

# T3 B - Grupo - PLS - G2

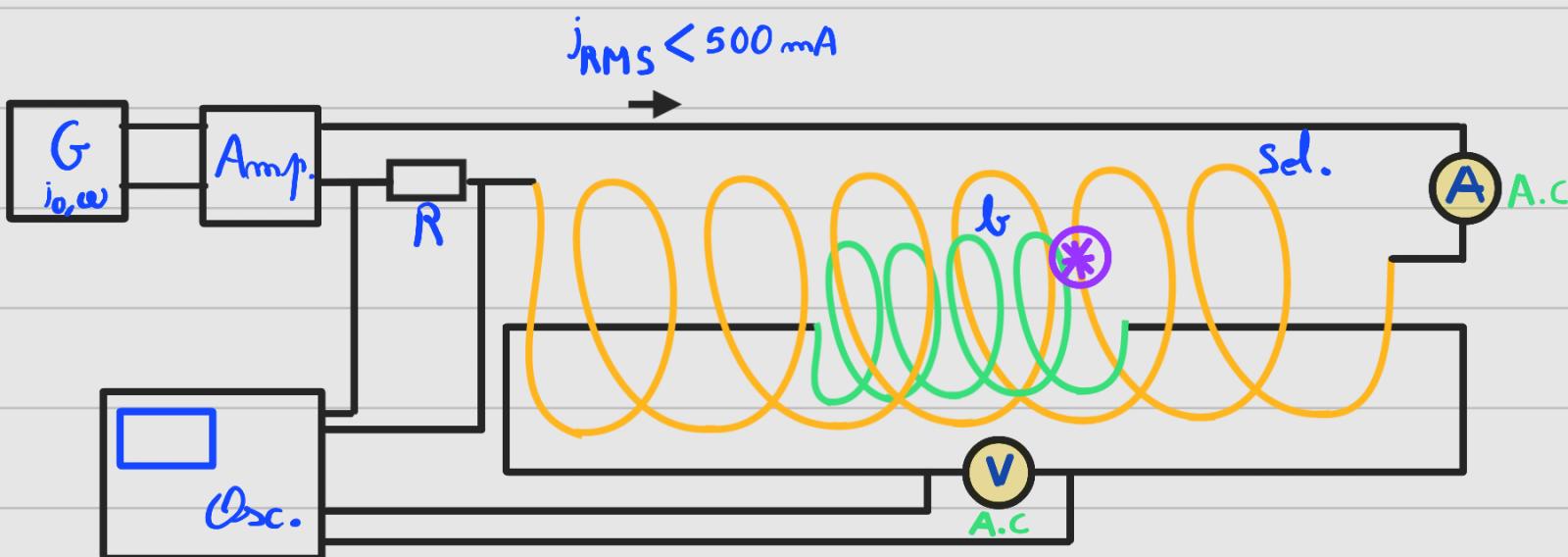
## Estudo da Indução Magnética

19.8

### → Objetivos

- Verificam a equação  $V_{E0} = \mu_0 \frac{N_m S \cos \theta_{cujo}}{L}$  que estabelece a relação entre a amplitude do sinal de tensão  $V_{E0}$  induzido na bobina de prova e as características das bobinas e da corrente;
- Determinam experimentalmente o valor da permeabilidade do varjão,  $\mu_0$ ;

### → Esquema experimental



\* Suportes partidos. Ter em atenção! (eixos das 2 bobinas têm que ser coincidentes)

## → Cuidados a ter

- Liga-se o gerador em último lugar e esperar 5 minutos para que não haja drift no sinal do osciloscópio;
- Incluir um amplificador de baixa impedância de saída. Ligar o terminal “-” (preto) do amplificador ao lado do solenoide que tem a resistência em série e o “+” (vermelho) à outra extremidade com o amperímetro em série;
- Os multímetros mostram os valores eficazes  $i_0/\sqrt{2}$  e  $V_{eo}/\sqrt{2}$ , no entanto o osciloscópio fornece toda a informação incluindo os valores RMS.
- A bobina de prova tem de ter um comprimento pequeno relativamente ao do solenoide e deverá ser colocada no interior do solenoide, centrada e com o eixo alinhado com o do solenoide. Ter atenção que as bases estão partidas.

## → Procedimento

- Estudar  $V_{eo}$  em função dos seguintes parâmetros :

1.  $V_{eo}$  em função de  $\omega$  (bob. 1) (Obrigatório!)
2.  $V_{eo}$  em função de  $i_0$  (bob. 1) (Obrigatório!) ( $f \sim 1 \text{ kHz}$ )
3.  $V_{eo}$  em função de  $n$  (bob. 1, 4, 5, 7, 8)

4. V<sub>E0</sub> em função de S (bob. 1, 2, 3)

5. V<sub>E0</sub> em função de cos θ (bob. 6)

- Determinar  $\mu_0$  para cada caso.

