

17

Diogo Pimenta - PL1 - G3-SGA
Objetivos

- Estudo da transmissão de impulsos através de cabo coaxial:
 - Em circuito fechado
 - Em malha aberta ($Z_L \rightarrow \infty$)
 - Em curto-círcuito ($Z_L = 0$)
- Determinações de diferentes grandezas importantes ao estudo:
 - Impedância de carga quando $V_r(Z_L) = 0$, Z_C
 - Constante de atenuação, α
 - Velocidade de propagação, v , a partir do registo de:
 - Amplitudes, V_m , de uma sequência de impulsos
 - Frequência, f , do sinal de entrada e diferença de fase, ϕ , entre
 - Sinal de entrada e o sinal refletido
- Familiarização com processos e equipamento de transmissão de sinalis, nomeadamente, o cabo coaxial

Equações a Verificar

$$\text{Coeficiente de Reflexão } T'_L = \frac{V_r(l,t)}{V_i(l,t)} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$\text{Atenuação} \quad \frac{V_{i+1}}{V_i} = T' e^{-2\alpha l} \quad \ln\left(\frac{V_m}{V_i}\right) = [\ln(T') - 2\alpha l] m$$

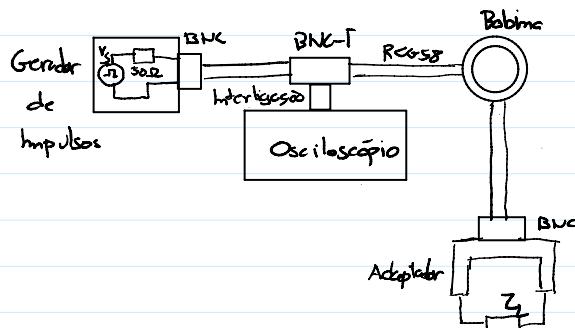
$$T' = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} = \frac{600 - 50}{600 + 50} \approx 0,846$$

$$\text{Velocidade} \quad d = vt \Leftrightarrow 2m \cdot l = vt$$

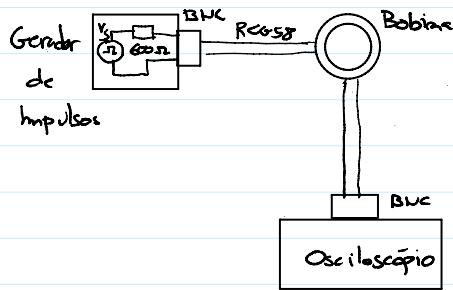
$$f = \frac{v}{360l} \varphi(^{\circ}) = \frac{v}{2\pi l} \varphi(\text{rad})$$

Montagem

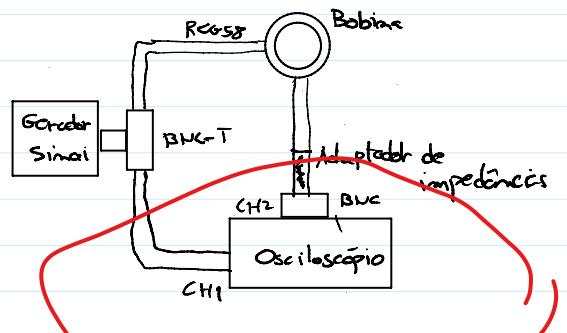
(A)



(B)



(C)



Materia

- Gerador de Impulsos
- Gerador de Sinais Sineoidais
- Linha coaxial RG58
- Osciloscópio
- Caixa de resistências
- Adaptador de impedâncias
- Bobina de cabo coaxial

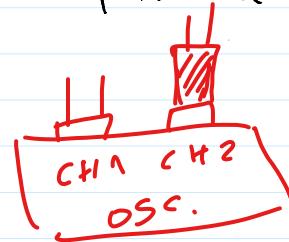
$$T = 5 \text{ ns} ; \text{ larg. impulsos} = 200 \text{ ms} ; R_{\text{im}} = 50 \Omega \text{ ou } 600 \Omega$$

$$R_{\text{im}} = 50 \Omega ; \text{ MAIN; Matrix GX 310}$$

$$L = (63,56 \pm 9,05) \text{ m} \quad a = 0,9 \text{ mm} \quad b = 2,95 \text{ mm}$$

$$Z = 50 \Omega \quad C = 100 \text{ pF/m} \quad \alpha < 0,02 \text{ dB/m@10MHz}$$

Tektronics



Procedimento

A - Amplitude do impulso repletido

- 1 - Realizar a montagem A
- 2 - Escolher a resistência de saída do gerador 50Ω para ser igual à impedância do cabo coaxial, para não haver reflexões de impulsos
- 3 - Variar a resistência Z_L
- 4 - Construir um gráfico $V_r(Z_L)$
- 5 - Determinar Z_c (interseção da linha de ajuste com o eixo Z_L) ($T_L = 0$)
- 6 - Registrar as observações do osciloscópio para:
 - Muito aberta ($Z \rightarrow \infty$) $T_L = 1$
 - Curto-circuito ($Z = 0$) $T_L = -1$

