

Trabalho 3B - Estudo da indução magnética

Grupo 2:

Afonso Couto
Gonçalo Sousa
Jorge Rodrigues
Sara Perdigão

18

Data de redação: 07/05/2023

NOTA:

Não sabem
ajustar, num
gráfic de resíduos
"mude", o que
fazer quanto
à resolução
de gamma p/ aj.

Objetivos:

- Verificar a existência de indução magnética

Sendo $i(t) = i_0 \sin(\omega t)$ tem-se

$$V_{E0} = \mu_0 \frac{N n S \cos \theta}{L} \omega i_0$$

(aproximação para um solenoide muito grande
(muito maior do que a bobina de prova))

- Verificar a relação expressa na equação
presente acima entre:

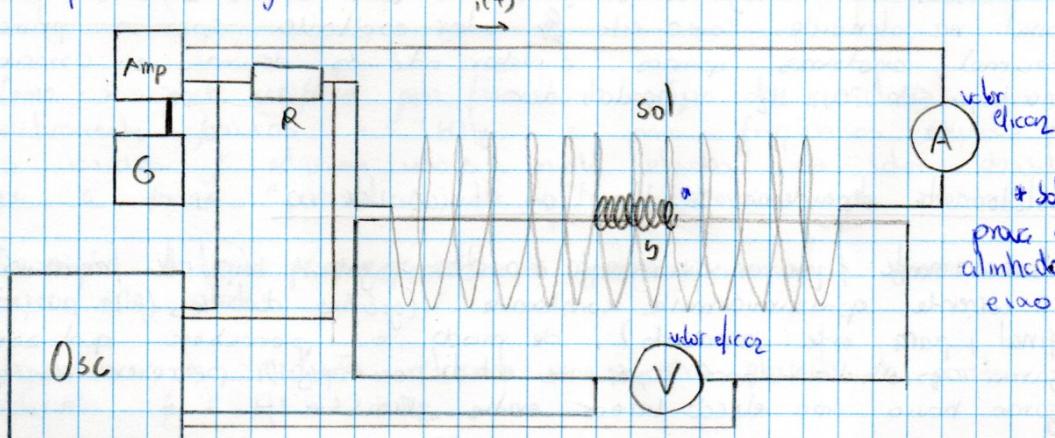
- V_{E0} e i_0 ;
- V_{E0} e ω ;
- V_{E0} e n ;
- V_{E0} e S ;
- V_{E0} e $\theta (\cos \theta)$;

- Calcular os valores de μ_0 a partir da expressão indicada acima

- Verificar a diferença de fase entre o sinal de entrada no solenoide e o gerado na bobina de prova; ($V_{E0} \cos(\omega t) = \frac{\mu_0 N n S \cos \theta}{L} \omega i_0 \sin(\omega t)$)

Procedimento Experimental

→ Esquema da montagem



→ ligar o terminal "-" do amp (cabo preto) ao lado do solenoide com a bobina e o lado "+" vermelho ao outro lado

V_{E0} - amplitude do sinal induzido na bobina de prova

i_0 - amplitude do sinal em corrente no percurso o solenoide

μ_0 - permeabilidade do vazio

N - nº de espiras do solenoide

n - nº de espiras de bobina de prova

S - Área da seção reta da bobina de prova

ω - frequência angular do sinal de entrada no solenoide

L - comprimento do solenoide

Os dados relativos ao solenoide e a cada uma das bobinas de prova encontram-se indicados no protocolo da experiência.

Cuidados!

- Usar os multimetros em configuração AC;
- Os multimetros registram o valor eficaz e não a amplitude do sinal medida.

$$\text{Ex: } V_{\text{f0}} = \frac{1}{\pi} V_{\text{rms}}$$

\uparrow medido no multimetro

- O gerador é o ultimo a ser ligado e deixar aquecer durante ~ 5 min para não haver "drift" nas medições.

- No estudo da variação de ω :

- Ter em atenção que o valor da amplitude do sinal varia (i.e. varia) consonante a variação de ω . Ajustar sempre o valor de i_0 de forma a mantê-lo constante.

- Fazer varrimento por toda a gama de frequências em estudo de forma a escolher que amplitude do sinal usar (que for muito elevado o sinal deformado).

Notas durante a realização da experiência:

→ Bobina de prova com quatro parafusos - ter o cuidado de os apoiar bem no solenoide;
→ Fez-se um varrimento para uma gama de frequência $f \in [100; 3200] \text{ Hz}$ e verificar-se que podemos ter uma amplitude que origine uma corrente de $\sim 300 \text{ mA}$, não havendo, desta forma, deformação do sinal.

→ No estudo de i_0 correu-se com $i_0 \sim 800 \text{ mA}$ (valor máximo sem que o sinal, com $f \sim 1 \text{ Hz}$, ficasse deformado) e diminui-se até $\sim 200 \text{ mA}$.

Análise de dados

→ Os valores de i_{rms} e V_{rms} foram obtidos através do multimetro e não do osciloscópio;

→ O valor de f registado corresponde ao valor lido no canal de entrada do sinal no solenoide. Como este valor oscilava após a primeira casa decimal, anotámos apenas o valor até às décimas e associámos uma incerteza de $0,1 \text{ Hz}$ a cada valor.

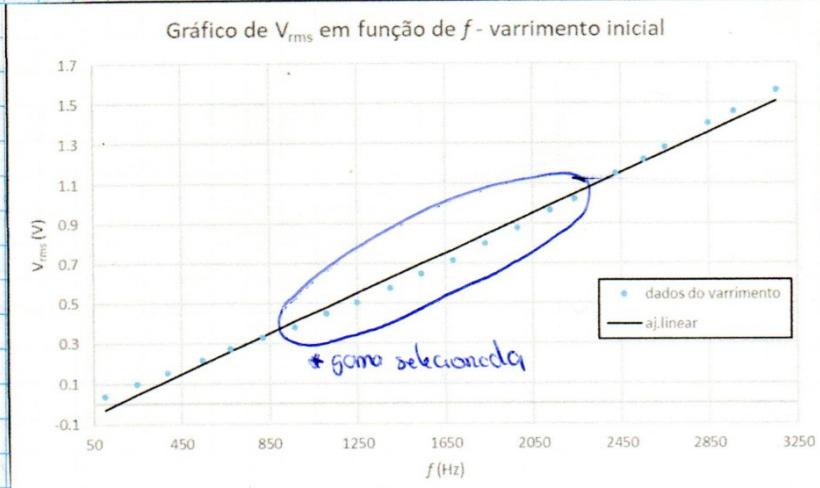
Estudo da dependência de V_{f0} em função de ω

Primeiramente fez-se um varrimento por uma gama ampla de frequências, com a corrente aproximadamente constante (gráfico de $i_{\text{rms}}(f)$ no anexo final, para este varrimento), de modo a perceber qual seria a gama escolhida para fazer este estudo, ou seja, perceber se que gama havia uma relação linear entre V_{rms} e f .

Varrimento em $f \in [100; 3200] \text{ Hz}$

\times (indica) me certifiquei
↓ final e / minimoide
↓ perfeita / perfeita
↓ def. da natureza!

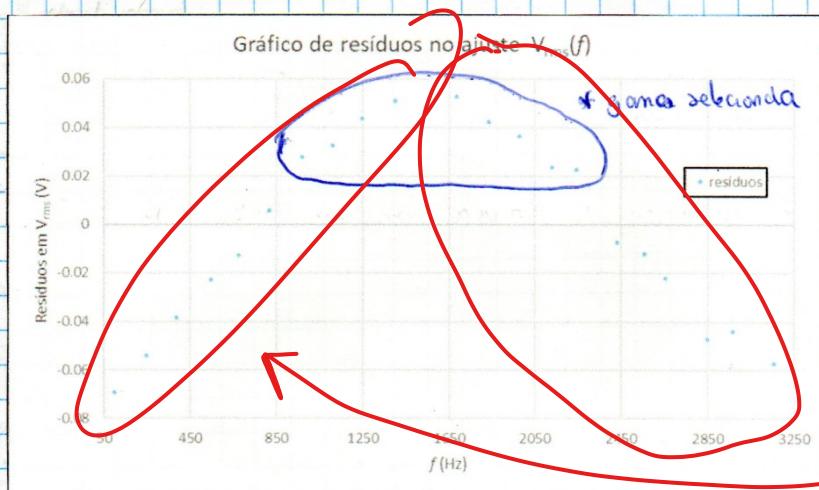
No gráfico seguinte estão presentes os dados relativos a este varrimento já com um ajuste linear a partir do qual tendremos calculados e representados graficamente os resíduos



→ barros de erro correspondentes à incerteza na medição de V_{rms} (constante do multímetro) não são visíveis

$$\mu(V_{rms}) = 0,001 \text{ V}$$

Reparamos, por observação do gráfico que de facto não parece existir uma relação linear entre V_{rms} e f em todo o range de frequências, sendo que tanto os extremos da soma como valores só se encontram consideravelmente daquela linear feita, além de apresentarem uma estrutura. Este facto é evidenciado pelo gráfico de resíduos a este ajuste.



→ Barros de erro continuam a não ser visíveis

$$\mu(V_{rms}) = 0,001 \text{ V}$$

Deste gráfico tirou-se 2 janelas

Mas ✗

Como se pode verificar pelo formato do gráfico de resíduos, para frequências relativamente baixas $f < 1\text{ kHz}$ e para frequências elevadas $f > 2,5\text{ kHz}$, os resíduos já adquirem valores muito elevados, em valor absoluto, embora a forma "parabólica" do gráfico evidencie isso mesmo.

Os pontos destacados ~~poderiam passar~~ os quais pertencem à mesma escolha para fazer este estudo

Repetiram-se as medições retirando um número elevado de pontos no intervalo $f \in [1, 2,5\text{ kHz}]$

Os novos dados recolhidos foram representados graficamente

→ Faz-se um ajuste linear aos dados experimentais e a partir desse ajuste calculam-se os resíduos e representam-se graficamente.