→ Equações

$$V_{E0} = \mu_0 \frac{Nm \cos \theta \omega j_0}{L} \quad (1)$$

- V<sub>E0</sub>: amplitude do sinal de tensão  $V_E = V_{E0} \cos(\omega t)$  imediado na bobina de prova;
- j<sub>0</sub>: amplitude de sinal de corrente  $j = j_0 \sin(\omega t)$  que percorre o solenoide;
- $\mu_0$ : permeabilidade magnética do varjão ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ );
- N: número de espiras do solenoide;
- m: número de espiras da bobina de prova;
- S: área da seção reta da bobina de prova ( $S = \pi D^2/4$ , com diâmetro D);
- θ: ângulo entre os eixos do solenoide e da bobina de prova;
- ω: frequência angular do sinal do gerador;
- L: comprimento do solenoide

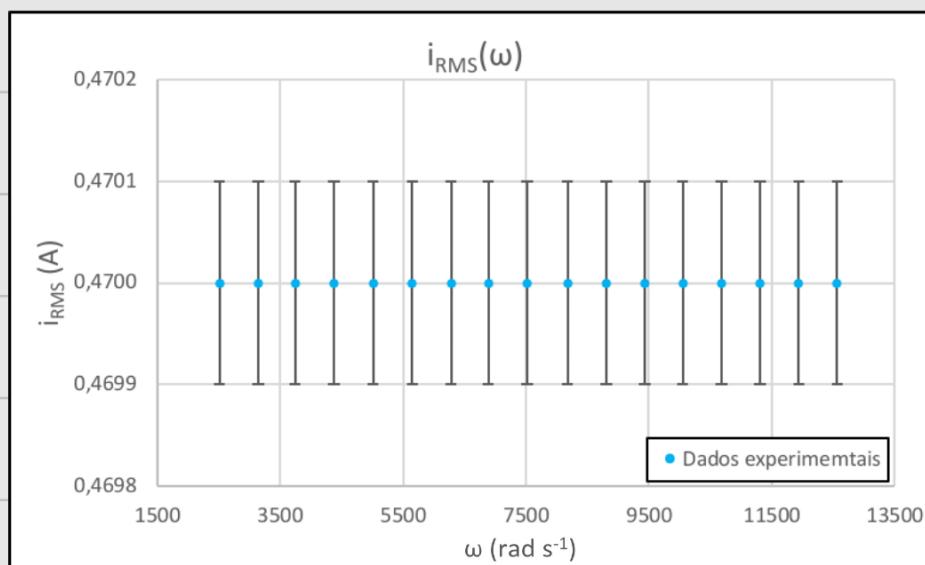
gl Sat  $\propto$  MB<sup>+</sup>

## → Análise dos dados

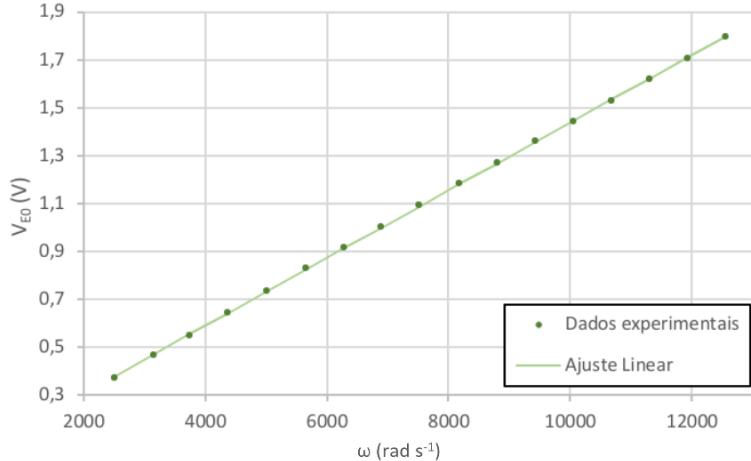
Verificou-se que, em toda a experiência, a diferença de fase entre os sinais de entrada e de saída no osciloscópio se mantinha  $\pi/2$ , independentemente do parâmetro que se variava. Isto deve-se ao facto de VEO depender da derivada temporal da corrente no solenoide.

## → VEO em função de $\omega$

Nesta primeira parte do trabalho, pretende-se estudar o comportamento de VEO em função de  $\omega$ . Para isso era necessário manter todas as outras variáveis constantes, especialmente a corrente. Para  $i_0 = (0,66 \pm 0,01)A$ , foi feito o gráfico V em função de  $\omega$ , para dados obtidos no osciloscópio e no voltímetro.



Graf. 1

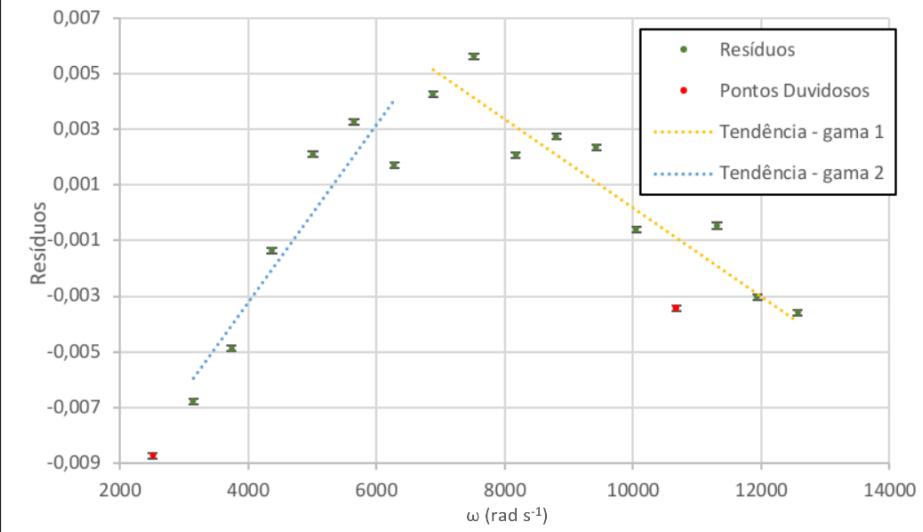
V<sub>EO</sub>(ω) - Voltímetro - 1º Ajuste