B - Coeficiente de atenuação e Velocidade de propagação

- 1 - Realizar a Montagem B
- 2 - Escolher a impedância de 600Ω no gerador para não haver reflexões à entrada do osciloscópio
- 3 - Construir um gráfico $\ln(V)$ em função do número m de impulsos
- 4 - Determinar o coeficiente de absorção α e comparar com o tabelado
- 5 - Construir um gráfico $d = 2mL$ em função de t
- 6 - Determinar a velocidade

C - Variações da frequência

- 1 - Realizar a montagem C
- 2 - Variar a frequência do sinal de entrada
- 3 - Registrar os valores de frequência, f , e diferença de fase, φ
- 4 - Construir um gráfico $f(\varphi)$
- 5 - Determinar o valor de v

Valores referência:

$$\alpha < 0,02 \text{ dB/m}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 1,98 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

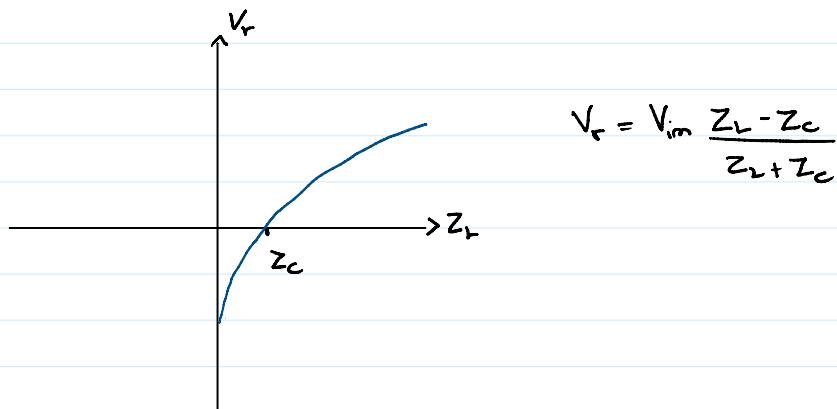
$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$$\epsilon(\text{dielectr}) = 2,3 \epsilon_0$$

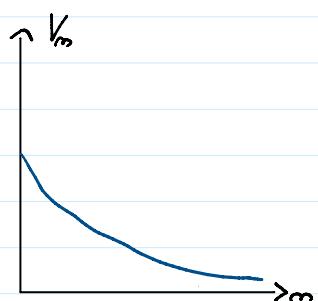
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1} \approx \mu$$

Previsão dos Gráficos

(A)

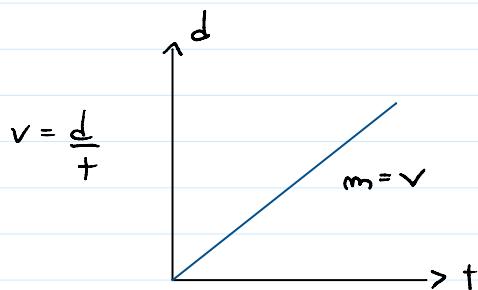
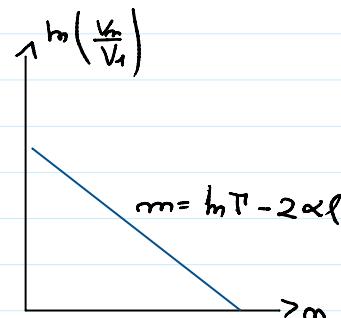


(B)

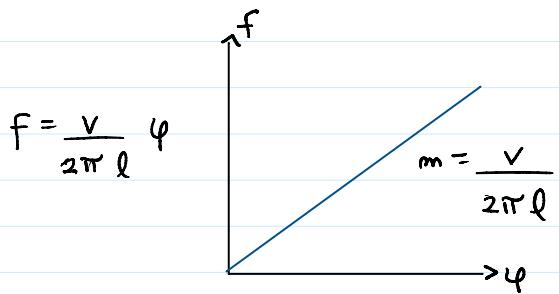


$$\frac{V_m}{V_1} = T C^{-2\alpha l m}$$

$$\ln(V_m) = [m T - 2\alpha l] m - \ln(V_1)$$



C



Notas de Aula

$\rightarrow R=0 \Rightarrow$ curto-circuito

$\rightarrow R=\infty \Rightarrow$ Malha aberta

Malha Saturada
Malha aberta

Análise de Dados

A

Inicialmente, realizou-se o estudo da amplitude do impulso refletido em malha aberta e em curto-circuito. Observaram-se os seguintes perfis no osciloscópio.