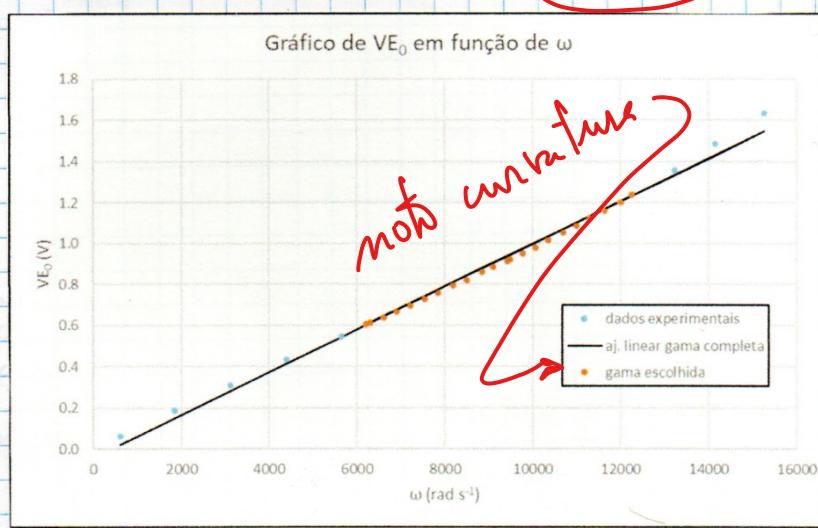
Sabendo já o valor de V_20 e w com as grandezas direcionais medidas em laboratório, faz-se a análise das ~~pequenas~~ dados a partir destas duas grandezas:

$$V_{Z0} = \sqrt{d} V_{rms}$$

$$\omega = 2\pi f$$

má ideia repelir
animar é melhor
mover é /

$$\mu(V_{IO}) = \frac{1}{10} \times 0,0001 = 0,0001$$



→ game a laranja
 corresponde elettronicamente
 à gomaia que foi
 encalhada no sommerto
 anterior com

$$f \in [1; 12] \text{ kHz}$$

foram tirados pontos claim deslocos
 para confirmar a hipótese
 anterior

De realçar que neste estudo de V_{zo} um função de ω todos os restantes parâmetros (i_0, n, S, N) têm de permanecer constantes. No entanto, as variações da frequência do sinal e amplitude do mesmo também vêm a ser feitas com que i_0 varia. Foi todo o cuidado de manter a amplitude do sinal constante de forma que i_0 não varie em relação a um valor constante de modo a que a incerteza associada à medida

$$\text{Escalheu-ze} : \quad i_{\text{rms}} = (0,303 \pm 0,001) \Delta$$

Resposta: Traçou-se o gráfico de $\ln m$ em função de f para controlar se existisse algum valor de m menor ou superior a $0,304 \cdot 10^{-3}$ ou maior que $0,302 \cdot 10^{-3}$.



$$\rightarrow \text{base de} \text{ } \text{emo} \\ \text{correspondente} \text{ a} \\ \mu(\text{rms}) = 0,001 \text{ A}$$

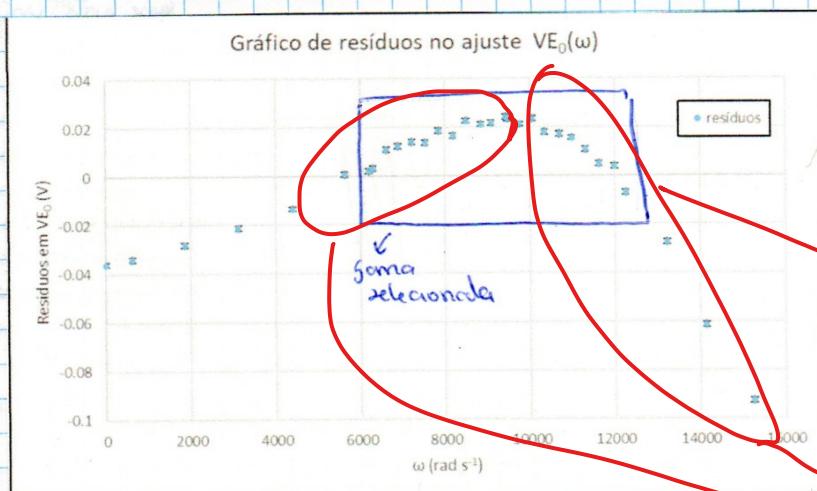
→ Como ~~o~~ nenhum ponto se afasta do valor referência
 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 0,303$ ↑, nenhum ponto foi descontado

A tendência do corrente diminuir com o aumento da frequência pode estar relacionada com 2 fatores:

→ A largura do Sendo do amplificador não: para frequências mais baixas o "ganho" no amplificador poderá ser maior do que para as frequências mais altas da gama em estudo;

→ O próprio fenômeno de indução magnética: Ao aumentar a frequência estamos a aumentar o intervalo temporal do fluxo do campo magnético que atravessa a bobina do pri., mas também o fluxo do campo magnético que atravessa o solenóide (existe um inductância própria do solenóide). Para contrariar esse aumento na variação do fluxo, surge uma diferença de potencial entre os próprios terminais do solenóide contrária ao que é aplicado externamente, pelo sinal de entrada. Isso resultaria numa diminuição da corrente;

Representaram-se os resíduos resultantes do ajuste linear a todo o gama de dados e observa-se algo semelhante ao que se observou no varredimento inicial



→ barras de erro correspondentes a $\mu(V_{E0}) = \pm 0.001V$
 + Muitos milhares hemis
 → Mais milhares hemis
 DAG
 escalar
 gama 1
 gama 2

→ Para $f < 1\text{Hz}$ os pontos afastam-se do ajuste linear feito com uma grande contribuição dos pontos na gama selecionada, apresentando um leve curvatura no gráfico de $V_{E0}(w)$

$$\omega > 12500 \text{ rad/s}$$

→ Para $f > 2\text{Hz}$ os pontos afastam-se ainda mais do ajuste linear, apresentando resíduos consideráveis quando comparados com os restantes valores, apresentando no gráfico de $V_{E0}(w)$ um curvatura mais acentuada nessa zona.

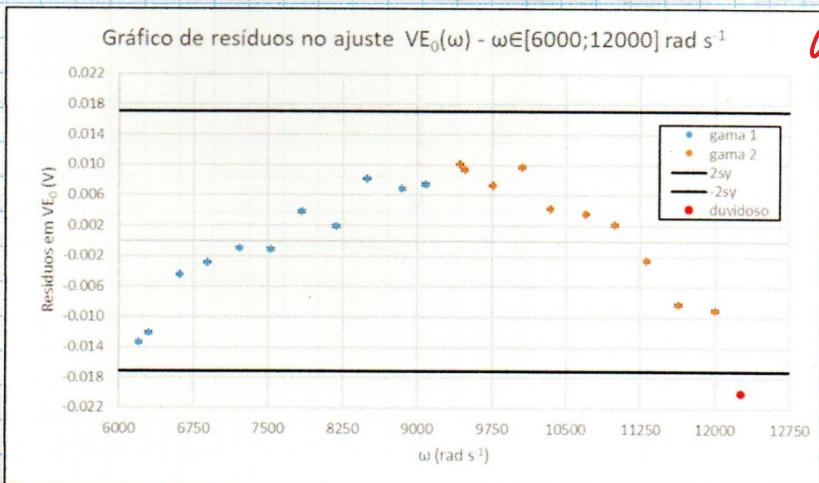
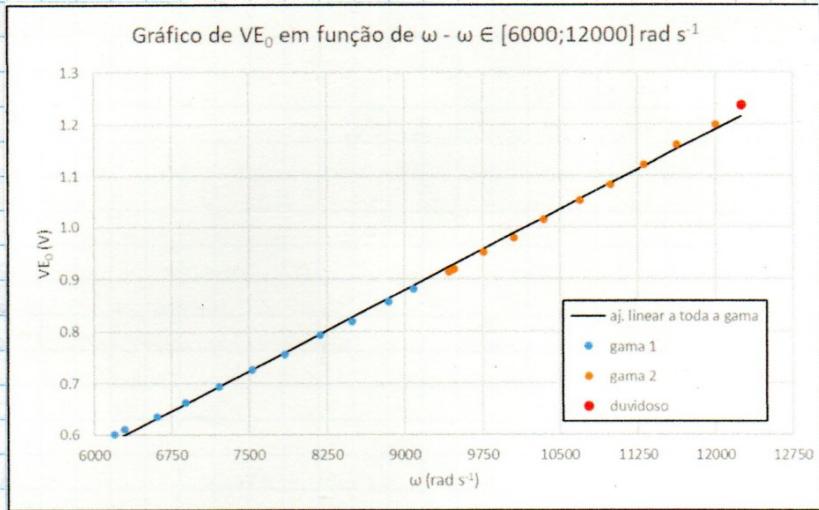
Foram descartados os pontos que não pertencem à gama selecionada, sendo que permanece a ancora oposta este gama

Fazer o ajuste linear e o gráfico de resíduos para todo o gama selecionada e identificaram-se 2 gamas com comportamentos diferentes

↳ Dividiu-se a gama de estudo em gama 1 - apresenta uma tendência crescente nos resíduos

↳ em gama 2 - apresenta uma tendência decrescente nos resíduos

↳ Estes comportamentos distintos já era observado nos gráficos anteriores



→ bairros do erro
não são vizinhos

$$\mu(VE_0) = 0,0001V$$

→ Metade da gama linear
presente no anel final

gama 1: $f \in [1000; 1500]$ Hz

gama 2: $f \in [1500; 12000]$ Hz

acabou o anel
chegar onde
queria

→ bairros do erro
 $\mu(VE_0) = 0,0001V$

→ aqui não vizinhos

→ identificou claramente
um ponto dubioso
já no final da gama
2 → não é o final da
se encontra fora do
intervalo definido através
do ajuste para
identificar pontos
dubiosos

(sendo $\Delta\gamma$ um parâmetro de matriz de ajuste)

↳ São claramente identificados
duas gamas com comportamentos distintos que serão analisados separadamente

→ Não encontramos nenhuma explicação para os diferenças no comportamento das duas
gammas com base no que foi feito em laboratório e na indução eletromagnética.

Por curiosidade comparemos este comportamento com o que foi obtido por outros
grupos de trabalho que realizaram a mesma experiência, na primeira parte
do semestre.