VOLTÍMETRO - 1º Ajuste

m	0,0001415	0,022	b
Δm	0,0000003	0,003	Δb
r <sup>2</sup>	0,99991	0,004	u(y)

Graf. 2

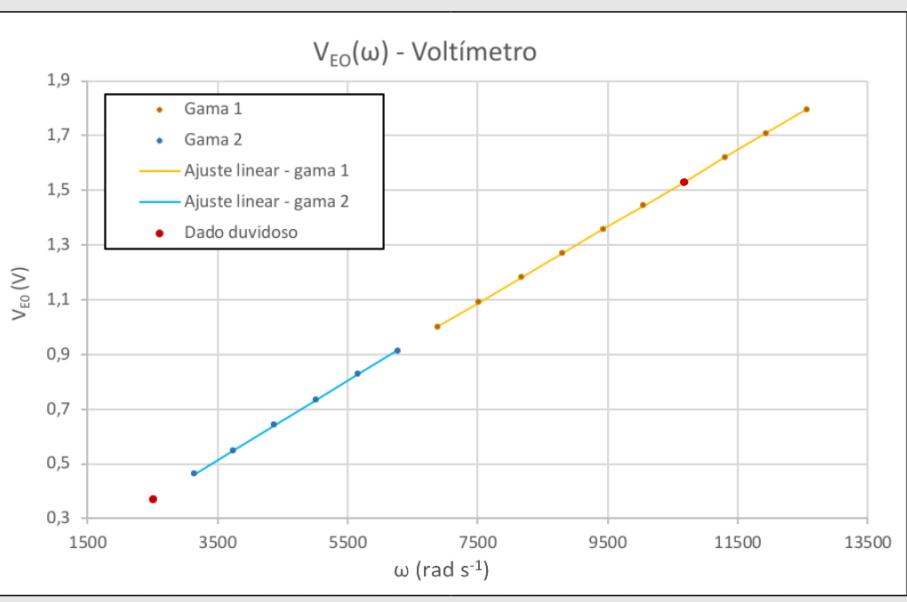
Resíduos - Voltímetro



Graf. 3

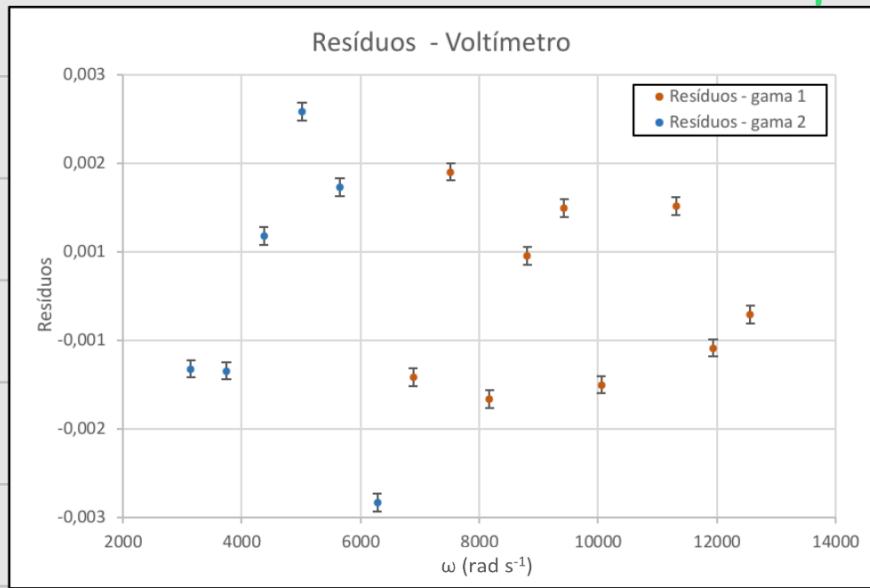
Os pontos duvidosos foram assim considerados por estarem mais afastados dos restantes. Realgamos também o fato das barra de incerteza serem bastante reduzidas em relação à escala dos resíduos.

Os restantes resíduos apresentavam duas gamas experimentalis com duas diferentes tendências lineares. Separou-se então as gamas experimentais e fizham-se novos ajustes em cada gamma.



VOLTÍMETRO - Gama 2			
m	0,0001443	0,009	b
Δm	0,0000007	0,003	Δb
r <sup>2</sup>	0,99991	0,002	u(y)

Graf. 4



Graf. 5

Pelas observações do gráfico 4 e das matrizes de ajuste, pode-se verificar que há uma dependência linear de V<sub>EO</sub> em relação de ω, para as duas gamas.

