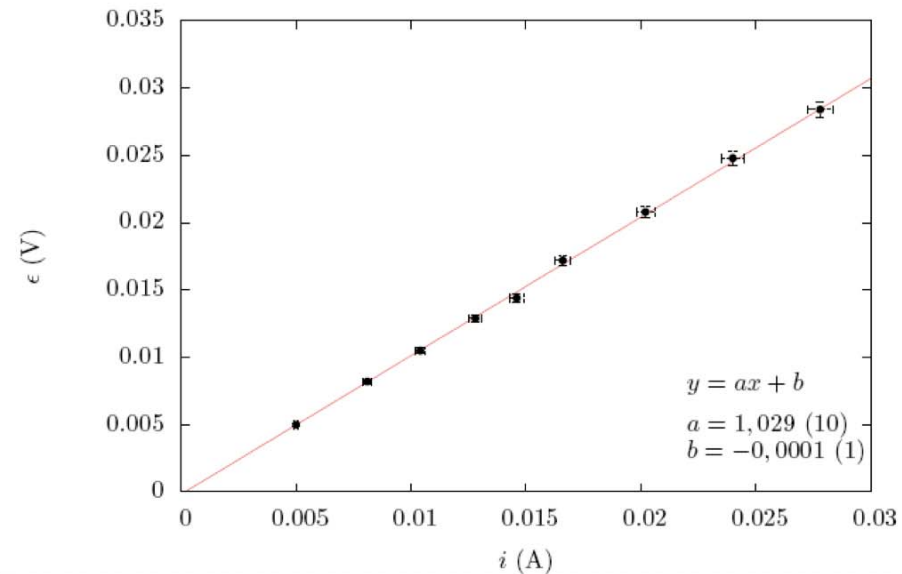
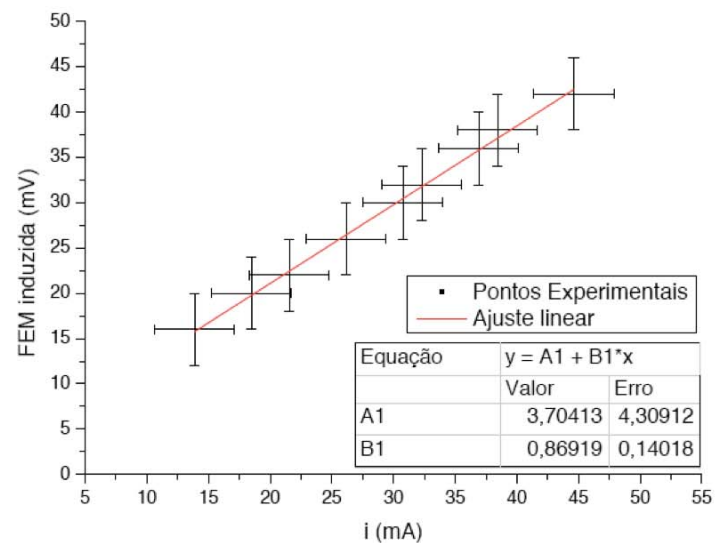
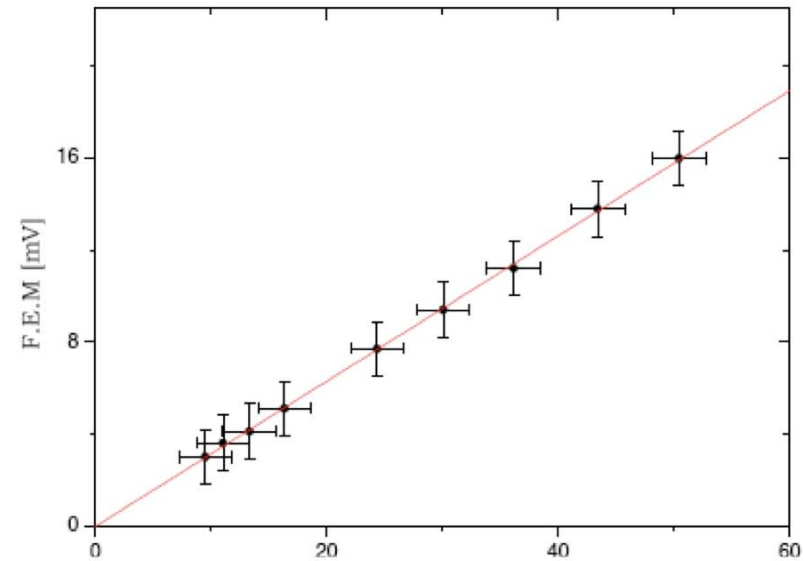
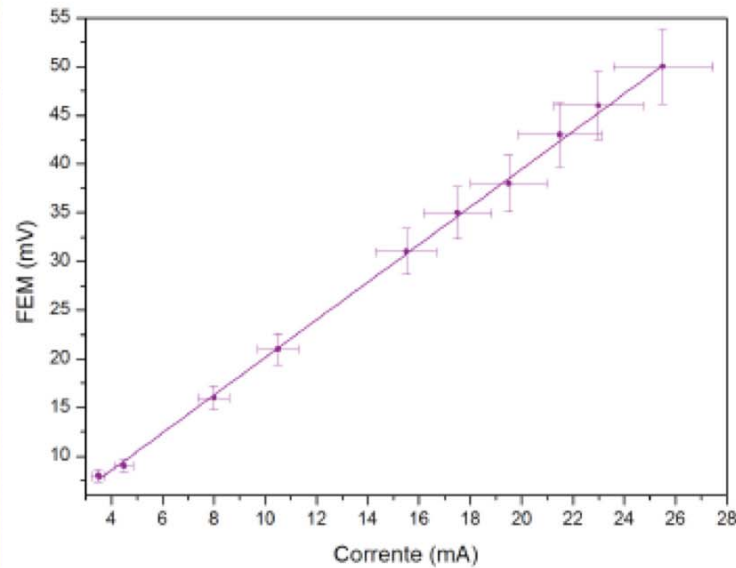