Curiosamente este comportamento foi identificado de forma semelhante por outros
grupos de trabalho

- Grupo 1 (Subgrupo B - Logbook individual Jairo Simões) PL 6
- Grupo 1 (Subgrupo B - Relatório José Ascensão) PLA

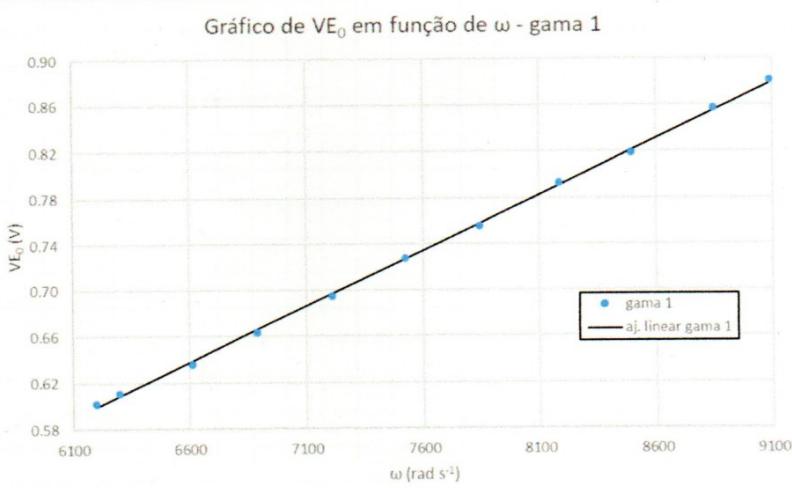
Em ambos os grupos se observa o mesmo comportamento, com resíduos crescentes
para pontos correspondentes a $f < 1,5$ kHz, e outra com resíduos decrescentes
para $f > 1,5$ kHz.

Assumindo que os aparelhos eletrônicos utilizados no circuito foram os mesmos, bem
como os instrumentos de medição, é possível que a leitura de valor
Vrms (valor eficaz de tensão) seja afetada pela frequência do sinal que se
gera no sistema de prova.

Ou seja, quanto maior forne a frequência do sinal o valor eficaz medido pelo multímetro será maior do que o da efetivamente. Esta hipótese pode ser comprovada pelo facto de serem apresentados os seguintes resultados (podia ser confirmada medindo os valores lidos no osciloscópio e comparando).

Fiz o anel das gamas separadamente verificou-se primeiramente a existência de mais alguma parte deslocada, sendo que foi feito um ajuste linear para cada uma e anelado, separadamente, os gráficos de resíduos.

Gama 1 : $f \in [1000; 1500] \text{ Hz}$



→ bairros de erro na
medida

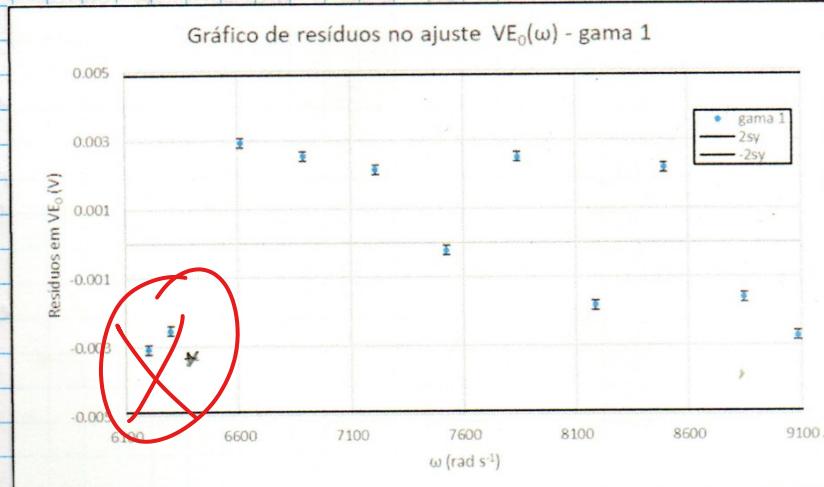
$$\mu(VE_0) = 0,0001 \text{ V}$$

Ajuste linear gama 1		
m	9.69E-05	-0.002 b
Δm	8E-07	0.006 Δb
R^2	0.9994	0.003 sy

→ Repare-se que o
valor de b é menor do
que a incerteza
associada a este ponto

o que também está de acordo com a
lei física de indução, sendo que no resultado não aparece
nenhum termo constante/ordenado no cosseno

Com base nisso neste ajuste foram representados os resíduos



→ Bairros de erro
correspondentes a

$$\mu(VE_0) = 0,0001 \text{ V}$$

→ Como era de esperar
já não se verifica
qualquer tendência
crescente nos resíduos
a sua distribuição
parece ser aleatória
consequente de erros
aleatórios

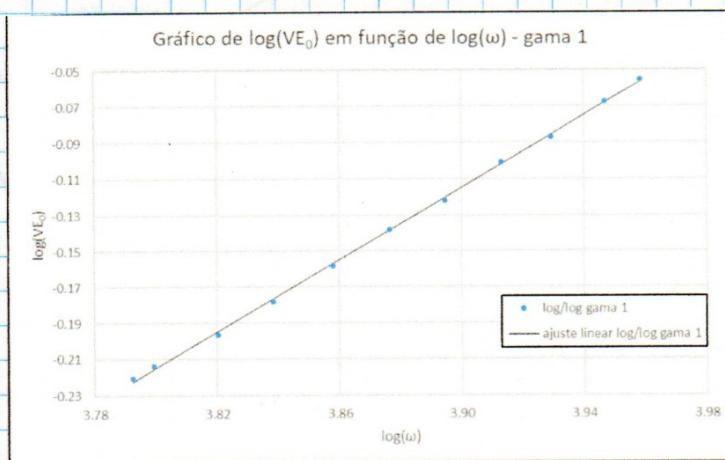
* estes dois pontos não foram considerados durante o ajuste porque se encontravam
tão afastados da restante gama, havendo pontos com resíduos de módulo
semelhante, e ainda estavam muito dentro de intervalo definido com 2sy para
identificar desvios

Antes de calcular o valor do μ_0 a partir do ajuste é necessário analisar a linearidade da relação entre V_{Z0} e ω , tendo em conta que

$$V_{Z0} = m \omega$$

$$\Rightarrow \log(V_{Z0}) = \log(\omega) + C$$

Fazer o estudo do gráfico de $\log(V_{Z0})$ em função de $\log(\omega)$ para confirmar a relação linear entre as duas grandezas



Incerteza em $\log(V_{Z0})$ varia de

0,00015 e vai até 0,00025, mas as barras de erro do gráfico com estas velocidades não são visíveis

(Não se faz uma análise das respetivas respectivas para o objetivo desta análise é apenas verificar a linearidade da relação, tendo em conta que faz mais sentido anchor os resultados no gráfico de $V_{Z0}(\omega)$)

Ajuste linear $\log(V_{Z0})/\log(\omega)$		
m	1.000	-4.01 b
Δm	0.009	0.03 Δb
R^2	0.9993	0.002 sy

O declive obtido é exatamente aquele que era esperado teoricamente sendo que $m_{ref} = 1$

$$\epsilon(m) (\%) = \frac{|m_{aj} - m_{ref}|}{m_{ref}} \times 100 \quad \mu_0(m) (\%) = \frac{\mu_0(m)}{m_1} \times 100$$

Observe-se $m_1 = 1,000 \pm 0,009$, com um erro de 0,03% e uma incerteza relativa percentual de 0,9% (estes valores serão organizados numa tabela de resultados finais)

A baixa incerteza relativa no declive confere sentido à análise da dependência linear ~~esta~~ a partir do log/log e o erro percentual muito baixo indica de facto que existe uma relação linear entre as grandezas e, por isso, podemos calcular o valor de μ_0 a partir do ajuste obtido anteriormente.

No ajuste anterior obtemos o declive da reta que relaciona V_{Z0} com ω e tendo por base a equação que está presente nos objectivos tem-se que

$$m_1 = \frac{\mu_0 N n S \cos \theta}{L} \Rightarrow \mu_0 = \frac{m_1 L}{N n S \cos \theta}, \quad \cos 0^\circ = 1$$

Sabendo as características das bobinas podemos calcular o valor de μ_0 e a respetiva incerteza

erros de sistema de prova obtidos e paralelo com o erros da setenóide

Se L deviam ter sido medida, por que não fez?

Considerar-se (com base nos informes do protocolo)

$$S = 1,32 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = 300$$

$$N = 361 \rightarrow$$
 indicação da profunda

$$L = 0,75 \text{ m}$$

→ para uma melhor estimativa os valores de L e d ($S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$) devem ter todos medidas no laboratório

O valor de i_0 usado no cálculo foi obtido fazendo a média dos valores de i_0 obtidos durante a experiência e usando como incerteza Δi_0 (sendo σ o desvio padrão da amostra) da forma a ter um intervalo com grau de confiança de 95%.

$$\bar{i}_0 = (0,429 \pm 0,001) \text{ A}$$

→ valores referentes à gama 1

e aplicando a propagação de incertezas:

$$\mu^2(i_0) = \left(\frac{L}{N S \bar{i}_0} \right)^2 \mu^2(m) + \left(\frac{m L}{N S (\bar{i}_0)^2} \right)^2 \mu^2(\bar{i}_0)$$

Faz sempre sentido usar a forma relativa!
assim a devia ser a forma relativa!

$$i_0^{(1)} = (1,19 \pm 0,01) \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$$

Sendo o valor referência $\mu_{ref} = 1\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ obtem-se

$$E(i_0^{(1)}) (\%) = 5,17\% \quad \mu(i_0^{(1)}) (\%) = 0,9\%$$

Os dados organizados numa tabela de resultados finais

Gama 2 $\omega \in [1500; 2000] \text{ Hz}$

Repetindo e analisar qd se fará para a gama 1.