Os resíduos, nas duas gamas, não apresentam um padrão específico.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$$

Segundo a eq. (1)

$$V_{e0} = \mu_0 \frac{Nm \cos \theta}{L} j_0 \quad \Rightarrow \quad \mu_0 = \frac{m L}{Nm S \cos \theta j_0}$$

Com  $\theta = 0^\circ$ ,  $S = (1,320 \pm 0,001) \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ,  $N = 361$  (tabelado),  $m = 300$  (tabelado),  $j_0 = (0,66 \pm 0,01) \text{ A}$  e  $L = (75,000 \pm 0,005) \text{ cm}$

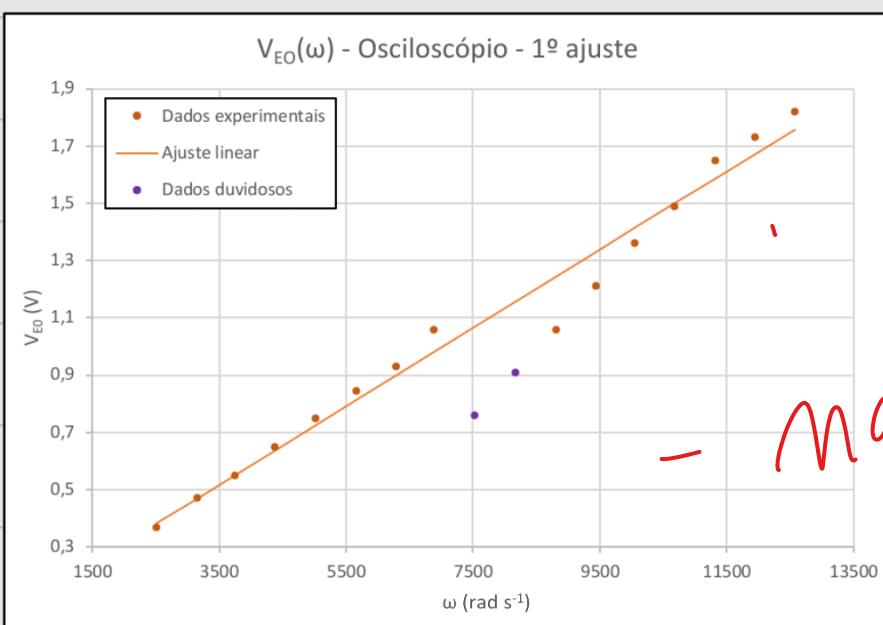
$$u(\mu_0) = \mu_0 \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(S)}{S}\right)^2 + \left(\frac{u(j_0)}{j_0}\right)^2}$$

VOLTÍMETRO - Gama 1		
$\mu_0$	1,10E-06	$\text{Hm}^{-1}$
$u(\mu_0)$	1E-08	$\text{Hm}^{-1}$
$u(\mu_0)(\%)$	1%	
$\mu_{\text{REF}}$	1,257E-06	$\text{Hm}^{-1}$
%erro	12%	

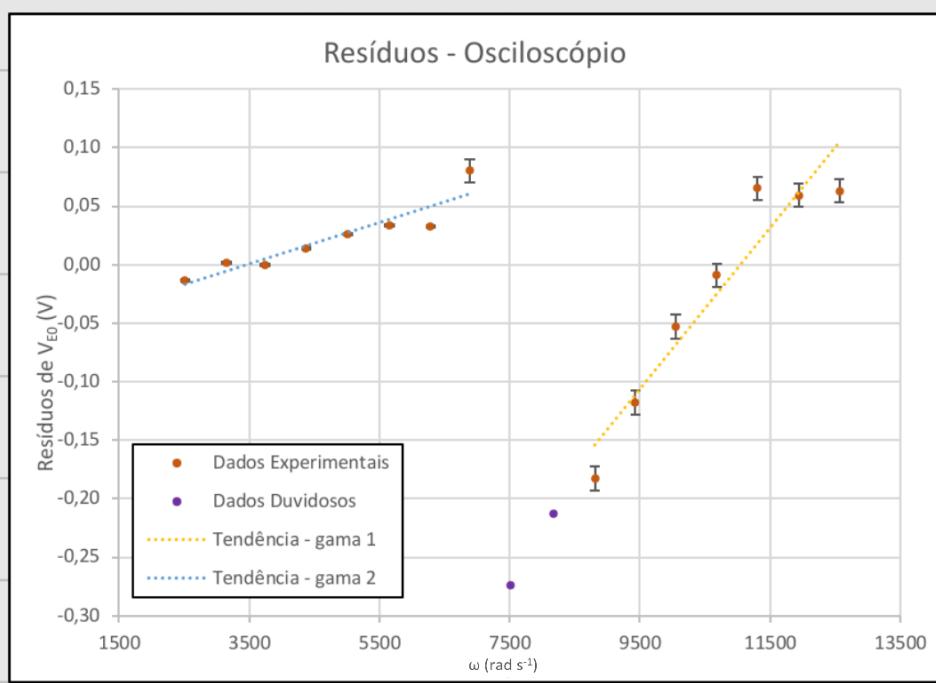
VOLTÍMETRO - Gama 2		
$\mu_0$	1,14E-06	$\text{Hm}^{-1}$
$u(\mu_0)$	1E-08	$\text{Hm}^{-1}$
$u(\mu_0)(\%)$	1%	
$\mu_{\text{REF}}$	1,257E-06	$\text{Hm}^{-1}$
%erro	9,4%	

Os erros dos valores obtidos para  $\mu_0$  encontram-se elevados. Admitimos descorreter por que nãõ os erros se encontram assim quando se garante que a corrente esteve sempre constante e os sinusos nõe apresenaram deformações. Possivelmente, o valor que deveríamos ter metade da frequênc-

Ou deveria ter sido o que era indicado no osciloscópio e não o do gerador de sinal, pois era mais preciso.