FEM x corrente



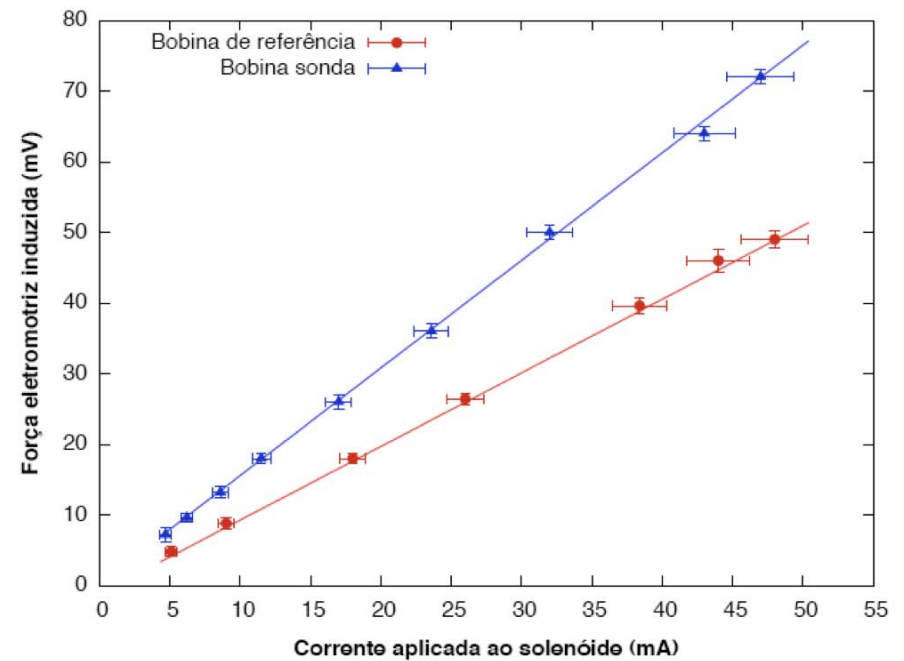
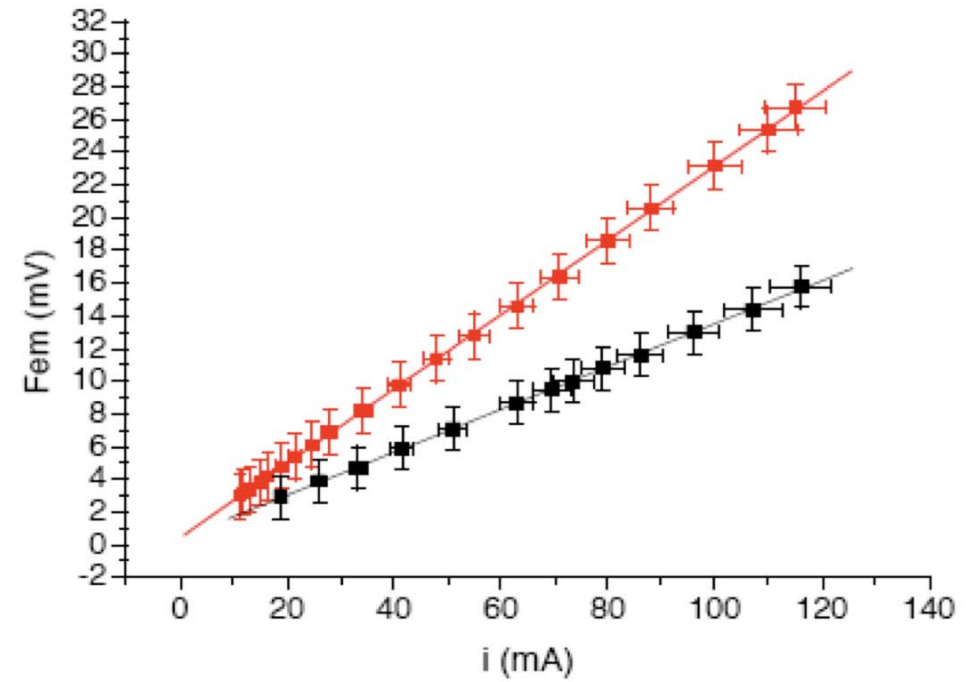
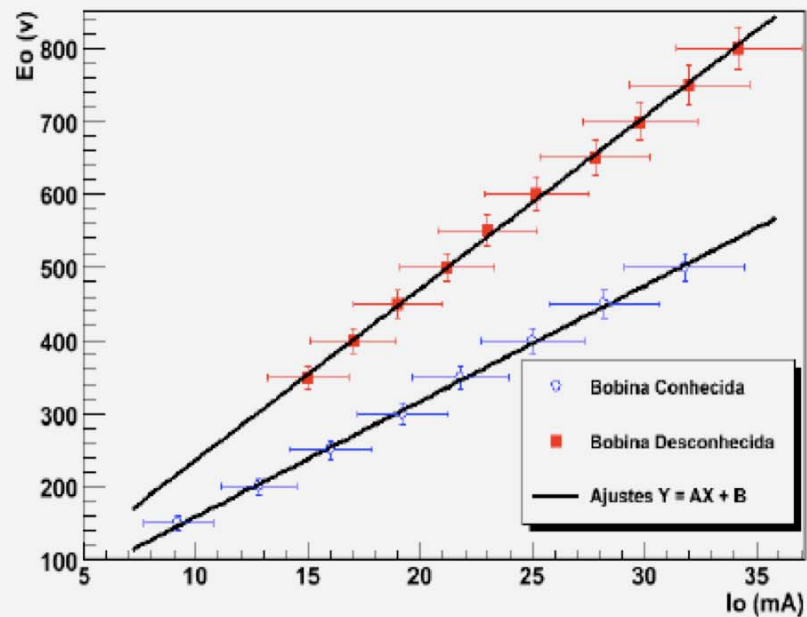
Resultados