Forma relativa

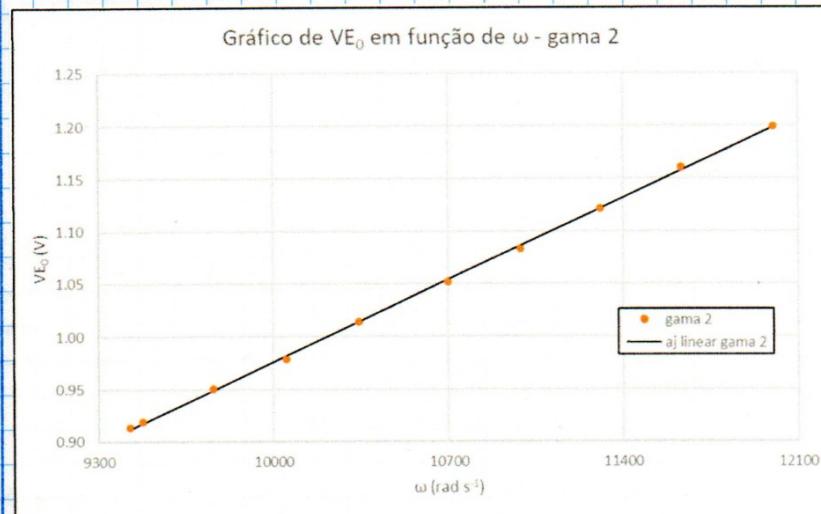
melhor (sabe)

porque?

↓

de + info!

(qual?)



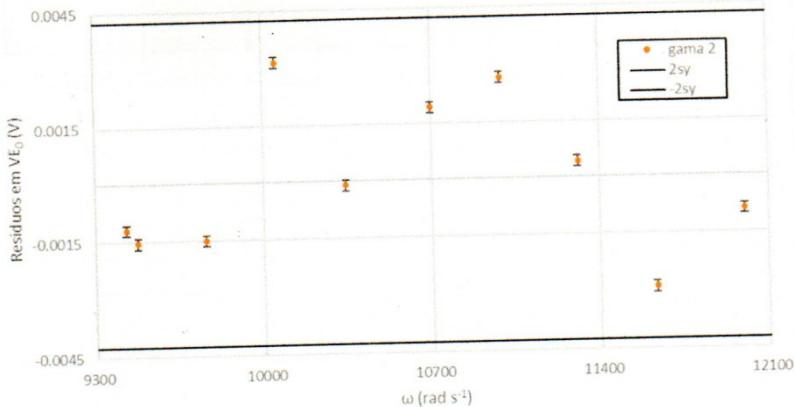
→ barras de erro nas vizinhas

$$\mu(VE_0) = 0,0001 \text{ V}$$

	Ajuste linear gama 2	
m	1.113E-04	-0.14 b
Δm	8E-07	0.01 Δb
R ²	0.9996	0.002 sy

Com base nisto ojite calcularom-se e representarem-se os resíduos

Gráfico de resíduos no ajuste $VE_0(\omega)$ - gama 2



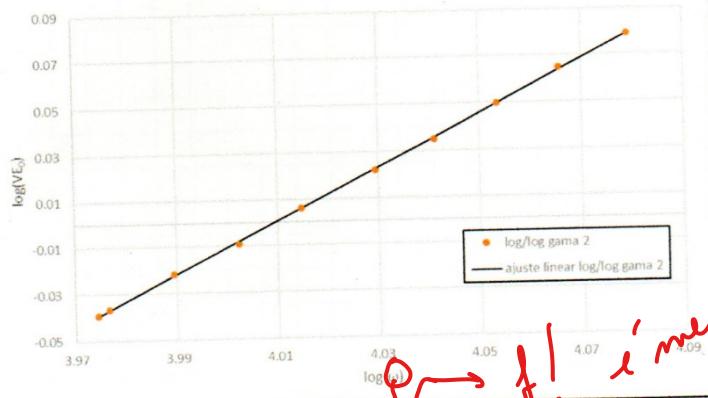
→ barras de erro correspondentes a

$$\mu(VE_0) = 0.0001 V$$

→ C nota → verifica qualquer tendência decrescente nos resíduos e não foram identificados pontos duvidosos

Pore anchor a dependencia linear nista gama fez-se o estudo de $\log(VE_0)$ em função de $\log(\omega)$.

Gráfico de $\log(VE_0)$ em função de $\log(\omega)$ - gama 2



incerteza de $\log(VE_0)$ vai de 0,00011 a 0,00015 e estes valores não são visíveis no gráfico

Gráfico de resíduos
(c/ barras de inc.
exp.)?

Nota: Na análise log/log nunca o apresenta o gráfico de resíduos! Porque?

	Ajuste linear $\log(VE_0)\log(\omega)$	
m	1.130	-4.53 b
Δm	0.007	0.03 Δb
R ²	0.9997	0.001 sy

$$E(m_2)(\%) = 13\% \text{ (excesso)} \quad \mu(m_2)(\%) = 0,6\%$$

Man uma vez a incerteza scixa permite-nos retirar algumas conclusões sobre esta análise com determinada preciso. A primeira é que o erro relativo percentual no declive já é considerável mas maior do que o que foi obtido na gama 1. Além disso esse erro foi obtido por excesso o que indica que a relação entre VE_0 e a neste gama não é exactamente linear.

Este facto pode corroborar a hipótese adotada sobre os resultados do voltímetro para frequências mais elevadas, uma vez que aqui se verifica que o valor de VE_0 é maior do que o que se espera visto se ter cumprido a relação linear com VE_0 .

Mas verifica-se a consistência entre os resultados?

Ou seja, é como se tivéssemos

$$V_{Z0} \propto \omega^2$$

→ razão constante $\propto = m_2$

Que não é, de todo, previsto pela teoria. Além disso, verifica-se no gráfico que o valor médio no gráfico 2 é superior ao que foi obtido no gráfico 1, indicando que os vetores com maior frequência apresentam um valor superior de V_{Z0} . Isto pode indicar de facto que os multimetros usados fazem a leitura do valor eficaz da tensão por excesso quando a frequência é elevada.

Nota: Consultando o trabalho de grupo da turma PBL 1 grupo 2, o resultado de V_{Z0} medido no multimetro comparado com o que foi medido no osciloscópio. Verifica-se que à medida que a frequência aumenta a diferença nos vetores aumenta, o que também ajuda a verificar esta hipótese.

considerando

Proseguindo com o cálculo, (~~considerando~~) que a razão entre V_{Z0} e ω é linear (levo de 13% não foi considerado significativo), calcula-se o valor de μ_0 .

põe em dúvida!

Ponto vez, para entre segundo gráfico

$$\bar{I}_0 = (0,429 \pm 0,002) A$$

incerteza = 2%

int. de confiança de 95%

E obtive-se:

$$\mu_0^{(2)} = (1,36 \pm 0,01) \times 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$$

como não se esperava, pois

$$\text{Com } E(I_0^{(1)}) (\%) = 3,4 \% \text{ e } \mu_0(I_0^{(1)}) (\%) = 0,8 \%$$

por excesso

Antes de poner para o cálculo da dependência em I_0 , ao longo deste estudo também foram recolhidos os valores da diferença de fase entre o senal que chega ao senoidal e o senal gerado na bobina de prova, através dos os círculos azuis (valores representados numa tabela no final).

Mediram-se vetores num intervalo de $[86,2; 94,4]^\circ$, e fazendo uma média dos valores obtém-se que a diferença de fase entre os senais foi

$$\alpha = (90 \pm 4)^\circ$$

incerteza = 20 %
int. de confiança de 95%

Chidado com as medições das diferenças de fase!
Realizadas medidas?

Logo,

$$N_{Z0} = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\phi_B(t) = \frac{\mu_0 N S \cos \theta}{L} \sin(\omega t)$$

↓
senal de ent.

é

sinusoidal

$$N_{Z0}(t) = - \frac{\mu_0 N S \omega \cos \theta}{L} \cos(\omega t)$$

$$= - \frac{\mu_0 N S \omega \cos \theta}{L} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

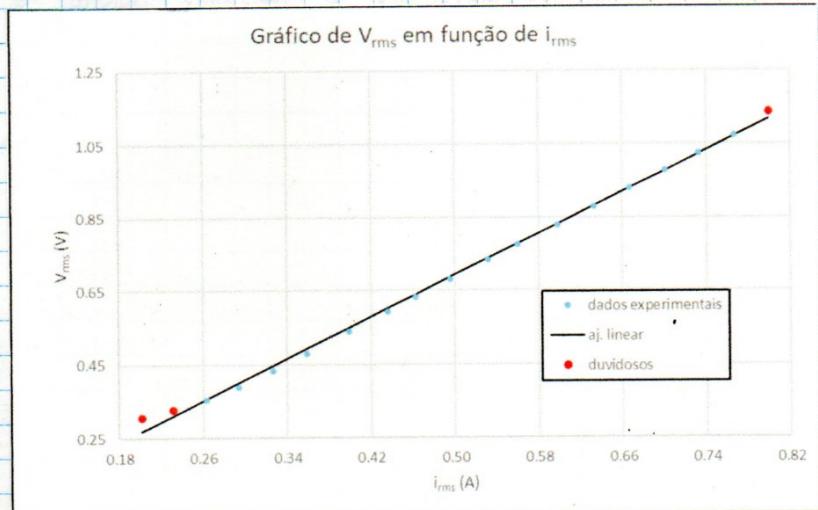
diferença de fase de 90°
entre o senal de entrada no senoidal e o gerado na bobina

Estudo da dependência de V_{RMS} em função de i_{rms}

Agora estudaremos como varia V_{RMS} com a intensidade de corrente que percorre o solenóide, i_{rms} . Para isso fixamos a frequência do sinal de entrada em $f = 996,5 \text{ Hz}$ (medido no osciloscópio) - valor que praticamente não variou durante a experiência.

A tabela de dados registrados, encontrada no anexo final:

Para um gama de i_{rms} é $[200; 800] \text{ mA}$ fiz-se um ajuste linear da forma e identificou-se que existe uma dependência linear entre V_{RMS} e i_{rms} , que pode ser estudada como a dependência linear entre V_{RMS} e i_{rms} .

