

# T3A - Propagação e Absorção da Luz

15 de abril de 2023 14:53

15.5

Diogo Pimenta; Francisca Organista, Josefa Santos, Nuno Vale, PL 1 Grupo 3

## Objetivos

- Verificação experimental da Lei do Inverso do Quadrado entre potência luminosa e a distância à fonte
- Determinação do coeficiente de absorção ~~dos filtros~~ de um acrílico
- Determinação de gama de fiabilidade
- Familiarização com instrumentos óticos

## Equações a verificar

$$\log P = \log k - 2 \log R$$

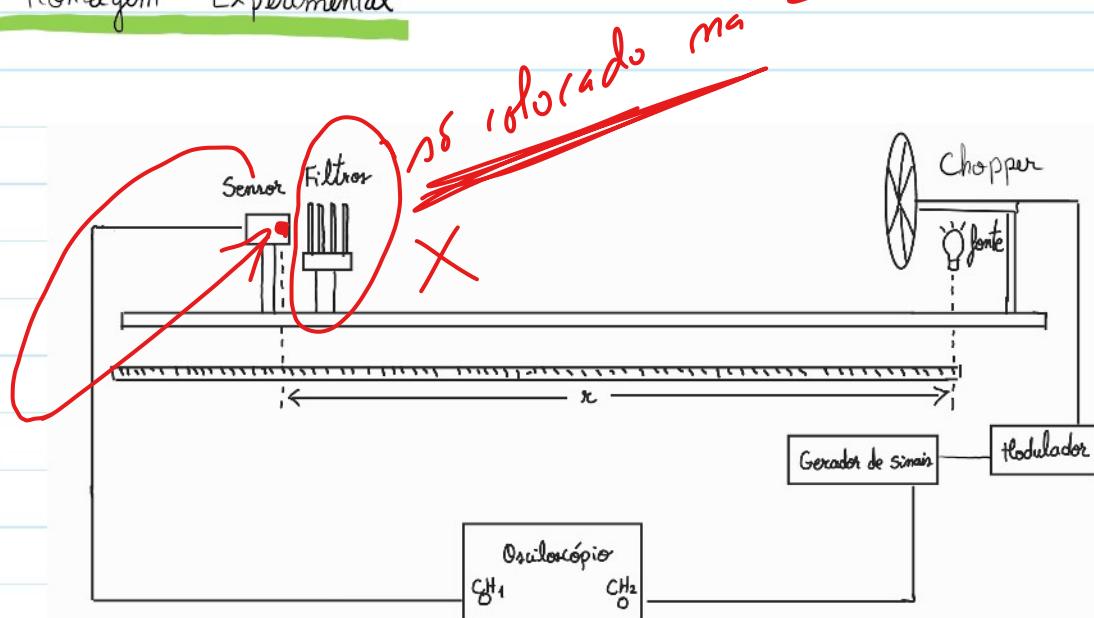
Lei do Inverso do Quadrado:  $P$  é inversamente proporcional a  $R^2$

$$P = \frac{K}{R^2}$$

$$P(x) = P_0 e^{-\alpha x}$$

$\alpha$ : coef. absorção do filtro  
 $x$ : espessura do filtro

## Hontagem Experimental



## Material

- Sensor (photodiode)
- Filtro
- Chopper
- Fonte
- Modulador
- Gerador de Sinais
- Osciloscópio

## Procedimento

### Estudo prévio (A)

- Frequência adequada para modulador ( $133\text{ Hz}$ )
- Fazer varredura para escolher gama a usar em B
- Ver osciloscópio para  $r \approx 20\text{ cm}$  e comentar AC e DC