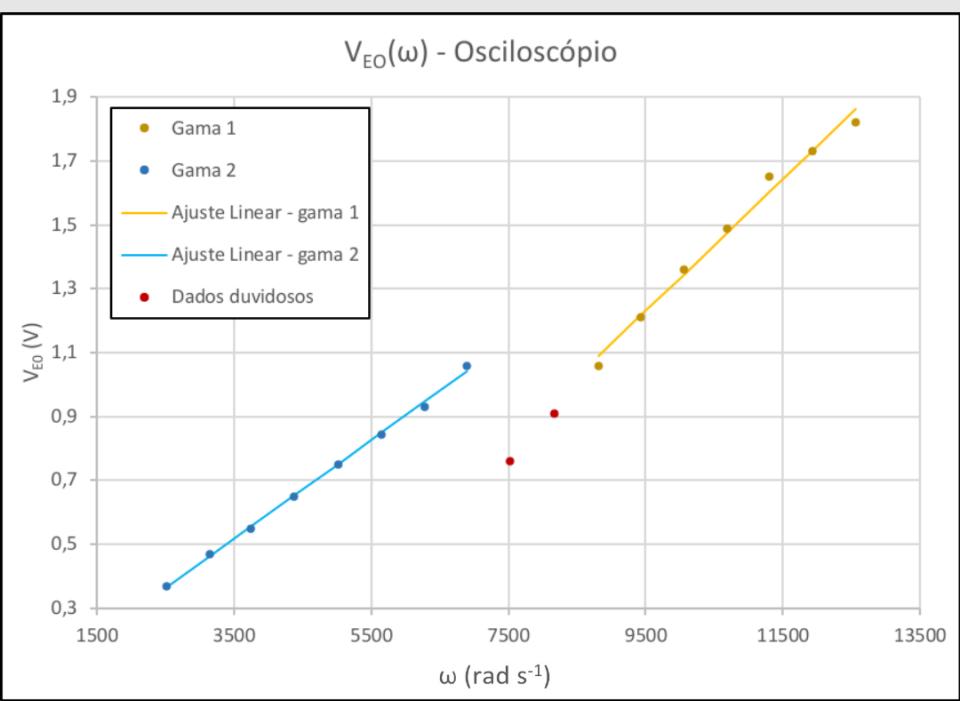
Maior aproveitável  
Gráf. 6



Gráf. 7

Houve claramente uma quebra de valores de V<sub>EO</sub> a meio da experiência. Não se sabia explicar na altura o porquê, nem mesmo a docente. Acredita-se que haja im-

terfíncia com o computador, mas não se tem certeza. No entanto, é estranho se se ter metido esta questão no osciloscópio e não no multímetro também, embora sendo os multímetros true RMS  $\Rightarrow$  dados mais fiáveis! Assim, mais uma vez, reparou-se duas tendências lineares, nas mesmas gamas experimentais que foram vistos anteriormente. Foram feitos novos ajustes, em cada gama.

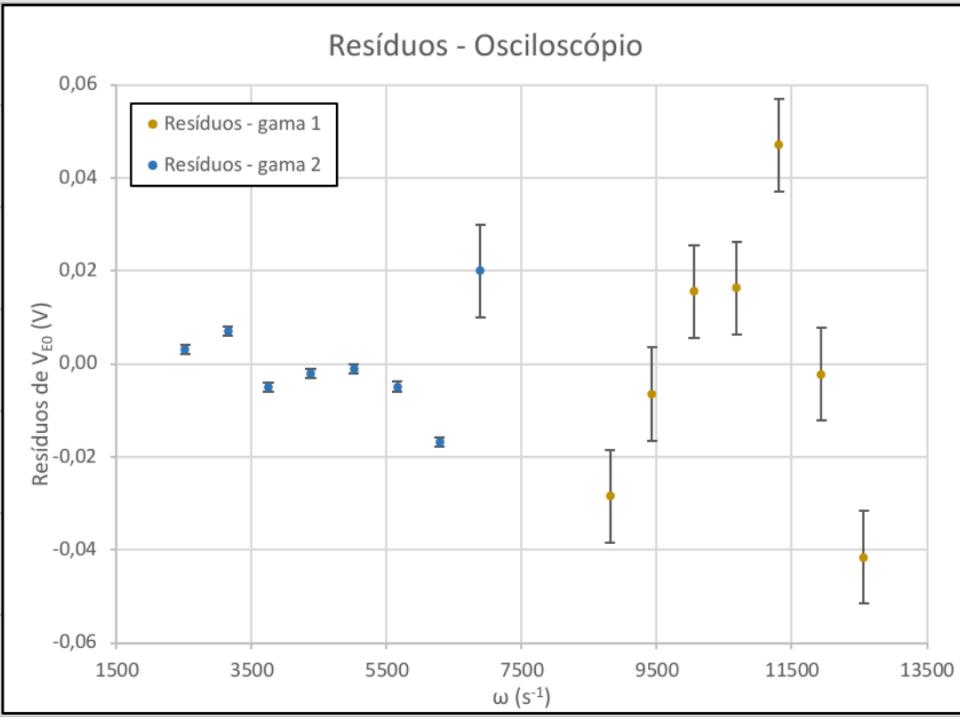


OSCILOSCÓPIO - Gama 1			
m	0,00021	-0,7	b
Δm	0,00001	0,1	Δb
r <sup>2</sup>	0,989	0,03	u(y)

OSCILOSCÓPIO - Gama 2			
m	0,000154	-0,02	b
Δm	0,000003	0,01	Δb
r <sup>2</sup>	0,998	0,01	u(y)

Gráf. 8



Gráf. 9

Os resíduos, nas duas gamas, apresentam-se aleatórios.