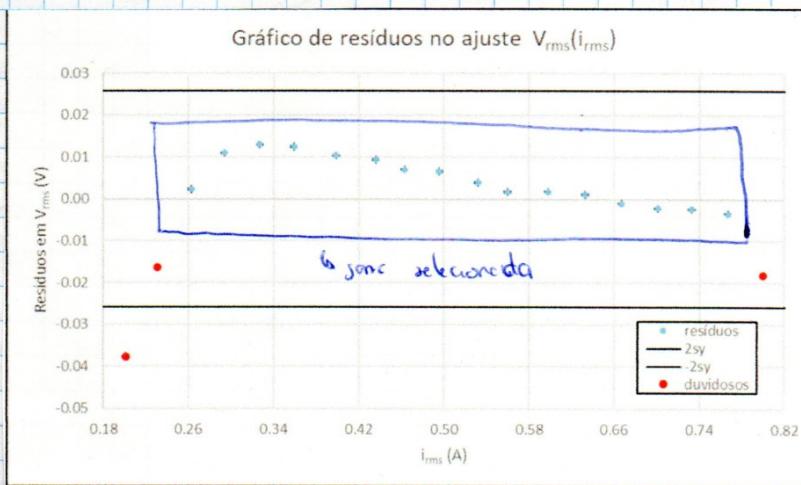


→ bairros de cima não visíveis

$$\mu(V_{\text{RMS}}) = 0,0001 \text{ V}$$

Reporta-se que a partir deste gráfico já se pode esperar obter os três pontos duvidosos que se encontram consideravelmente acima da reta dada pelo ajuste linear.

Com base neste ajuste inicial (metido no anexo) foram calculados e representados os resíduos nos valores de V_{RMS} .



→ bairros de inc. experimental não visíveis

$$\mu(V_{\text{RMS}}) = 0,0001 \text{ V}$$

→ Claramente os 3 pontos identificados afastam-se das demais e portanto serão considerados duvidosos e removidos da soma em estudo.

Conclusão das observações

Apresenta-se que para correntes mais baixas $i_{\text{rms}} < 250 \text{ mA}$ o gráfico de $V_{\text{RMS}}(i_{\text{rms}})$ já consegue curvar ligeiramente, sendo uma zona onde já não se verifica a relação linear esperada entre os grandes.

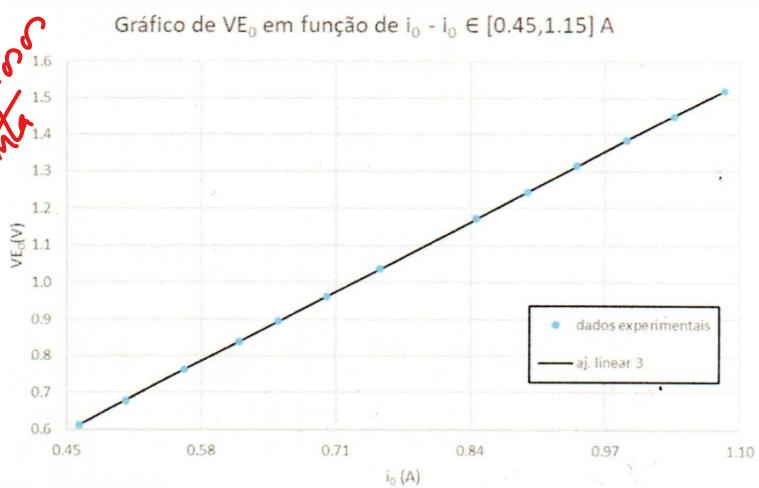
Comparando com resultados de outros grupos (P16, grupo 1, subgrupo B, jude simões e P16, grupo 2) verificamos que esta tendência é comum em todos os resultados.

mostre em gráfico: Ver para acreditar!

À partir de aqui fizemos mais dois ajustes e foram identificados mais pontos divididos (para que o gráfico fosse mais detalhado sobre os ajustes intermediários - consultar anexo final)

Ficamos com um ajuste final mais reduzido com ~~$i_0 \in [0.45, 1.15] A$~~ ($i_0 \in [320, 800] A$) (deveriam ter sido retirados mais pontos neste gama)

Apresentando o gráfico resultante do ajuste final, assim como os resíduos:

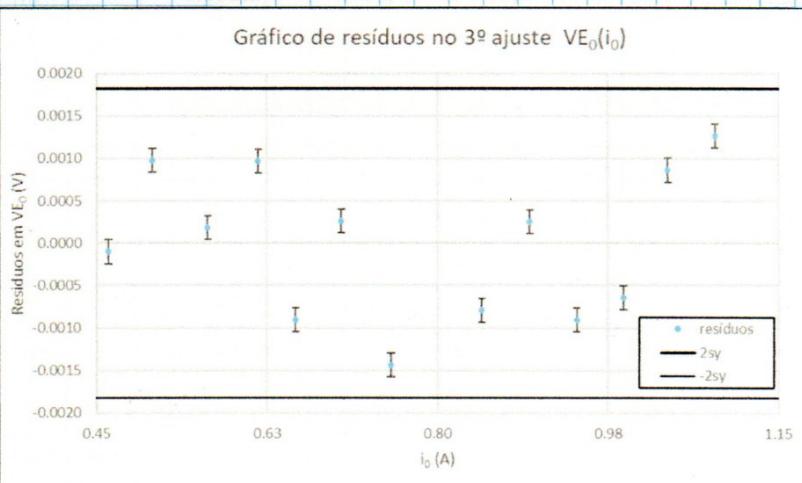


→ bolas de erro não visíveis

$$\mu(V_{Z0}) = 0,0001 V$$

Ajuste linear 3 $VE_0(i_0)$		
m	1.458	-0.061
Δm	0.001	0.001
R^2	0.99999	0.0009

A partir do ajuste foram calculados os resíduos



→ bolas de erro correspondente a

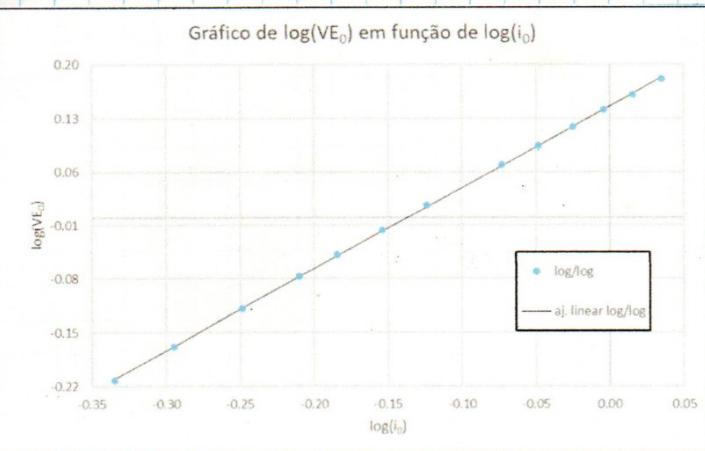
$$\mu(V_{Z0}) = 0,0001 V$$

→ Os resíduos parecem estar distribuídos aleatoriamente sem nenhuma tendência.

→ Não foram identificados pontos divididos

↳ Pergunta: Sua escolha da gama para este estudo?

Antes de calcular os valores de i_0 a partir deste ajuste verificamos a dependência linear entre os dois Grandes com um ajuste \log/\log .



	Aj. linear $\log(VE_0)\log(i_0)$
m	1.064
Δm	0.003
R^2	0.9999
b	0.1458
Δb	0.0005
s_y	0.001

→ barros do erro na saída
visuais

marque em $\log(VE_0)$ os mesmos
valores desde 0,00009 até
0,00023

~~falta grafico de com
resíduos e com
barra de inc.
experimental!~~

$$E(m_3)(\%) = 6,4\% \text{ por excesso}$$

$$\mu(m_3)(\%) = 0,3\%$$

Portanto, com o deducido do ajuste obtido em $\log(VE_0)$ em função de $\log(i_0)$, comparando com o valor esperado $m=1$, tem-se um erro percentual relativo de 6,4% por excesso e uma incerteza percentual, mas uma vez saída o que justifica a confiança neste resultado log/los, de 0,3%.

Conclui-se, portanto, que se verificou a dependência linear entre as duas grandezas e por isso podemos calcular o valor de μ_0 a partir do ajuste feito anteriormente.

A solução da prova é o cálculo dos resultados do mesmo do primeiro estudo, apresentando as mesmas características (S, L, n, N).

A frequência angular ω será usada no cálculo como uma média dos valores que foram medidas, no osciloscópio, durante a experiência, e que não se alteraram.

$$\bar{\omega} = (6261 \pm 2) \text{ rad s}^{-1}$$

incerteza: 20
int. de confiança de 95%

Neste caso, tem-se

$$m = \frac{\mu_0 N n S \cos \theta \bar{\omega}}{L} \Rightarrow \mu_0 = \frac{m L}{N n S \bar{\omega}}, \cos \theta = 1$$

E a incerteza:

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\mu}^2(\mu_0) &= \left(\frac{L}{N n S \bar{\omega}} \right)^2 \mu^2(m) + \left(\frac{m L}{N n S \bar{\omega}^2} \right)^2 \mu^2(\bar{\omega}) \end{aligned} \right.$$

E obtém-se

$$\mu_0^{(3)} = (1,222 \pm 0,001) \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$$

Com um erro $E(\mu_0^{(3)})(\%) = 2,8\%$ e $\mu(\mu_0^{(3)})(\%) = 0,1\%$
por defeito

NOTA: Sempre que possível, os gráficos devem ser representados com as grandezas medidas diretamente. Por exemplo V_{rms} (t) ou \log / \log destes!

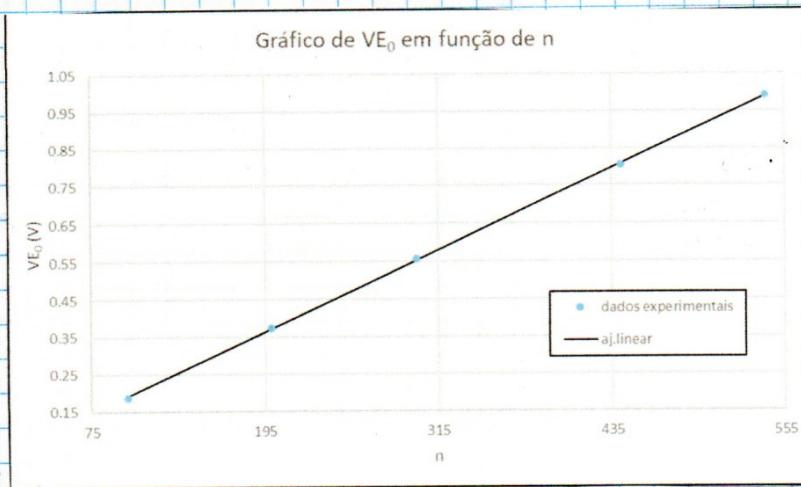
Estudo da dependência de V_{Z0} em função de n

Para este estudo utilizaram-se 5 bobinas de prova diferentes, todos com o mesmo diâmetro (n não foi medido), $d = 41\text{ mm}$, e portanto com a mesma área de seção reta $S = 1.32 \times 10^{-3}\text{ m}^2$ e com n.º de espiras n diferente.