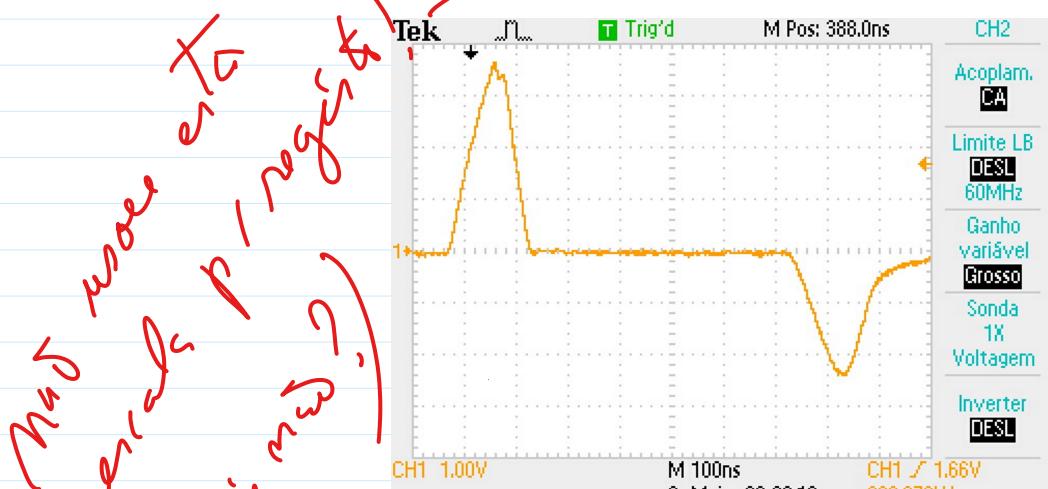
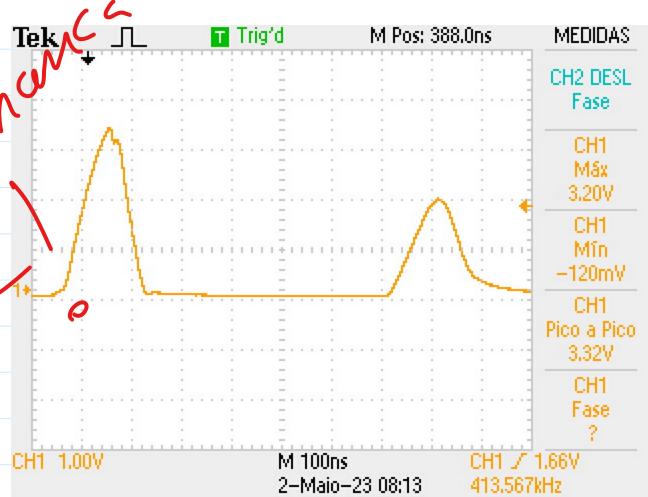


Fig 1 - Impulso refletido em curto-circuito

Em curto-circuito, $Z=0$, o sinal é totalmente invertido, verificando-se que $T=-1$



Em malha aberta, $Z = \infty$, o impulso não é invertido, verificando-se que $T = 1$.

Nos valores intermediários, aumentando sucessivamente a impedância da carga ligada ao cabo coaxial, visualizamos que a parte negativa diminui, aumentando a positiva. Decidiu-se então estudar de que forma ocorreu essa variação.

Sabendo que o mesmo valor de interesse era $50\ \Omega$, medimos a amplitude do impulso homogeneousmente ao redor deste valor. Construiu-se então o gráfico $V_r(Z_L)$. O valor V_r é a diferença entre a amplitude positiva e o módulo da amplitude negativa.

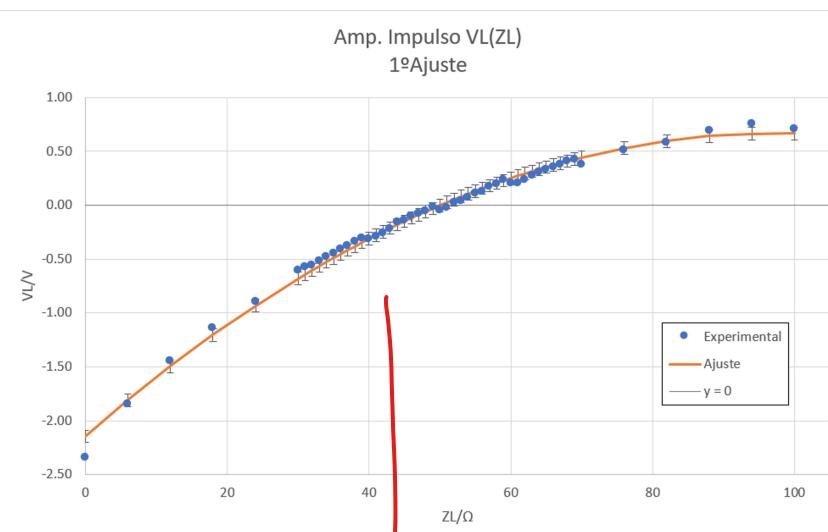


Fig 3 - Gráfico de V_r em função de Z_L com reta de ajuste

Para minimizar o efeito de resa

deve ter alargado o gama c/ > densidade de ponta até $[20, 80]\ \Omega$



Fig 4- Gráfico de resíduos do primeiro ajuste polinomial

Tendo em conta a distribuição de dados da figura, decidimos fazer um ajuste polinomial de grau 2. → Mas só me gano [30, 70] Ω