- Ainda a questão de incertezas...



Resultados

Relação entre a Corrente Geradora do Campo Magnético I_0 e a f.e.m induzida E_0



Resultados

Gráfico 1: Corrente x F.E.M. - Bobina Conhecida

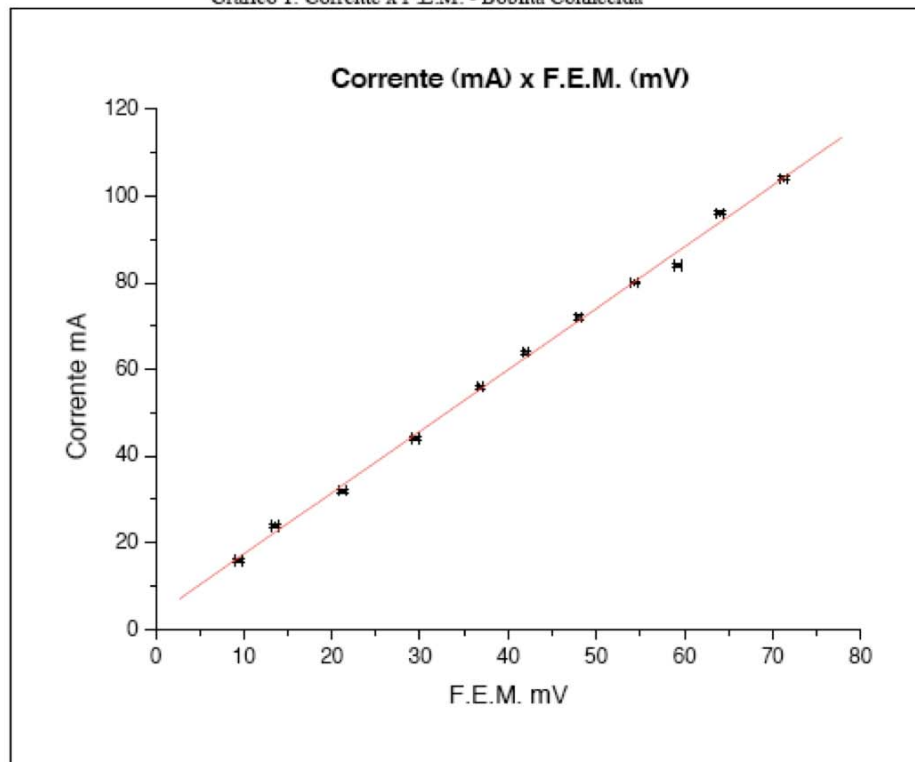
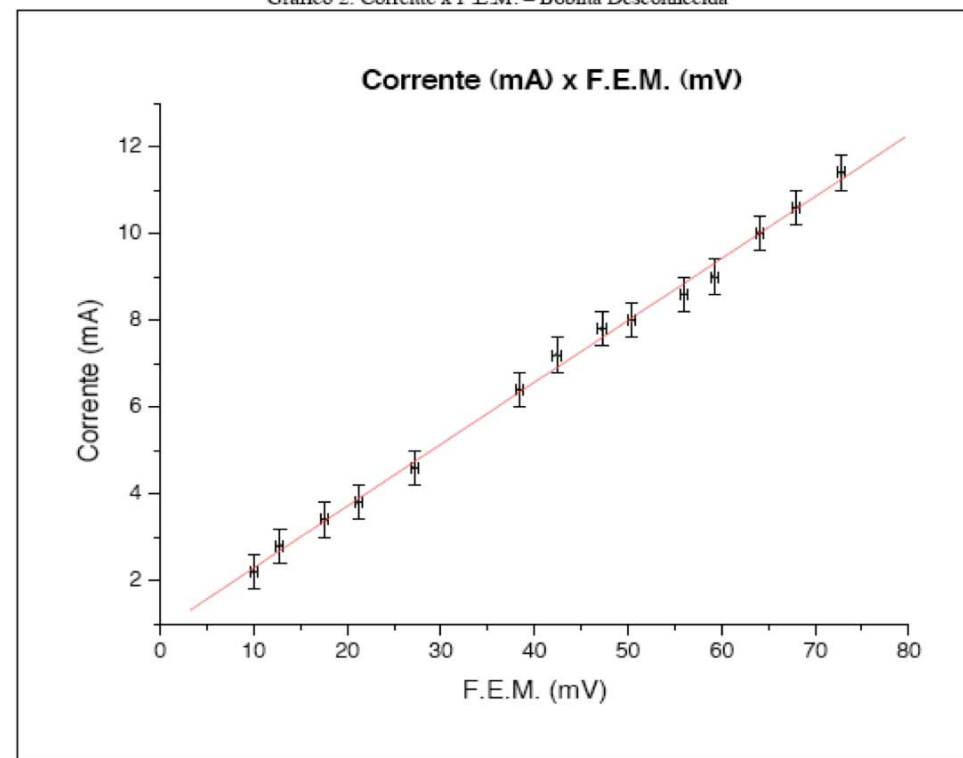