Fixa-se $I_{rms} = (0.300 \pm 0.001)\text{ A}$ e uma frequência $f = (994.7 \pm 0.1)\text{ Hz}$

↳ Como não alteramos nada no circuito, apenas trocamos as bobinas de prova, verificou-se que estes valores de corrente e frequência foram constantes para as 5 bobinas.

Fez-se o gráfico e o ajuste linear de V_{Z0} em função de n , sendo que também foram representados graficamente os resíduos.

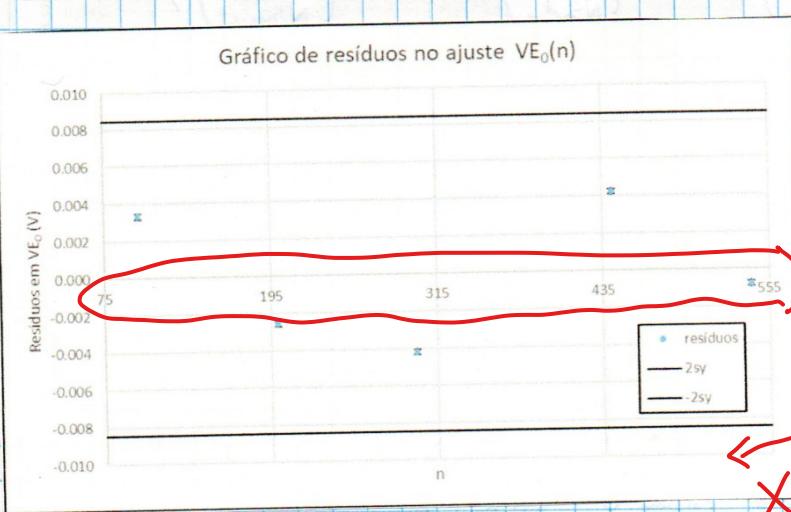


→ bobinas de prova não são visíveis

$$\mu(V_{Z0}) = 0.0001\text{ V}$$

Ajuste linear $VE_0(n)$	
m	0.00181
Δm	0.00001
R^2	0.9999
b	0.010
Δb	0.004
sy	0.004

NOTA: inf e + erro
line expo



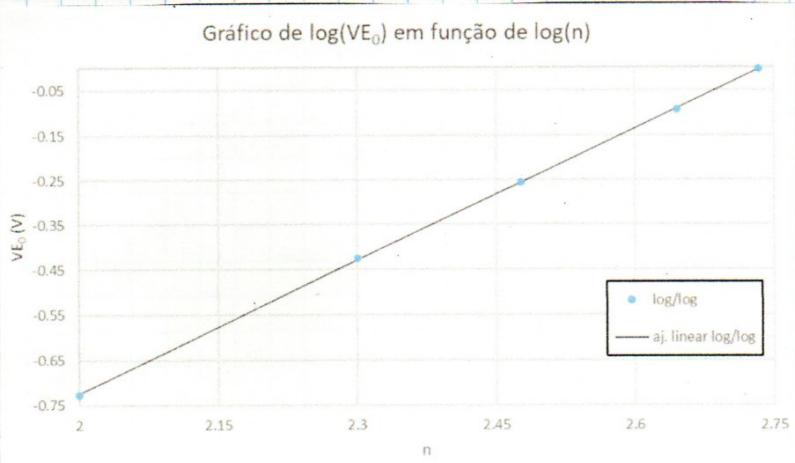
→ bobinas de prova não são visíveis

$$\mu(V_{Z0}) = 0.0001\text{ V}$$

Não se verifica qualquer tendência nos resíduos, sendo que estes estão distribuídos aleatoriamente.

↳ poucos pontos experimentais neste estudo

Antes de calcular o valor de μ a partir deste ajuste podemos, à semelhança do que foi feito nos análogos anteriores, verificar a linearidade da relação entre V_{Z0} e n , através de um ajuste de log/log.



→ Dados de erro na variável

Incerteza em $\log(VE_0)$
varia de 0,0001 a 0,0008

Resíduos?...[?]

Aj. linear $\log(VE_0) \log(n)$	
m	0.981
Δm	0.005
R^2	0.9999
b	-2.69
Δb	0.01
sy	0.003

$$\epsilon(m_4)(\%) = 1,9\% \text{ por defeito}$$

$$\mu(m_4)(\%) = 0,5\%$$

Mas uma vez obtemos uma incerteza relativa percentual no declive do eixo muito baixa o que justifica a realização deste estudo, e com efeito um erro relativo percentual também pequeno podemos considerar que se verifica a dependência linear entre as duas grandezas.

Para o cálculo do mu usar

$$m = \frac{\mu_0 N S \omega / 10 \cos \theta}{L} \Rightarrow \mu_0 = \frac{m L}{N S \omega / 10}, \cos 0^\circ = 1$$

E a incerteza

$$\left\{ \mu^2(\mu_0) = \left(\frac{L}{N S \omega / 10} \right)^2 \mu^2(m) + \left(\frac{m L}{N S \omega / 10} \right)^2 \mu^2(\omega) + \left(\frac{m L}{N S \omega / 10} \right)^2 \mu^2(\cos \theta) \right.$$

E obtém-se

$$\mu_0^{(4)} = (1,073 \pm 0,008) \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$$

$$\text{Com } \epsilon(\mu_0^{(4)})(\%) = 14,6\% \text{ e } \mu(\mu_0^{(4)})(\%) = 0,7\%$$

Estudo da dependência de VE_0 em função de $\cos \theta$

Para este estudo utilizou-se como subsino de prova (Sobine 6) de dimensões menores $S = 5,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ e $n = 100$, fixo num plato firme que roda e por isso permite-nos alterar o ângulo θ entre o eixo do solenóide (direção do campo magnético gerado) e o eixo do subsino de prova.

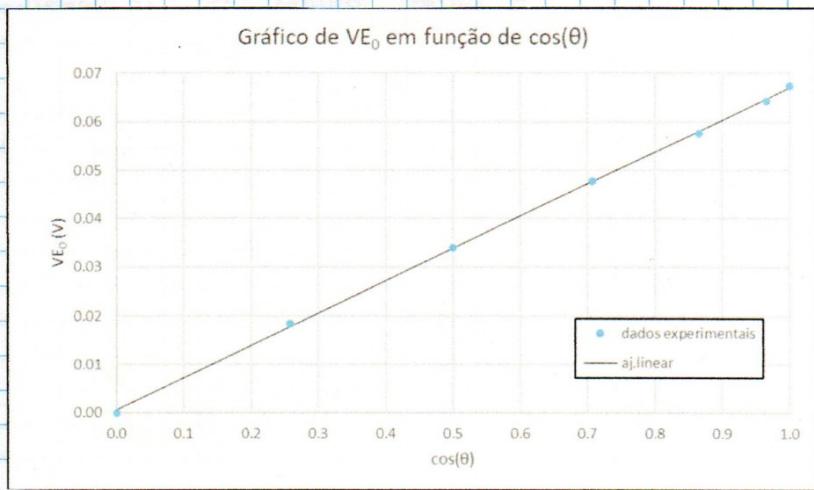
Fizeram-se os mesmos valores de constante e frequência do analisador:

$$i_{\text{rms}} = (0,300 \pm 0,001) \text{ A} \quad f = (998,7 \pm 0,1) \text{ Hz}$$

↳ Valores constantes durante todo o experimento

Comprou-se no ângulo $\theta = 0^\circ$ e variou-se até $\theta = 90^\circ$ de 15° em 15° , para eram os dimensões da transferência da plateforma

Faz-se o gráfico e o ajuste de VE_0 em função de $\cos(\theta)$ e a partir disso ajuste calcularem-se os resíduos resultantes



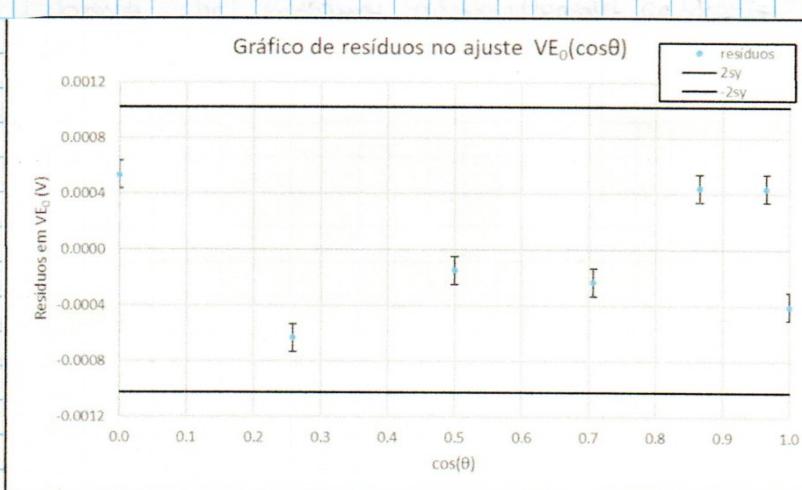
→ Sarras de erro não visíveis

$$\mu(VE_0) = 0.0001 \text{ V}$$

Como é previsto teoricamente quando $\theta = 90^\circ$ ($\cos\theta = 0$), há fluxo de campo magnético para atravessar o sólido de prova e o valor da tensão gerada é ~~zero~~ zero

No multímetro não se detectou tensão aparente 0.0001 V no ecrã

→ O ajuste apresenta uma ordem de magnitude de 0 com um incerteza próxima do próprio valor, como se era de esperar.