Paralelamente disso, observou-se uma tendência em seta no intervalo $[40, 70]\Omega$, com patamares de 10 em 10Ω . Associamos esta ocorrência à modulação do valor das leituras de uma resistência. Uma possibilidade para este erro sistemático é que uma resistência interna de ligação estivesse defeituosa.

Como havia resíduos fora do intervalo $[-2\Omega, 2\Omega]$, fizemos-se movidas linearizadoras até todos se encontrarem dentro deste. Foram retirados os pontos de 6, 12, 88 e 94Ω . Assim, os gráficos do 2º ajuste é:

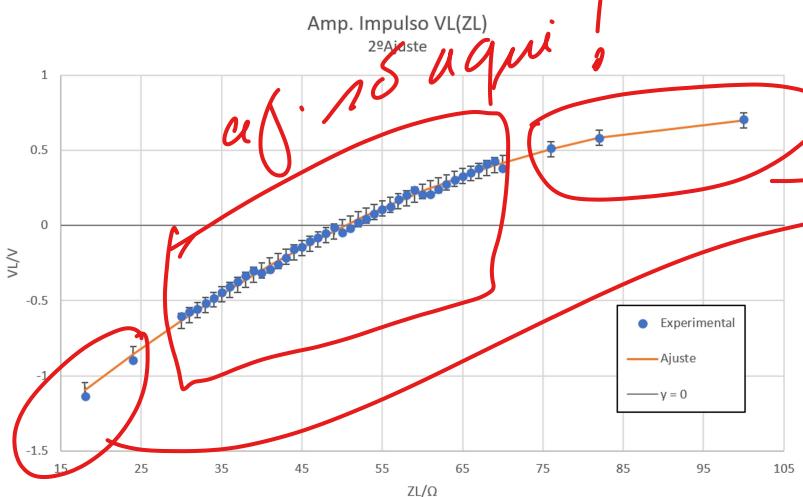


Fig 5- Gráfico do 2º Ajuste Polinomial

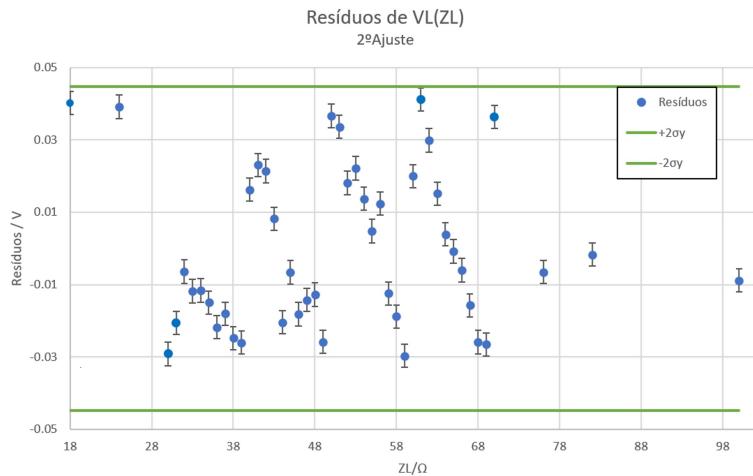


Fig 6- Gráfico de resíduos do 2º Ajuste

Parâmetros do 2º Ajuste VL(ZL)			
	a	b	c
Valor	-0.00024	0.050	-1.92
$u()$	0.00001	0.001	0.03
r^2/σ_y	0.997	0.02	

Fig 7 - Parâmetros do Ajuste Polinomial

Consideramos todos os pontos para a análise dos dados porque todos os resíduos, com a sua respectiva incerteza, encontram-se no intervalo $[-2\sigma_y, 2\sigma_y]$.

A equação para o ajuste é dada por:

$$y = -0,00024x^2 + 0,050x - 1,92$$

O primeiro zero desta equação é o valor de Z_c :

$$y = 0 \Rightarrow Z_c = 50,47 \Omega$$

Como a média das incertezas dos parâmetros de ajuste é aproximadamente 3% da respectiva parâmetro, podemos estimar a incerteza de Z_c como sendo 3% de Z_c , ou seja, 2Ω .

$$Z_c = (50 \pm 2) \Omega$$

Tendo em conta a incerteza estimada, o valor de Z_c é idêntico ao esperado, não podendo assim calcular o erro.

(B)

Como o sinal é atenuado, podemos calcular o coeficiente de atenuação e a velocidade de propagação do sinal.