Daqui resulta:

OSCILOSCÓPIO - Gama 1		
$\mu_0$	1,62E-06	Hm <sup>-1</sup>
$u(\mu_0)$	8E-08	Hm <sup>-1</sup>
$u(\mu_0)(\%)$	5%	
$\mu_{REF}$	1,257E-06	Hm <sup>-1</sup>
%erro	29%	

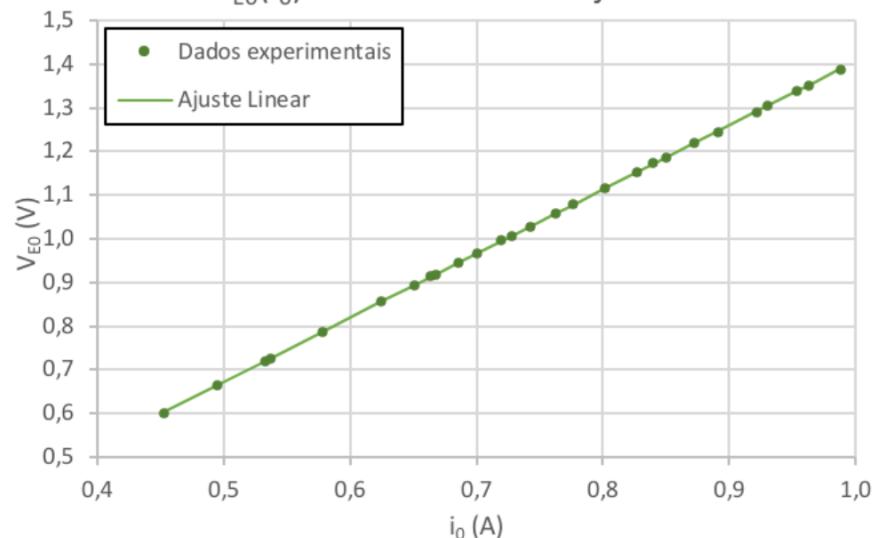
OSCILOSCÓPIO - Gama 2		
$\mu_0$	1,22E-06	Hm <sup>-1</sup>
$u(\mu_0)$	3E-08	Hm <sup>-1</sup>
$u(\mu_0)(\%)$	2%	
$\mu_{REF}$	1,257E-06	Hm <sup>-1</sup>
%erro	3%	

Para frequências mais altas (gama 1), o erro é absolutamente alto ( $\sim 30\%$ ). Isto foi provavelmente devido à queda valores referida. Para frequências menores (gama 2), o erro ( $\sim 3\%$ ) é ainda mais baixo do que os valores obtidos anteriormente, surpreendentemente, uma vez que o voltímetro continua ser o melhor método.

→ V<sub>EO</sub> em função de i<sub>o</sub>

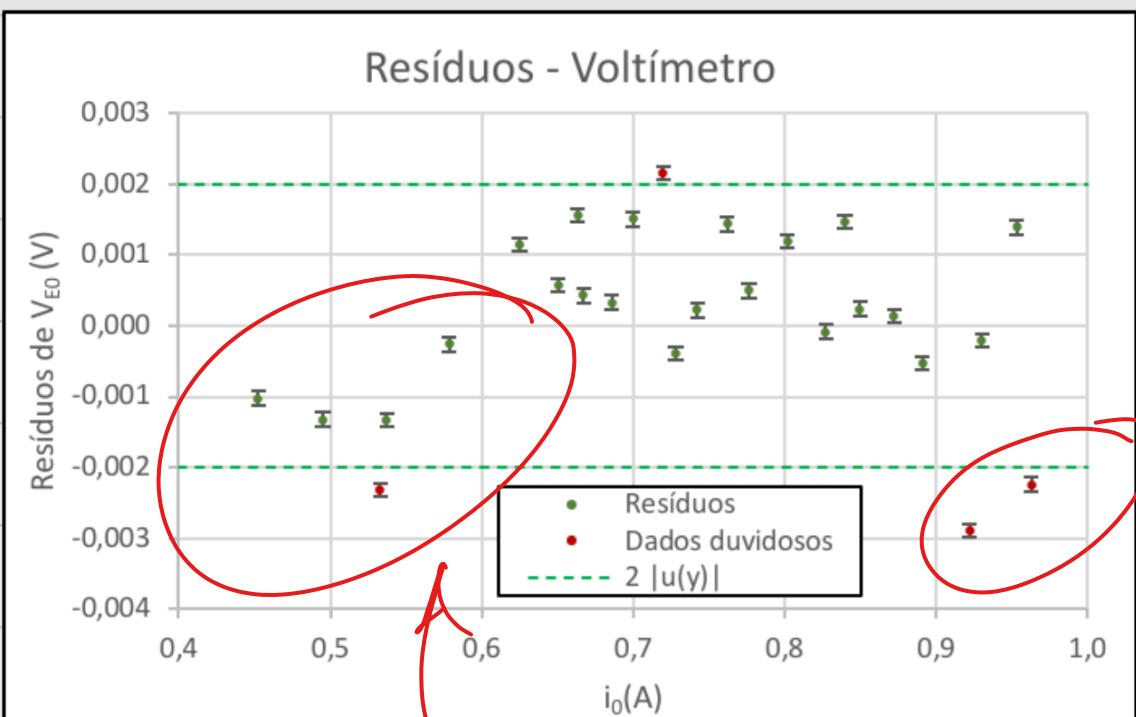
Nesta parte do trabalho, estuda-se V<sub>EO</sub> em função de i<sub>o</sub>. Fixou-se  $f = (999 \pm 1) \text{ Hz}$ .