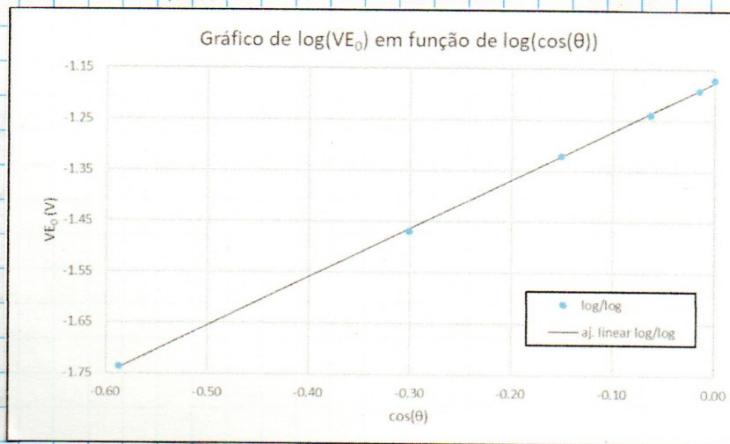


→ Sarras de erro correspondentes a

$$\mu(VE_0) = 0.0001 \text{ V}$$

→ Distribuição aleatória dos resíduos (poucos pontos experimentais)

Pode-se verificar a linearidade da relação entre VE_0 e $\cos\theta$ através do log/log



→ Sarras de erro não visíveis

A incerteza em $\log(VE_0)$ varia de 0.002 até 0.007, valores não visíveis no gráfico

Nota: O ponto correspondente a $\theta = 90^\circ$ teve de ser removido do eixo da log/log para o valor de $\log(0)$ não estar definido.

Ajuste linear $\log(VE_0)\log(\cos(\theta))$		
m	0.957	-1.176 b
Δm	0.008	Δb
R^2	0.9997	0.004 sy

$$\mu(m_s) (\%) = 4,3\% \text{ por defeito}$$

$$\mu(m_s) (\%) = 0,8\%$$

Com uma barra incerteza relativa percentual e um erro relativo reduzido podemos verificar a dependência linear entre os dois grandezas e permitir para o cálculo de μ_0 .

Deste vez:

$$m = \frac{\mu_0 N n S i o \omega}{L} \Rightarrow \mu_0 = \frac{m L}{N n S i o \omega}$$

E a incerteza:

$$\left\{ \mu^2(\mu_0) = \left(\frac{L}{N n S i o \omega} \right)^2 \mu^2(m) + \left(\frac{m L}{N n S i o \omega^2} \right)^2 \mu^2(i_o) + \left(\frac{m L}{N n S i o \omega^2} \right)^2 \mu^2(\omega) \right.$$

E obtém-se:

$$\mu_0^{(5)} = (9,82 \pm 0,09) \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$$

$$\text{com } \epsilon(\mu_0^{(5)}) (\%) = 21,9\% \text{ e } \mu(\mu_0^{(5)}) (\%) = 0,9\%$$

erro percentual
relativo consideravelmente maior do que
aqueles obtidos até aqui \rightarrow erro por defeito

Resultado final

	Cálculo de μ_0				Verificação de linearidade	
	Valor (Hm^{-1})	Incerteza (Hm^{-1})	Erro (%)	Incerteza (%)	erro (%) em m	Inc. (%) em m
$VE_0(\omega)$ gama 1	$\mu_0^{(1)}$	1.19E-06	1E-08	5.6%	0.9%	0.03%
$VE_0(\omega)$ gama 2	$\mu_0^{(2)}$	1.36E-06	1E-08	8.4%	0.8%	13%
$VE_0(i_o)$	$\mu_0^{(3)}$	1.222E-06	1E-09	2.8%	0.1%	6.4%
$VE_0(n)$	$\mu_0^{(4)}$	1.073E-06	8E-09	14.6%	0.7%	1.9%
$VE_0(\cos(\theta))$	$\mu_0^{(5)}$	9.82E-07	9E-09	21.9%	0.9%	4.3%

Considerando todos os resultados verificamos que os estudos da dependência de V_{20} em função de n e em função de $\cos(\theta)$ são os que apresentam ~~maior erro~~, apresentando erros relativos percentuais relativamente elevados. Além disso, pode destacar-se que nestes dois estudos o valor de μ_0 foi calculado por defeito. Apesar disso, nestes dois estudos, continuou a verificar a linearidade na relação entre as grandezas estudadas. Este erro por defeito pode ser consequência da redução grande experimental nela, mas vez que apenas se medem 5 soluções diferentes no estudo da variação de n e 7 ângulos diferentes no estudo da variação de θ .

Total
discussão
mais

Decidimos comparar estes resultados com os obtidos pelo grupo 1 do turno P26 e do grupo 2 de turno P26. Verificou-se que nem ambos o valor de μ_0 foi calculado por defeito tanto no estudo de n como no estudo de cosθ. Além disso, é remetendo ob que obtivemos emas valores de μ_0 apresentam erros relativos elevados: ~~verres de de 12% a 24%~~ de 12% a 24% no estudo de n e ~~verres de 24% a 30%~~ de 24% a 30% no estudo de cosθ. Portanto, concluimos qe no estudo destes dois dependentes ocorrem erros sistemáticos qe também afetaram os outros grupos de trabalho.

Tendo em conta os outros valores por escolhido o melhor (com maior confiança) como sendo o resultado final, o valor obtido no estudo de $V_{\text{fo}}(w)$.

→ tem a maior exactidão e precisão

$$(\text{a amarelo na folha}) \quad \mu_0 = (1,222 \pm 0,001) \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1} \quad \text{por defeito}$$

De reitar qe nos outros grupos de trabalho este também foi o valor de μ_0 com menor incerteza percentual, relevando qe os erros sistemáticos e electrónicos foram controlados nessa experiência, tendo sido controlados todos os outros parâmetros. Foi também um estudo onde foi possível usar uma goma com mais pontas, logo maior confiança.

Conclusão:

→ não aradianas / resistâncias

- Verificou-se durante toda a experiência qe o diferença de fase entre o sinal de entrada no osciloscópio e o sinal gerado, por indução, na bobina de prova se mantém ~~aproximadamente constante com valor de~~ (90°) . Pode-se ~~avaliar quantitativamente este valor no estudo de $V_{\text{fo}}(w)$ onde se obteve qe a diferença de fase entre os sinais foi (90°) , com um grau de confiança de 95%~~ a menos de ~~...%~~ de inc. e ~~...%~~ de erro.

- A partir do estudo de V_{fo} em função de outros parâmetros verificou-se a constância da indução magnética qe foi consequentemente calculada pela linearidade das relações de V_{fo} com os diferentes parâmetros. Para todos os estudos, excepto a goma 2 de $V_{\text{fo}}(w)$, obteve-se um erro relativo percentual no declive do gráfico de ~~90% a 100%~~ 100% a 100%, inferior a 6,5% e em todos o incerteza (%) em m foi menor do qe ~~100%~~ 1%. No estudo de $V_{\text{fo}}(w)$, juntamente com a ser calculado m com um erro de 13% por cacceno, o qe pode indicar uma leitura imprecisa dos multímetros para o valor eficaz de tensão, para frequências mais altas.

- Para o determinação de μ_0 sistematicamente verificou-se qe o estudo com maior confiança, ~~que também mais exato e preciso~~, foi o estudo de $V_{\text{fo}}(w)$, apresentando um erro de $\%E(\mu_0) = 2,8\%$, por defeito, e uma incerteza percentual $\mu(\%) = 0,1\%$. No estudo de $V_{\text{fo}}(w)$, por juntamente com a teve-se $E(\%) = 9,6\%$ e $\mu(\%) = 0,9\%$ e para a goma 2 teve-se $E(\%) = 9,4\%$ e $\mu(\%) = 0,9\%$. ~~Os estudos de $V_{\text{fo}}(\text{ran})$ e $V_{\text{fo}}(\cos\theta)$, por apresentarem gomas com menos pontas são os de menor confiança sendo também os menos exactos, tendo-se obtido $E(\%) = 11,6\%$ e $\mu(\%) = 0,7\%$, e $E(\%) = 21,9\%$ e $\mu(\%) = 0,9\%$, respetivamente.~~ Por estes motivos considerou-se o resultado final aquele qe foi obtido no estudo de $V_{\text{fo}}(w)$ qe foi

$$\mu_0 = (1,222 \pm 0,001) \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1} \quad E(\%) = 2,8\% \text{ por defeito} \\ \mu(\%) = 0,1\%$$

Máx e
↓ E₀ / máx
nim V
(em multímetro)
TRUE RMS

Endereço
o que não goma 1
+ goma 2
(aqui!)

Apesar de diferenças na exactidão dos resultados, a precisão dos mesmos foi semelhante, ficando com incertezas percentuais inferiores a 1%, o que evidencia o facto de esta experiência ter sido afectada por erros sistemáticos, maioritariamente

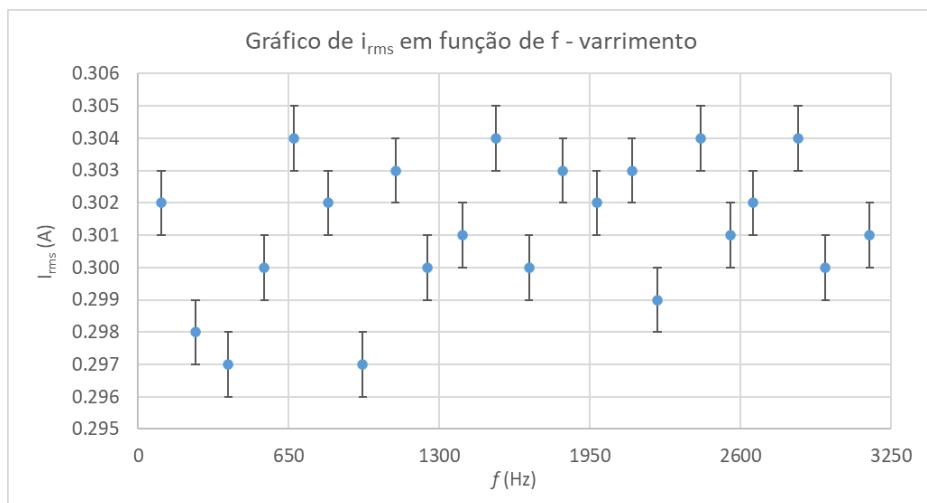
Por exemplo, não se teve em conta o campo magnético que o suporte de prova gera que também move o fluido de campo que o atravessa como atravessa o zénóide, não sendo só o campo criado pelo zénóide que afeta a tensão gerada no bobinado.