**Obs:** Exp. realizada em sala escura

### Lei do inverso do Quadrado (B) (Propagação)

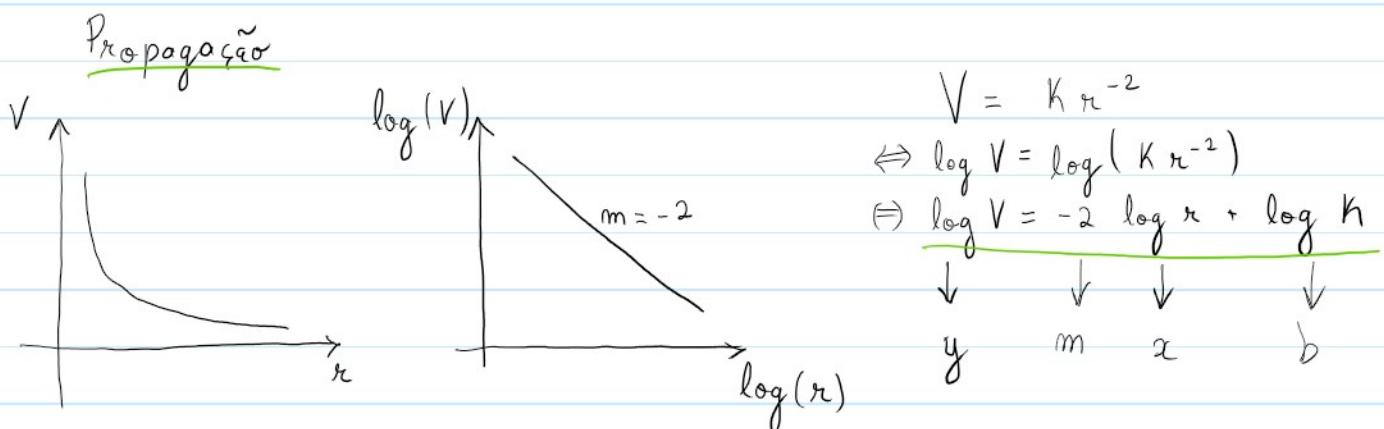
- Variando  $r$  dentro da gama antes escolhida, registar  $V$
- Avaliar lei:  $V(r) = k/r^{-2}$  com
- Construir gráf.  $\log(V) [\log(r)]$

**ATENÇÃO:** logaritmo de base 10 !!!

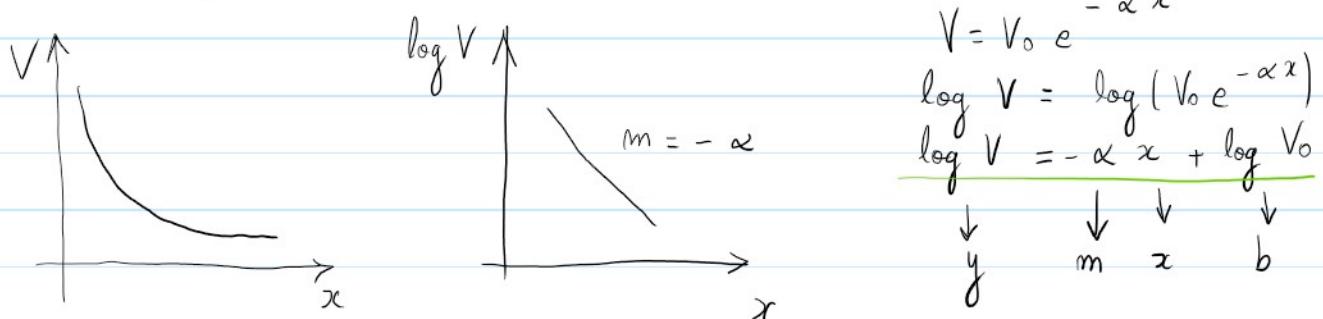
### Coefficiente de absorção (C)

- colocar suporte de filtro à distância tal que permita um sinal intenso mas forte de luz ~ pontual
- Registrar  $V$  em função de  $d$
- Analisar erros no registo de  $V$
- Criar gráfico  $[\log(V)]$  em função de  $\underline{dx}$  (ver pré-aula)
- Calcular coef. de absorção

## Previsões dos gráficos



## Absorção



OBS : resumir main indicando informalmente a info relevante

Nota!

Como fazer separação entre valores  $x$  consecutivos? resposta?  
A medição deve ser feita segundo uma escala logarítmica !!

## Notas de Aula

(A)

Realizou-se a montagem, definindo uma  $f = 133 \text{ Hz}$  no modulador do chopper

Diminuir os erros no registo de  $V$ :

- Adicionámos um pano preto para diminuir reflexões onde?
- Diminuímos ao máximo todas as fontes de luz externa (Sala escura + cuidado com roupa clara entre sensor e fonte + ...)