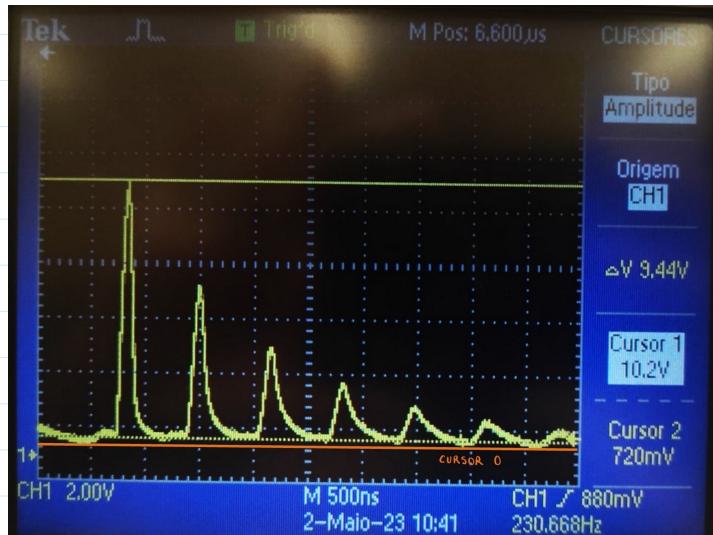


Fig 8 - Visualização dos picos no osciloscópio

Nota: As medidas foram feitas com o cursor no zero na posição da linha laranja, isto é, na posição mais baixa do último pico

Observou-se que não só a amplitude dos picos diminuiu, mas também os picos se tornaram mais largos

Coefficiente de Atenção

Realizou-se uma análise do logaritmo natural da tensão em função do número do impulso.

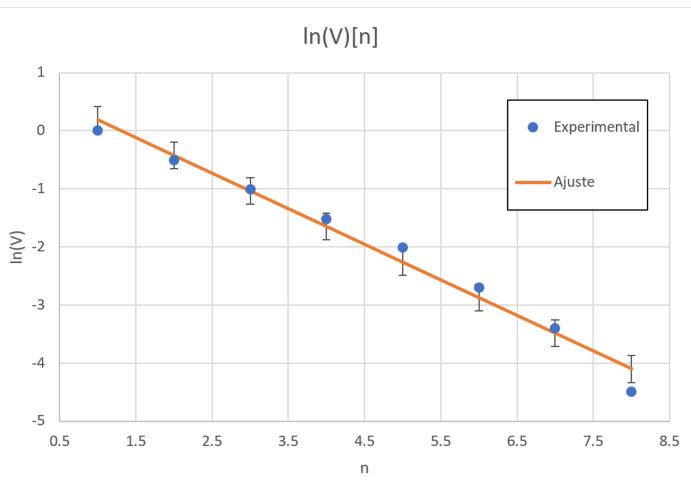


Fig 9 - Gráfico de $\ln(V)$ em função de n

Graf. 9 Residuo: falta, no título de eixo, a grandeza e eventualmente a unidade!

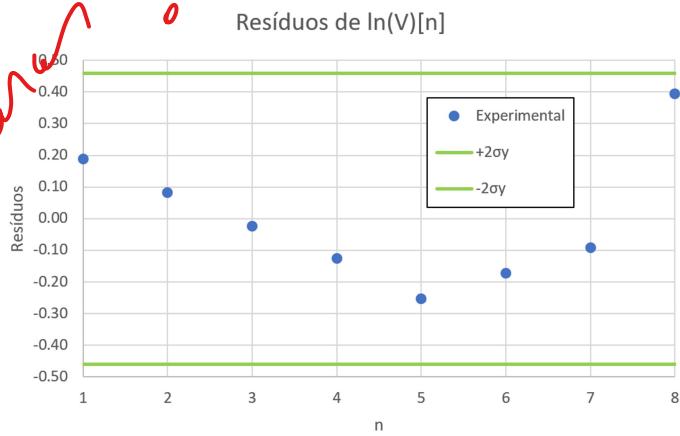


Fig 10 - Gráfico de resíduos de $\ln(V)$ [n]

Parâmetros de Ajuste $\ln(V)$ [n]		
m	-0.61	0.8 b
$u(m)$	0.04	0.2 $u(b)$
r^2	0.98	0.2 σ_y

Fig 11 - Tabela de Ajuste de $\ln(V)$ [n]

Nota: Sempre que não forem apresentados barros de erro e de incerteza, é porque estes foram demasiado pequenos para adicionar informações relevantes.