Gráfico 2: Corrente x F.E.M. - Bobina Desconhecida

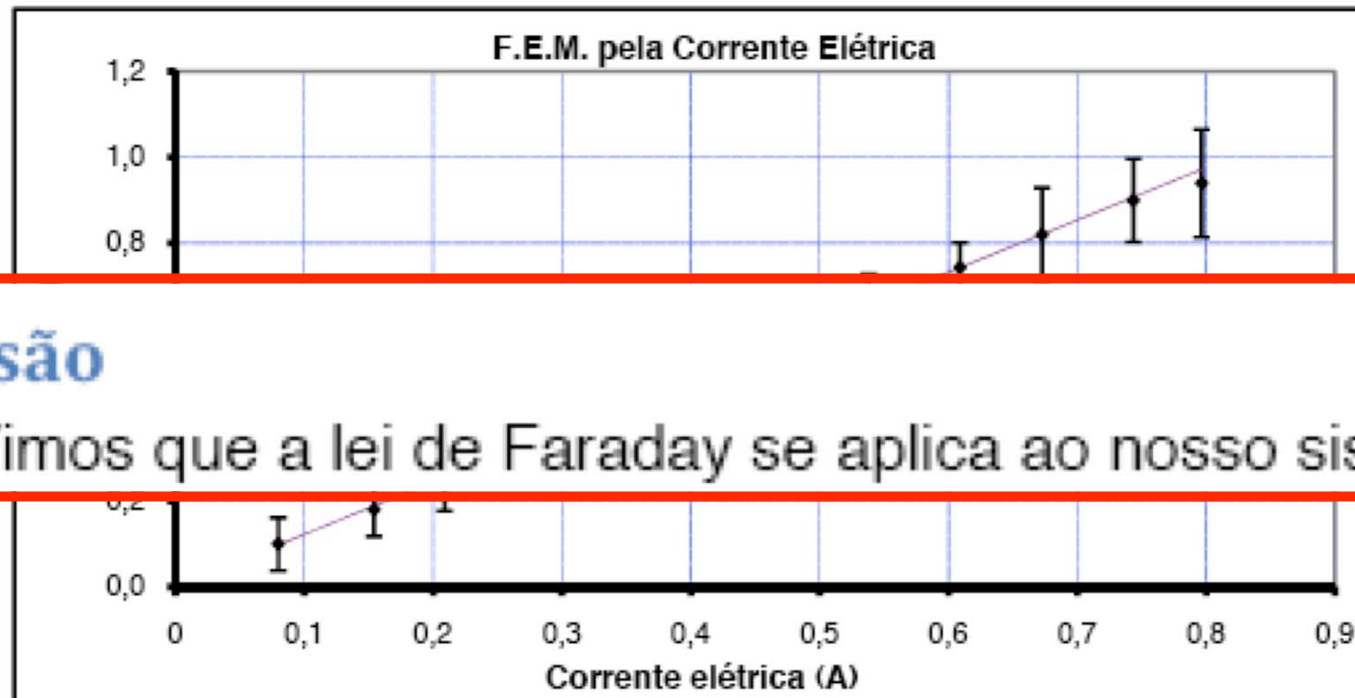


$$(9,4 \pm 0,5) \times 10^{-2} m^2$$

$$(9,5 \pm 0,5) \times 10^{-3} m^2$$

No caso a área efetiva para a bobina desconhecida calculada a partir dos ajustes é menor que a bobina desconhecida o que parece ser bem razoável, pois visualmente as bobinas eram diferentes em tamanho, a bobina desconhecida é menor que a da bobina conhecida.

Resultados



Conclusão

Vimos que a lei de Faraday se aplica ao nosso sistema.

Gráfico 1 – Reta ajustada para a equação 01 para a bobina que conhecemos a dimensão

Obtivemos o coeficiente angular igual a $1,22(10)V/A$, onde o coeficiente é representado pelo termo entre parêntese da equação 01. Fomos capazes de calcular a área efetiva da bobina (NA) onde tivemos como resultado $0,68(5) m^2$ comparando o valor experimental da área efetiva e o valor calculado da área efetiva ($0,093(18) m^2$) podemos notar que existi uma incompatibilidade nos resultados obtidos, isso deve ter ocorrido pelo fato da área efetiva calculada pelo experimento pode variar com qualquer outra grandeza da equação 01, já para a área efetiva ela só depende das dimensões da bobina.