### $V_{E0}(i_0)$ - Voltímetro - 1º Ajuste



VOLTÍMETRO - 1º Ajuste			
$m$	1,467	-0,061	$b$
$\Delta m$	0,002	0,001	$\Delta b$
$r^2$	0,99996	0,001	$u(y)$

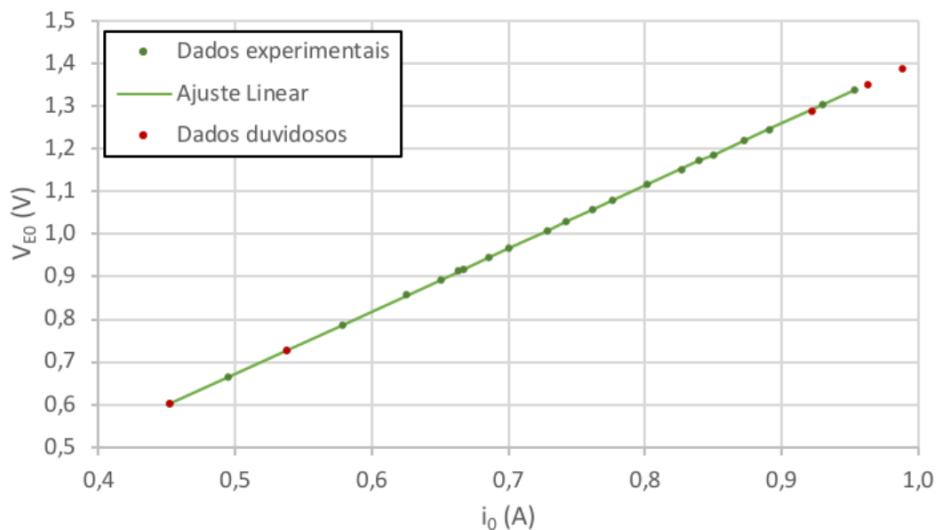
Graf. 10



m/s  
tinara  
07  
mas  
tinara  
Graf. 11

Os pontos duvidados encontram-se mais afastados das res-  
tantes. Foi feito um novo ajuste.

$V_{EO}(i_0)$  - Voltímetro



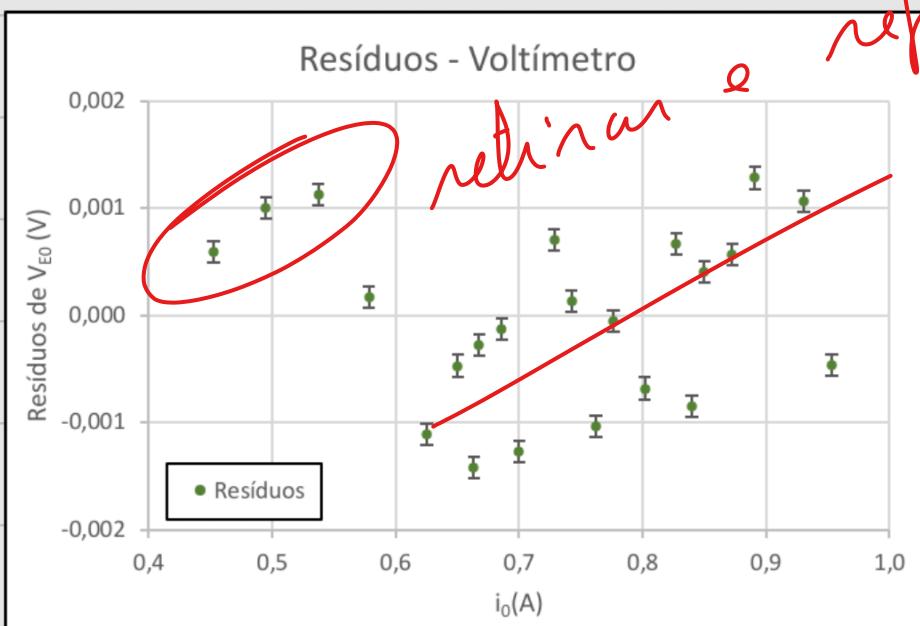
VOLTÍMETRO - 2º Ajuste

m	1,470	-0,063	b
$\Delta m$	0,001	0,001	$\Delta b$
$r^2$	0,99998	0,001	$u(y)$

Graf. 12

refazer ajuste

Resíduos - Voltímetro



Graf. 13

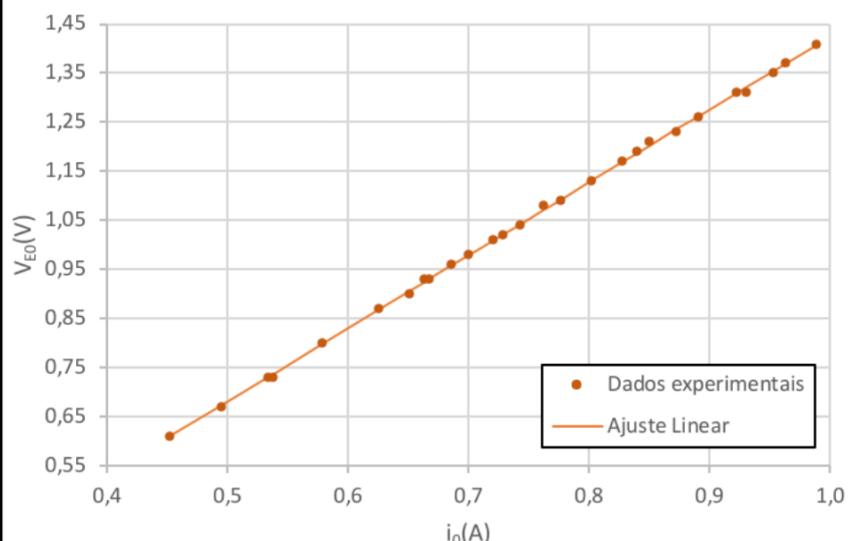
(Os resíduos são aleatórios e inferiores a  $2\sigma(y)$ ).