Tendo em conta o elevado valor de r^2 e que os erros se encontram no intervalo, este considerou-se um bom ajuste

$$\ln \left(\frac{V_m}{V_1} \right) = [\ln T - 2\alpha l]_m$$

$$T = 0,84 \quad (\text{calculado acima})$$

$$u(T) = \sqrt{\frac{2z_e}{(z_e + z_e)^2}} = 0,02$$

$$m = \ln T - 2\alpha l$$

$$\Leftrightarrow 2\alpha l = \ln T - m$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{\ln T - m}{2l} = 0,0636 \text{ mm}^{-1} < 0,02$$

$$u(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{u(T)}{2l} \right)^2 + \left(\frac{u(m)}{2l} \right)^2 + \left(\frac{(\ln T - m)u(l)}{2l^2} \right)^2} = 0,0004$$

$$\alpha = (3,6 \pm 0,4) \text{ mm}^{-1}$$

Velocidade de Propagação

Construiu-se um gráfico da distância percorrida pelo sinal em função do tempo, tendo em conta os instantes t em que ocorrem os picos

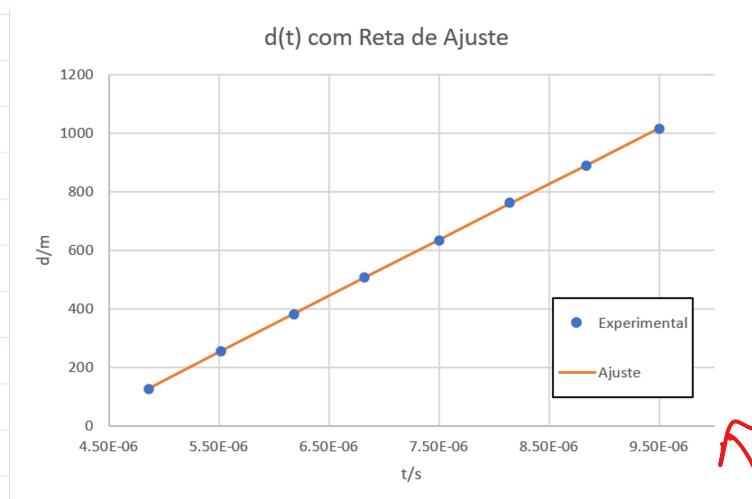


Fig 12 - Gráfico de $d(t)$

NOTA : zeros

a mais nas escadas de alguns gráficos

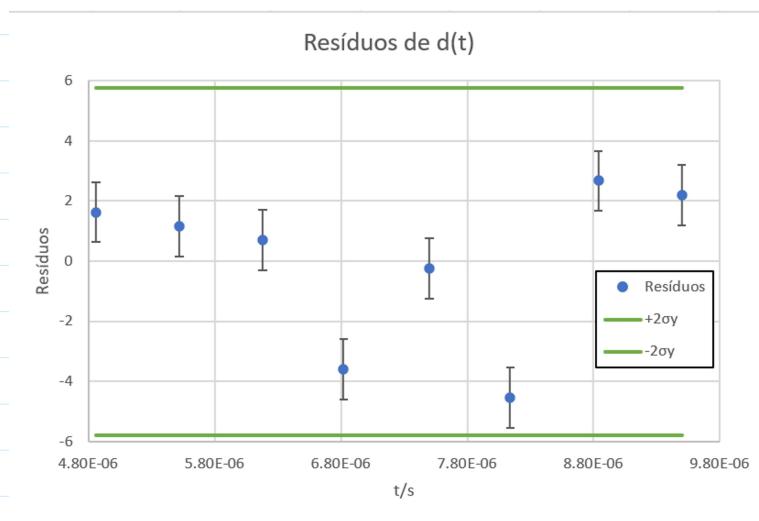


Fig 13 - Resíduos de $d(t)$

Parâmetros de Ajuste $d(t)$		
m	$1,857 \times 10^8$	b
$u(m)$	$7E+05$	$5 u(b)$
r^2	0.99993	3 sy

Fig 14 - Parâmetros de Ajuste de $d(t)$

Novamente, verifica-se um elevado valor de r^2 e resíduos no seu intervalo

O valor da velocidade de propagação é:

$$d = vt$$

$$v = m \pm u(m) = (1,857 \pm 0,007) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

O erro, comparando com o valor teórico $V_{teor} = 1,98 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, é:

$$\varepsilon = 6,22\%.$$

(C)

Construímos um gráfico da frequência do sinal em função da diferença de fase entre o sinal de entrada e o sinal refletido na linha coaxial.