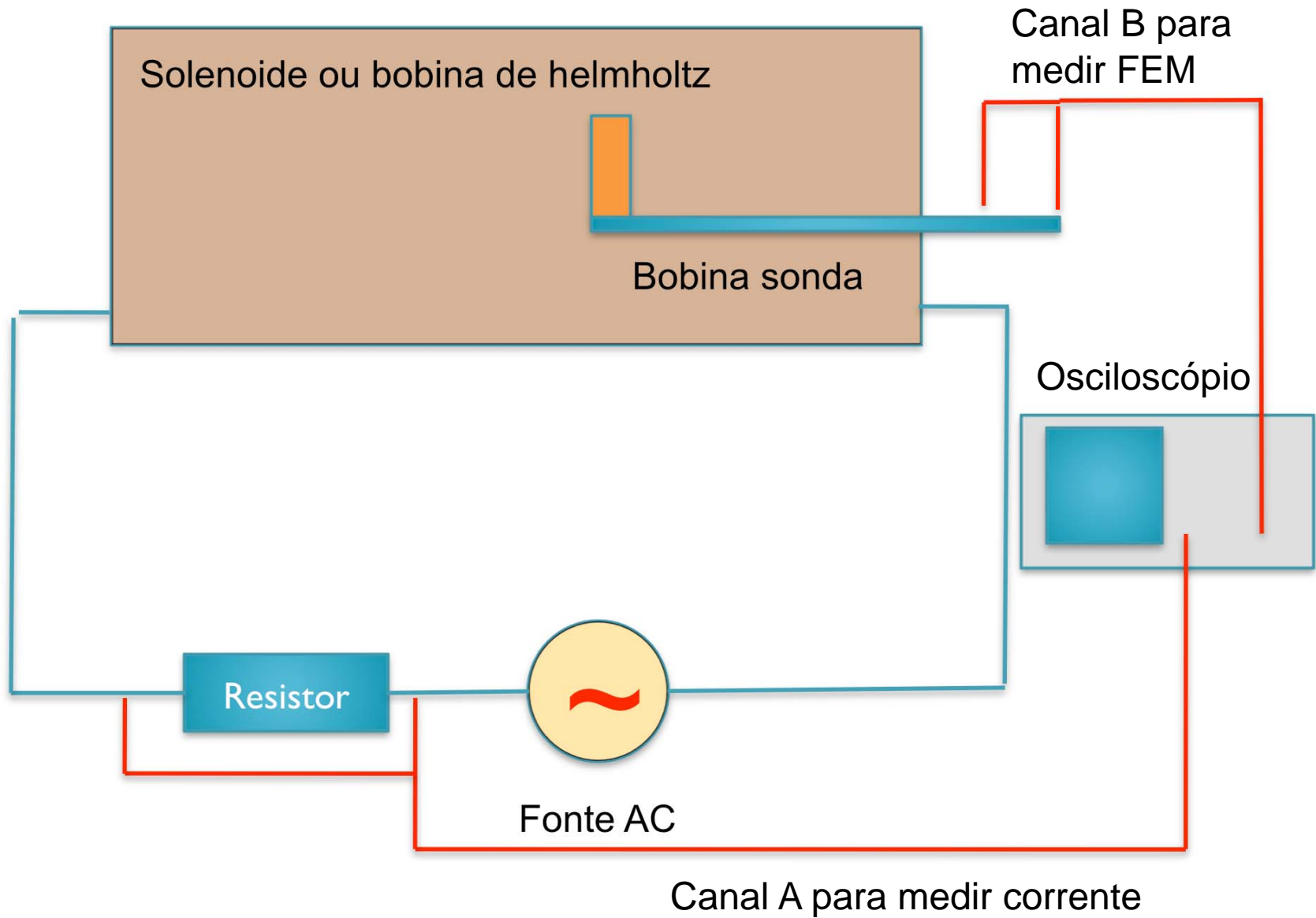
Comparação entre os grupos

A_1 (geo) (10^{-2} m^2)	A_1 (medida) (10^{-2} m^2)	A_{sonda} (10^{-2} m^2)
$9,05 \pm 0,36$	$7,42 \pm 0,93$	$12,8 \pm 1,6$
1,1	1,5	17 ± 1
$9,58 \pm 0,19$	$9,29 \pm 0,39$	$13,58 \pm 0,51$
$9,05 \pm 0,09$	$8,95 \pm 0,17$	$13,15 \pm 0,15$
9,3	$9,4 \pm 0,3$	$20,3 \pm 0,8$
9,3	68 ± 5	$26,4 \pm 1,2$
0,264 (A)	$0,279 \pm 0,013$ (A)	$2,4 \pm 0,4$
$9,3 \pm 0,2$	$9,7 \pm 0,5$	$14,4 \pm 0,8$
$9,3 \pm 0,5$	$9,4 \pm 0,5$	$0,95 \pm 0,05$
$9,7 \pm 1,7$	$10,6 \pm 1,7$	$21,6 \pm 1,6$
$9,6 \pm 0,4$	$9,64 \pm 0,18$	$14,3 \pm 2,2$
9,3	$9,60 \pm 0,17$	$15,53 \pm 0,10$
9,1	$0,50 \pm 0,08$	$17,9 \pm 1,4$

Objetivos para esta semana

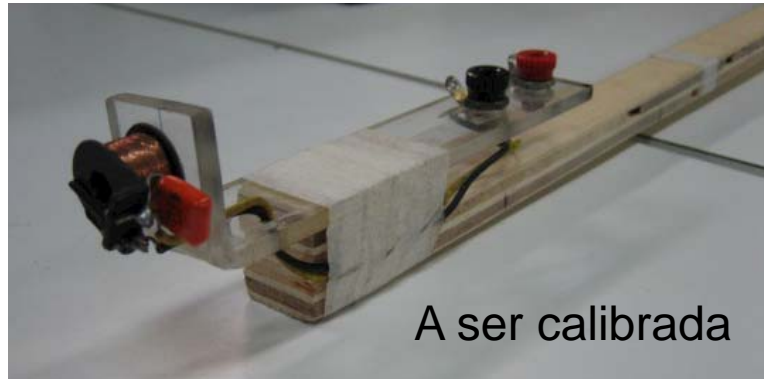
- Mapear campo magnético de um solenóide, nas bordas, e de uma bobina de Helmholtz
 - Comparar resultados com previsões teóricas
 - Com base no mapeamento e comparações teóricas, discutir a uniformidade do campo gerado nos dois casos