Para o voltímetro:

VOLTÍMETRO

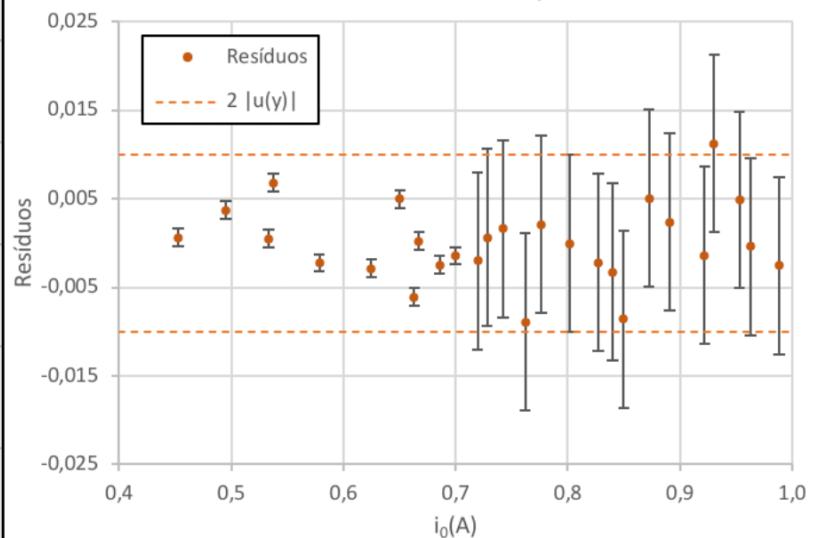
$\mu_0$	1,228E-06	$Hm^{-1}$
$u(\mu_0)$	4E-09	$Hm^{-1}$
$u(\mu_0)(\%)$	0,3%	
$\mu_{REF}$	1,257E-06	$Hm^{-1}$
%erro	2,3%	

$V_{E0}(i_0)$  - Osciloscópio



Gráf. 14

Resíduos - Osciloscópio



Gráf. 15

Os resíduos não parecem ter nenhum padrão específico e encontram-se inferiores a  $2s(y)$ . Para o osciloscópio:

OSCILOSCÓPIO		
$\mu_0$	1,242E-06	$Hm^{-1}$
$u(\mu_0)$	5E-09	$Hm^{-1}$
$u(\mu_0)(\%)$	0,4%	
$\mu_{REF}$	1,257E-06	$Hm^{-1}$
%erro	1,1%	

$$u(\mu_0) = \mu_0 \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(s)}{s}\right)^2 + \left(\frac{u(\omega)}{\omega}\right)^2}$$

Os erros nesta 2.<sup>a</sup> Parte não se encontram tão elevados como os da 1.<sup>a</sup> Parte. Deve-se a uma boa escolha de frequência, que não se deforma para tão elevado.

## → Resultados Finais

V<sub>EO</sub> em função de ω

	Gamma	$\mu (\text{Hm}^{-1})$	$u(\mu) (\text{Hm}^{-1})$	$u(\mu) \%$	Era %
Voltímetro	1	$1,10 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-8}$	1	12
	2	$1,14 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-8}$	1	9,4
Osciloscópio	1	$1,62 \times 10^{-6}$	$8 \times 10^{-8}$	5	29
	2	$1,22 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-8}$	2	3

V<sub>EO</sub> em função de  $j_0$

	$\mu (\text{Hm}^{-1})$	$u(\mu) (\text{Hm}^{-1})$	$u(\mu) \%$	Era %
Voltímetro	$1,228 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-9}$	0,3	2,3
Osciloscópio	$1,242 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-9}$	0,4	1,1

## → Conclusão

a menor d<sup>l</sup>  
e/<sup>em</sup> % / inc

16 o que considera de confiança:

- Verifica-se a dependência linear de  $\Delta V_0$  em função

da frequência e da corrente, comprovada pelos bons ajustes.

- Tal como se pode ver nos resultados finais, obtém-se

dúas gamas experimentais, quer no osciloscópio e no voltímetro, praticamente iguais, na variação da frequência. Para a gamma 1 (freq. mais elevadas) obtém-se um valor de  $\mu_0$  com  $e=12\%$

para o voltímetro e 29% para o osciloscópio. Entretanto, para a gamma 2 (freq. menores), obtém-se erros inferiores (9,4% no voltímetro e 3% no osciloscópio). Pode-se consultar os valores obtidos na secção Resultados Finais, na página anterior. X

- Para a variação da corrente, os erros foram mais baixos.

Para o voltímetro, obtém-se o valor de  $\mu_0$  com erro 2,3% e incerteza relativa 0,3%, enquanto para o osciloscópio,  $e\% = 1,1\%$  e  $\mu(\mu_0) = 0,4\%$ . Concluimos que este é o método mais eficaz na determinação da permeabilidade. Efectivamente, era mais fácil manter a frequência constante do que a corrente.