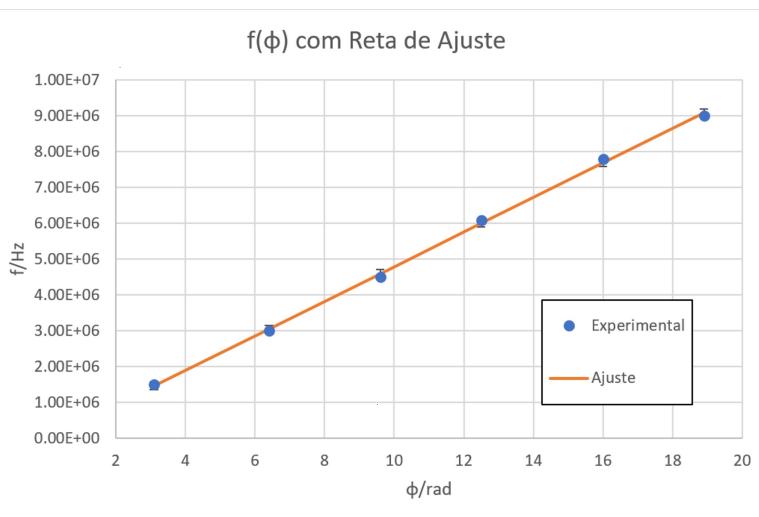


Fig 14 - Gráfico de $f(\phi)$

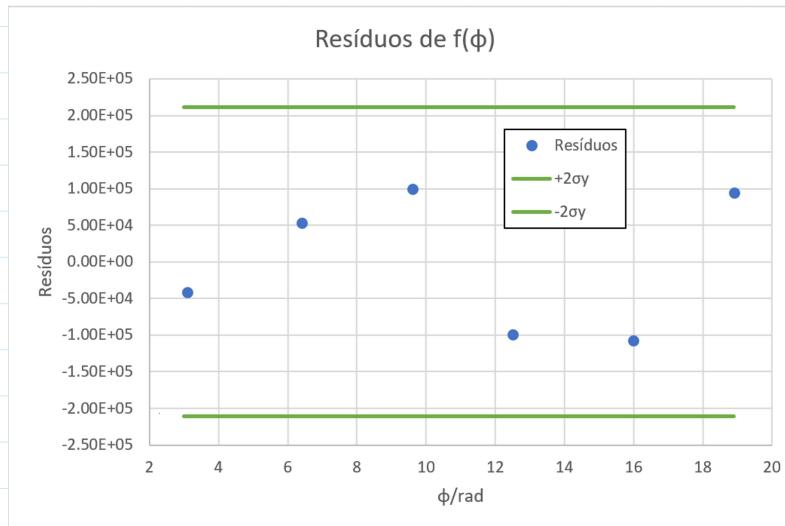


Fig 15 - Resíduos de $f(\phi)$

m	4.83E+05	-3.9E+04	b
$u(m)$	8E+03	1E+05	$u(b)$
r^2	0.9989	1E+05	s_y

Fig 16 - Parâmetros de Ajuste de $f(\phi)$

De novo, temos um bom ajuste linear com o elevado valor de r^2 e os resíduos no intervalo $[-2\sigma_y, 2\sigma_y]$.

$$f = \frac{V}{2\pi l} \phi$$

$$m = \frac{v}{2\pi l}$$

$$\Leftrightarrow v = 2\pi l m$$

$$\Leftrightarrow v = 1,92 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$u(v) = \sqrt{(2\pi l u(m))^2 + (2\pi m u(l))^2} = 3 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

$$v = (1,92 \pm 0,03) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

O valor do erro é:

$$\varepsilon = 3,0\%$$

Máx 0% comparação.

Resultados Finais

A

$$Z_c = (50 \pm 2) \Omega$$

B

$$\alpha = (3,6 \pm 0,4) \text{ mm}^{-1}$$

$$v = (1,857 \pm 0,007) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\varepsilon = 6,22\%$$

C

$$v = (1,92 \pm 0,03) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\varepsilon = 3,0\%$$

Conclusão

e uma caixa de resistências

Realizamos um circuito com o cabo coaxial e um gerador de impulsos para calcular a resistência na qual o sinal refletido é nulo:

$$Z_c = (50 \pm 2) \Omega$$

% inc

valor idêntico àquele da impedância do cabo.

% erro

De seguida, retiramos a caixa de resistências para analisar impulsos sucessivos. A partir do gráfico de $m(V)[m]$ calculamos o coeficiente de atenuação:

$$\alpha = (3,6 \pm 0,4) \text{ mm}^{-1}$$

que está dentro da gama esperada ($< 0,02 \text{ mm}^{-1}$). Através do gráfico de $d(t)$ calculou-se a velocidade de propagação:

$$v = (1,857 \pm 0,007) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

? % inc?
? % erro?

valor próximo à velocidade da luz neste meio.

Por fim, trocou-se o gerador de impulsos por um de sinais que permitiu calcular a velocidade através da relação de $f(\varphi)$:

$$v = (1,92 \pm 0,03) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

%, inc. ?
%, erro. ?

valor ainda mais próximo da velocidade da luz na lente coaxial.