Arranjo experimental



○ Equipamento básico do experimento

- Bobinas sonda



- Solenóide de referência

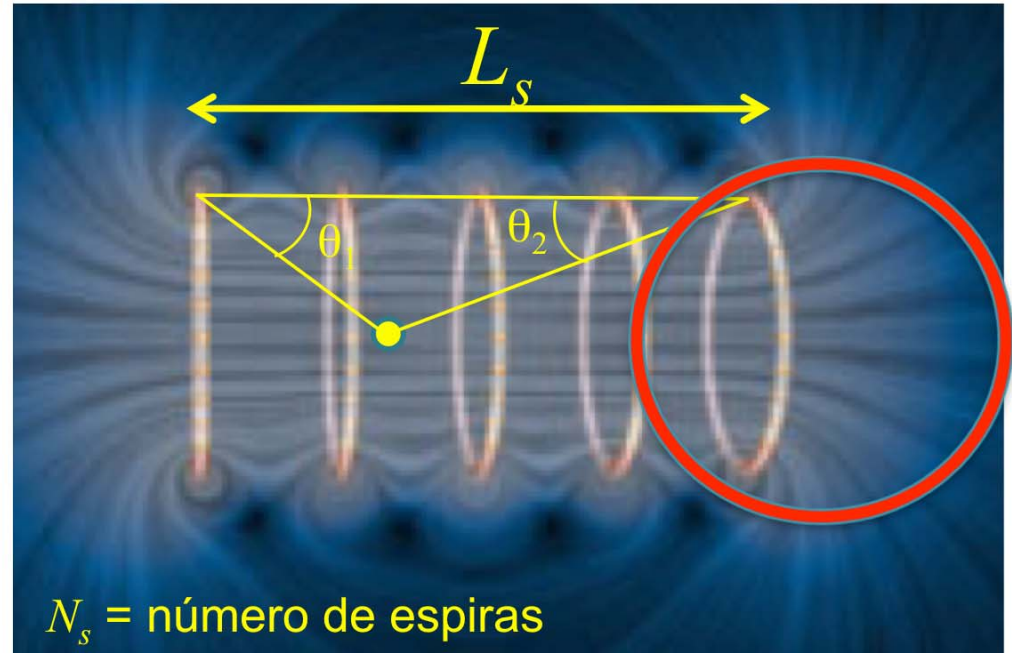
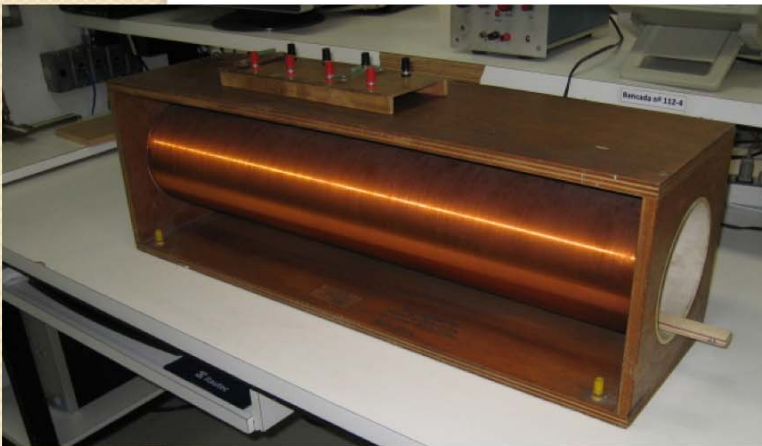


- Bobina de Helmholtz



E o campo magnético para induzir a F.E.M.?

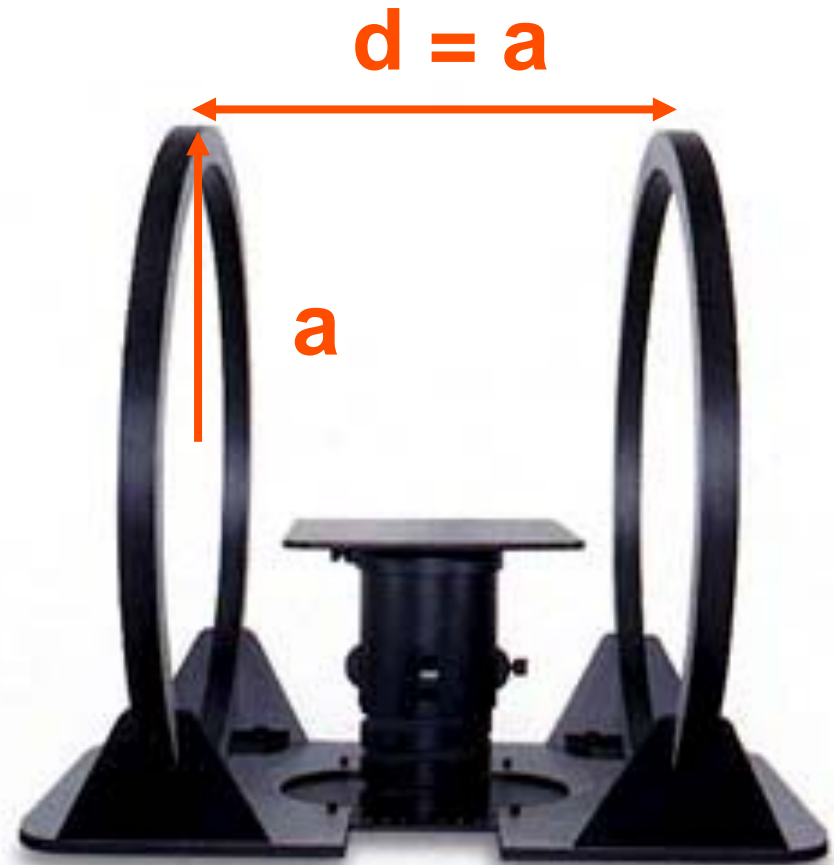
- Solenóide finito $B(t) = \frac{\mu_0 N_s}{2L_s} (\cos\theta_1 + \cos\theta_2) \cdot i(t)$