Todos os erros foram obtidos por efeito exacto o estudo da 2^ª gama de $VE_0(\omega)$, que evidencia o possível problema dos milímetros

Na globalidade os resultados não foram muito satisfatórios, porém, como já foi referido, a experiência no estudo de alguns parâmetros foi afectada por erros sistemáticos de efeitos outros grupos do tratado, com os quais conseguimos resultados. Porém, o resultado final que nos é mais satisfatório e por isso é considerado verificado a lei de indução magnética.

Anexo:

Gráfico da corrente em função da frequência para o varrimento inicial:



Amostra da tabela de dados recolhidos em laboratório:

- Para o estudo de $VE_0(\omega)$:

Para a gama completa:

dif. de fase (°)	$V_{rms} \pm$ 0.0001 (V)	$i_{rms} \pm$ 0.001 (A)	f (Hz)	Δf (Hz)	ω (rad s ⁻¹)	$\Delta\omega$ (rad s ⁻¹)	i_0 (A) \pm 0.001 (A)	$VE_0 \pm$ 0.0001 (V)	VE_0 ajuste (V)	Resíduos (V)
91.0	0.0444	0.303	99.7	0.1	626.4	0.6	0.429	0.0628	0.0202	-0.043
90.2	0.1308	0.303	295.5	0.1	1856.7	0.6	0.429	0.1850	0.1484	-0.037
94.4	0.2181	0.303	498.1	0.1	3129.7	0.6	0.429	0.3084	0.2810	-0.027
86.2	0.3053	0.303	700.3	0.1	4400.1	0.6	0.429	0.4318	0.4134	-0.018
93.5	0.3856	0.303	897.3	0.1	5637.9	0.6	0.429	0.5453	0.5423	-0.003
88.0	0.4690	0.303	1096.7	0.1	6890.8	0.6	0.429	0.6633	0.6729	0.010
91.9	0.5606	0.303	1302.9	0.1	8186.4	0.6	0.429	0.7928	0.8079	0.015
88.1	0.6499	0.303	1508.1	0.1	9475.7	0.6	0.429	0.9191	0.9422	0.023
91.8	0.7437	0.303	1702.8	0.1	10699.0	0.6	0.429	1.0518	1.0696	0.018
90.7	0.8480	0.303	1909.8	0.1	11999.6	0.6	0.429	1.1993	1.2051	0.006
92.7	0.9597	0.303	2104.5	0.1	13223.0	0.6	0.429	1.3572	1.3326	-0.025
88.4	1.0513	0.303	2251.7	0.1	14147.8	0.6	0.429	1.4868	1.4290	-0.058
90.2	1.1549	0.303	2429.5	0.1	15265.0	0.6	0.429	1.6333	1.5453	-0.088
88.8	0.4257	0.303	986.6	0.1	6199.0	0.6	0.429	0.6020	0.6008	-0.001
88.5	0.4321	0.303	1002.4	0.1	6298.3	0.6	0.429	0.6111	0.6111	0.0001
89.0	0.5143	0.303	1197.7	0.1	7525.4	0.6	0.429	0.7273	0.7390	0.012
89.2	0.6056	0.303	1408.1	0.1	8847.4	0.6	0.429	0.8564	0.8767	0.020
89.2	0.6459	0.303	1500.5	0.1	9427.9	0.6	0.429	0.9134	0.9372	0.024
88.5	0.6920	0.303	1600.0	0.1	10053.1	0.6	0.429	0.9786	1.0023	0.024
84.6	0.7927	0.303	1799.8	0.1	11308.5	0.6	0.429	1.1210	1.1331	0.012
90.2	0.8205	0.303	1851.3	0.1	11632.1	0.6	0.429	1.1604	1.1668	0.006
89.7	0.4497	0.303	1052.4	0.1	6612.4	0.6	0.429	0.6360	0.6439	0.008
90.0	0.4913	0.303	1148.0	0.1	7213.1	0.6	0.429	0.6948	0.7065	0.012
88.4	0.5341	0.303	1248.3	0.1	7843.3	0.6	0.429	0.7553	0.7721	0.017
88.9	0.5788	0.303	1351.9	0.1	8494.2	0.6	0.429	0.8185	0.8399	0.021
90.0	0.6227	0.303	1446.1	0.1	9086.1	0.6	0.429	0.8806	0.9016	0.021
90.0	0.6722	0.303	1553.3	0.1	9759.7	0.6	0.429	0.9506	0.9718	0.021
89.8	0.7171	0.303	1646.1	0.1	10342.8	0.6	0.429	1.0141	1.0325	0.018
90.2	0.7659	0.303	1748.8	0.1	10988.0	0.6	0.429	1.0831	1.0997	0.017

Para a gama selecionada (divisão em gama 1, a azul, e gama 2, a laranja. Ponto duvidoso a vermelho):

$V_{rms} \pm$ 0.0001 (V)	$i_{rms} \pm$ 0.001 (A)	f (Hz)	Δf (Hz)	ω (rad s ⁻¹)	$\Delta\omega$ (rad s ⁻¹)	i_0 (A) \pm 0.001 (A)	$VE_0 \pm$ 0.0001 (V)	VE_0 ajuste (V)	Resíduos (V)
0.4257	0.303	986.6	0.1	6199.0	0.6	0.429	0.6020	0.5887	-0.013
0.4321	0.303	1002.4	0.1	6298.3	0.6	0.429	0.6111	0.5990	-0.012
0.4497	0.302	1052.4	0.1	6612.4	0.6	0.427	0.6360	0.6316	-0.004
0.4690	0.303	1096.7	0.1	6890.8	0.6	0.429	0.6633	0.6604	-0.003
0.4913	0.303	1148.0	0.1	7213.1	0.6	0.429	0.6948	0.6938	-0.001
0.5143	0.303	1197.7	0.1	7525.4	0.6	0.429	0.7273	0.7262	-0.001
0.5341	0.303	1248.3	0.1	7843.3	0.6	0.429	0.7553	0.7592	0.004
0.5606	0.304	1302.9	0.1	8186.4	0.6	0.430	0.7928	0.7948	0.002
0.5788	0.303	1351.9	0.1	8494.2	0.6	0.429	0.8185	0.8267	0.008
0.6056	0.303	1408.1	0.1	8847.4	0.6	0.429	0.8564	0.8633	0.007
0.6227	0.303	1446.1	0.1	9086.1	0.6	0.429	0.8806	0.8881	0.007
0.6459	0.303	1500.5	0.1	9427.9	0.6	0.429	0.9134	0.9235	0.010
0.6499	0.303	1508.1	0.1	9475.7	0.6	0.429	0.9191	0.9285	0.009
0.6722	0.304	1553.3	0.1	9759.7	0.6	0.430	0.9506	0.9579	0.007
0.6920	0.303	1600.0	0.1	10053.1	0.6	0.429	0.9786	0.9883	0.010
0.7171	0.304	1646.1	0.1	10342.8	0.6	0.430	1.0141	1.0184	0.004
0.7437	0.303	1702.8	0.1	10699.0	0.6	0.429	1.0518	1.0553	0.004
0.7659	0.302	1748.8	0.1	10988.0	0.6	0.427	1.0831	1.0853	0.002
0.7927	0.303	1799.8	0.1	11308.5	0.6	0.429	1.1210	1.1185	-0.003
0.8205	0.303	1851.3	0.1	11632.1	0.6	0.429	1.1604	1.1521	-0.008
0.8480	0.302	1909.8	0.1	11999.6	0.6	0.427	1.1993	1.1902	-0.009
0.8744	0.304	1950.4	0.1	12254.7	0.6	0.430	1.2366	1.2166	-0.020

Para verificar a linearidade das relações em estudo (análise log/log):

Cálculo da incerteza em log (VE_0) (aplicável a outras grandezas onde se verifique $x=\log(y)$):

$$\mu(\log(VE_0)) = \frac{\mu(VE_0)}{VE_0}$$

Amostra da tabela utilizada:

Para o estudo de $VE_0(\omega)$: (gama 1 a azul, gama 2 a laranja)

$\log(VE_0)$	$\Delta\log(VE_0)$	$\log(\omega)$	$\Delta\log(\omega)$	$\log(VE_0)$ ajuste
-0.22038	0.00023	3.7923	0.0001	-0.22260
-0.21390	0.00023	3.7992	0.0001	-0.21571
-0.19656	0.00022	3.8204	0.0001	-0.19457
-0.17831	0.00021	3.83827	0.00009	-0.17667
-0.15814	0.00020	3.85812	0.00009	-0.15682
-0.13827	0.00019	3.87653	0.00008	-0.13842
-0.12186	0.00019	3.89450	0.00008	-0.12046
-0.10083	0.00018	3.91309	0.00008	-0.10187
-0.08696	0.00017	3.92912	0.00007	-0.08584
-0.06730	0.00017	3.94681	0.00007	-0.06816
-0.05521	0.00016	3.95838	0.00007	-0.05660
-0.03932	0.00015	3.97442	0.00007	-0.03959
-0.03664	0.00015	3.97661	0.00007	-0.03711
-0.02199	0.00015	3.98944	0.00006	-0.02262
-0.00938	0.00014	4.00230	0.00006	-0.00808
0.00609	0.00014	4.01464	0.00006	0.00586
0.02191	0.00013	4.02934	0.00006	0.02248
0.03469	0.00013	4.04092	0.00006	0.03557
0.04962	0.00013	4.05340	0.00006	0.04968
0.06459	0.00012	4.06566	0.00005	0.06352
0.07891	0.00012	4.07917	0.00005	0.07879

Estudo de $VE_0(i_0)$:

Identificação de mais pontos duvidosos na gama selecionada (na análise só foi demonstrada a gama final, já filtrada destes duvidosos).