Anexos

Impedância do gerador						
ZL/Q	V-/V	V+/V	Vr/V	Incerteza	Ajuste	Resíduos
18	1.45	0.312	-1.138	0.01	-1.10	0.04
24	1.27	0.374	-0.896	0.01	-0.86	0.04
30	0.988	0.384	-0.604	0.001	-0.63	-0.03
31	0.994	0.417	-0.577	0.001	-0.60	-0.02
32	0.992	0.436	-0.556	0.001	-0.56	-0.01
33	0.981	0.465	-0.516	0.001	-0.53	-0.01
34	0.976	0.494	-0.482	0.001	-0.49	-0.01
35	0.965	0.52	-0.445	0.001	-0.46	-0.01
36	0.954	0.549	-0.405	0.001	-0.43	-0.02
37	0.949	0.573	-0.376	0.001	-0.39	-0.02
38	0.938	0.601	-0.337	0.001	-0.36	-0.02
39	0.927	0.623	-0.304	0.001	-0.33	-0.03
40	0.816	0.501	-0.315	0.001	-0.30	0.02
41	0.822	0.531	-0.291	0.001	-0.27	0.02
42	0.823	0.564	-0.259	0.001	-0.24	0.02
43	0.806	0.59	-0.216	0.001	-0.21	0.01
44	0.781	0.623	-0.158	0.001	-0.18	-0.02
45	0.786	0.643	-0.143	0.001	-0.15	-0.01
46	0.776	0.673	-0.103	0.001	-0.12	-0.02
47	0.771	0.692	-0.079	0.001	-0.09	-0.01
48	0.776	0.723	-0.053	0.001	-0.07	-0.01
49	0.766	0.753	-0.013	0.001	-0.04	-0.03
50	0.69	0.641	-0.049	0.001	-0.01	0.04

51	0.69	0.67	-0.02	0.001	0.01	0.03
52	0.678	0.699	0.021	0.001	0.04	0.02
53	0.678	0.72	0.042	0.001	0.06	0.02
54	0.674	0.749	0.075	0.001	0.09	0.01
55	0.67	0.778	0.108	0.001	0.113	0.005
56	0.673	0.797	0.124	0.001	0.14	0.01
57	0.657	0.829	0.172	0.001	0.16	-0.01
58	0.653	0.854	0.201	0.001	0.18	-0.02
59	0.653	0.887	0.234	0.001	0.20	-0.03
60	0.582	0.788	0.206	0.001	0.23	0.02
61	0.595	0.801	0.206	0.001	0.25	0.04
62	0.589	0.827	0.238	0.001	0.27	0.03
63	0.581	0.854	0.273	0.001	0.29	0.02
64	0.572	0.876	0.304	0.001	0.308	0.004
65	0.57	0.898	0.328	0.001	0.327	-0.001
66	0.567	0.919	0.352	0.001	0.35	-0.01
67	0.567	0.947	0.38	0.001	0.36	-0.02
68	0.555	0.963	0.408	0.001	0.38	-0.03
69	0.559	0.985	0.426	0.001	0.40	-0.03
70	0.469	0.849	0.38	0.001	0.42	0.04
76	0.465	0.979	0.514	0.001	0.51	-0.01
82	0.371	0.954	0.583	0.001	0.581	-0.002
100	0	0.708	0.708	0.001	0.70	-0.01

Fig 16 - Tabela de dados da parte A

Coeficiente de Atenuação						
n	Vn(V)	ln(Vn)	ln(V)	Incertezas	Ajuste 2	Resíduos
1	9.31	2.23	0	0.002	0.19	0.19
2	5.62	1.73	-0.505	0.002	-0.42	0.08
3	3.38	1.22	-1.013	0.003	-1.04	-0.02
4	2.03	0.71	-1.523	0.005	-1.65	-0.13
5	1.25	0.22	-2.008	0.008	-2.26	-0.25
6	0.624	-0.47	-2.703	0.002	-2.87	-0.17
7	0.312	-1.16	-3.396	0.003	-3.49	-0.09
8	0.104	-2.26	-4.494	0.01	-4.10	0.39

Fig.17 - Tabela da atenuação da parte B

Velocidade Impulsos				
n	t/s	d/m	Ajuste	Resíduos
1	4.86E-06	123	125	2
2	5.52E-06	246	247	1
3	6.18E-06	369	370	1
4	6.82E-06	492	489	-3
5	7.50E-06	615	615	0
6	8.14E-06	738	734	-4
7	8.84E-06	861	864	3
8	9.50E-06	984	986	2

Fig 18 - Tabela da velocidade da parte B

Velocidade Frequências				
φ/°	f/Hz (1E+06)	Ajuste	Resíduos	
18.9	9.00E+06	9.09E+06	9.41E+04	
16	7.80E+06	7.69E+06	-1.07E+05	
12.5	6.10E+06	6.00E+06	-9.87E+04	
9.6	4.50E+06	4.60E+06	9.98E+04	
6.4	3.00E+06	3.05E+06	5.34E+04	
3.1	1.50E+06	1.46E+06	-4.13E+04	

Fig 19 - Tabela de dados da parte C