- Campo relativamente constante no seu interior. E nas bordas?

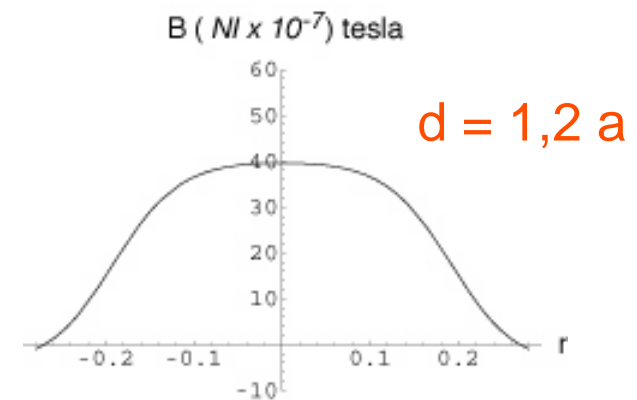
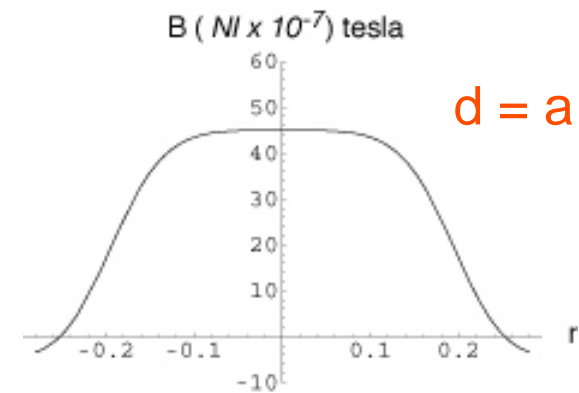
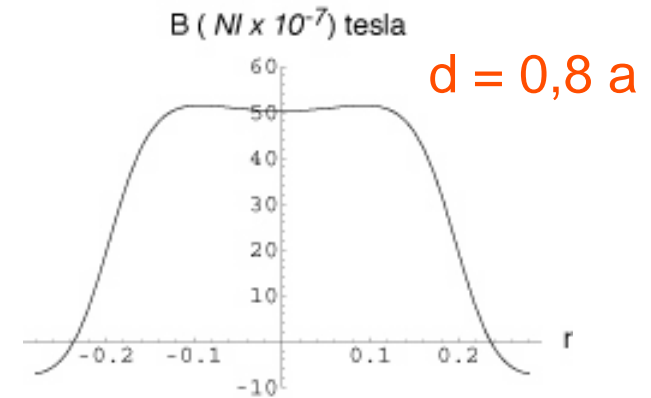
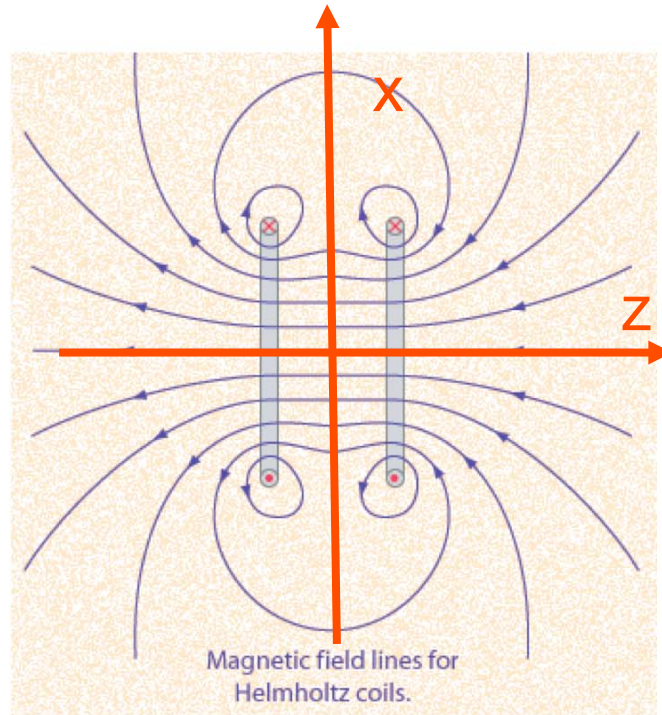
Bobina de Helmholtz

- Conjunto de duas bobinas montadas em uma geometria especial de modo a gerar um campo quase uniforme no interior da bobina
 - Distância entre as bobinas é igual ao raio das mesmas

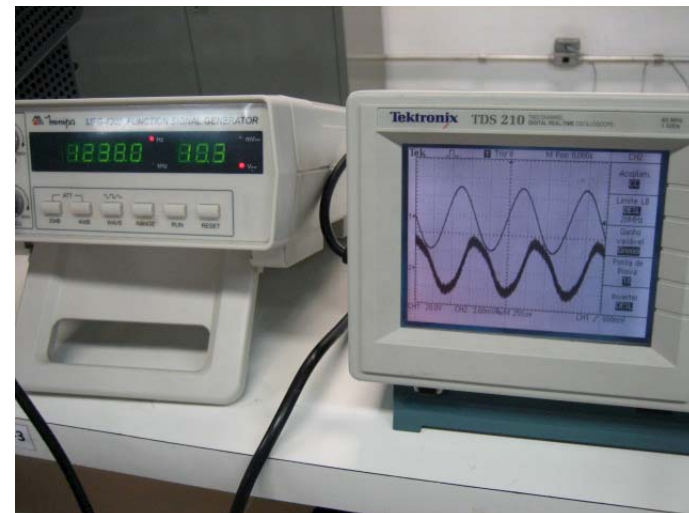
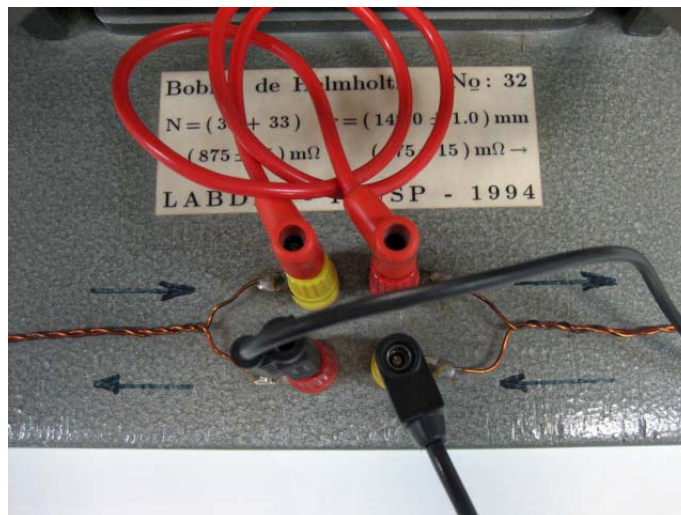
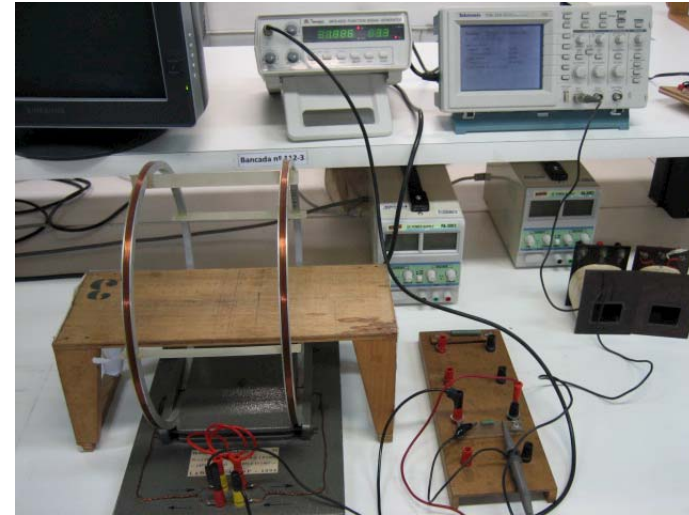
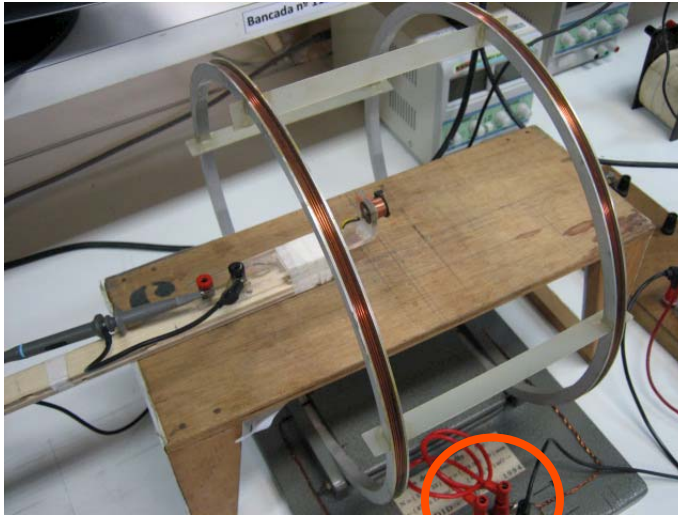


Campo de uma bobina de Helmholtz

- Campo ao longo do eixo-z passando pelo centro da bobina
 - Campo aproximadamente uniforme entre as bobinas



Arranjo experimental para medir o campo da bobina de Helmholtz



Tarefas da semana

- Mapear o campo magnético ao longo do eixo de simetria (z) de um solenóide e de uma bobina de Helmholtz
 - Use a bobina sonda que foi calibrada na aula passada
 - O que devemos fazer se não for possível utilizar a mesma bobina sonda?
 - Não se limitem somente dentro do solenóide (ou bobina de Helmholtz). Meça fora delas também. É aí que está a parte interessante
- Comparar (graficamente) o valor experimental com previsões teóricas para o campo ao longo de z
 - No caso da bobina de Helmholtz, mapear também no eixo- x
 - Pode usar ou teoria ou femm. Tanto o solenóide quanto a B.H. Podem ser resolvidos teóricamente
 - Dica: trate o campo da B.H. Como a superposição do campo de duas bobinas simples, uma deslocada da outra