Para  $r \approx 20$  cm :

- Onda quadrada
- $f = 132,6$  Hz  $\approx f_{chopper}$
- $V_{pp} = 452$  mV
- A diferença de AC para DC é o offset

é relevante numa sala escura?

(B)

- colocámos uma escala vertical o maior possível para diminuir os erros na medição de  $V_{pp}$  no osciloscópio!
- Usou-se o menu Measure para o cálculo de  $V_{pp}$

Médias  $\approx 16$

(C)

$$r_1 = 50\text{ cm}$$

$$r_2 = 25\text{ cm}$$

$$r_3 = 30\text{ cm}$$

- O filtro 3 é o único com espessura diferente
- Fizemos as medições com diferentes distâncias

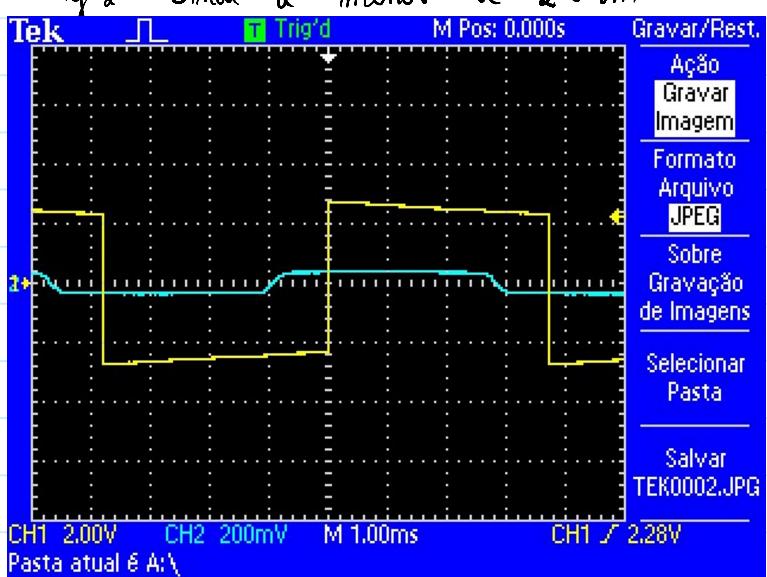
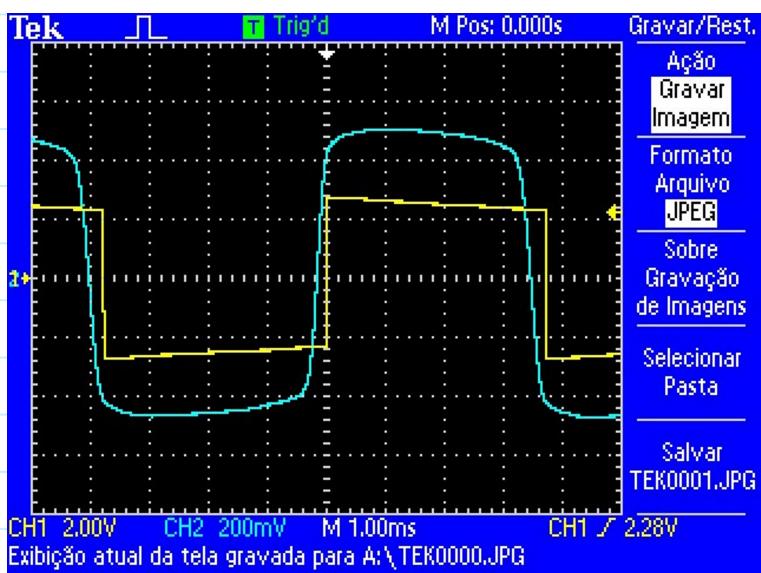
Malas  
- sinal  
- 1º lugar  
- 2º lugar  
- 3º lugar  
- mal distib.

## Análise de Dados

Os dados que não têm incerteza indicada, considera-se a unidade do algoritmo menor significativo.

## B : Propagação

Fizemos um varrimento de toda a gama. A menos de 20 cm, observámos que o sinal ficava distorcido e tinha muito ruído. A mais de 130 cm, o sinal era demasiado pequeno para uma medição correta do valor da tensão. Entre 20 cm e 130 cm o valor da tensão diminui à medida que a distância à fonte aumentou.



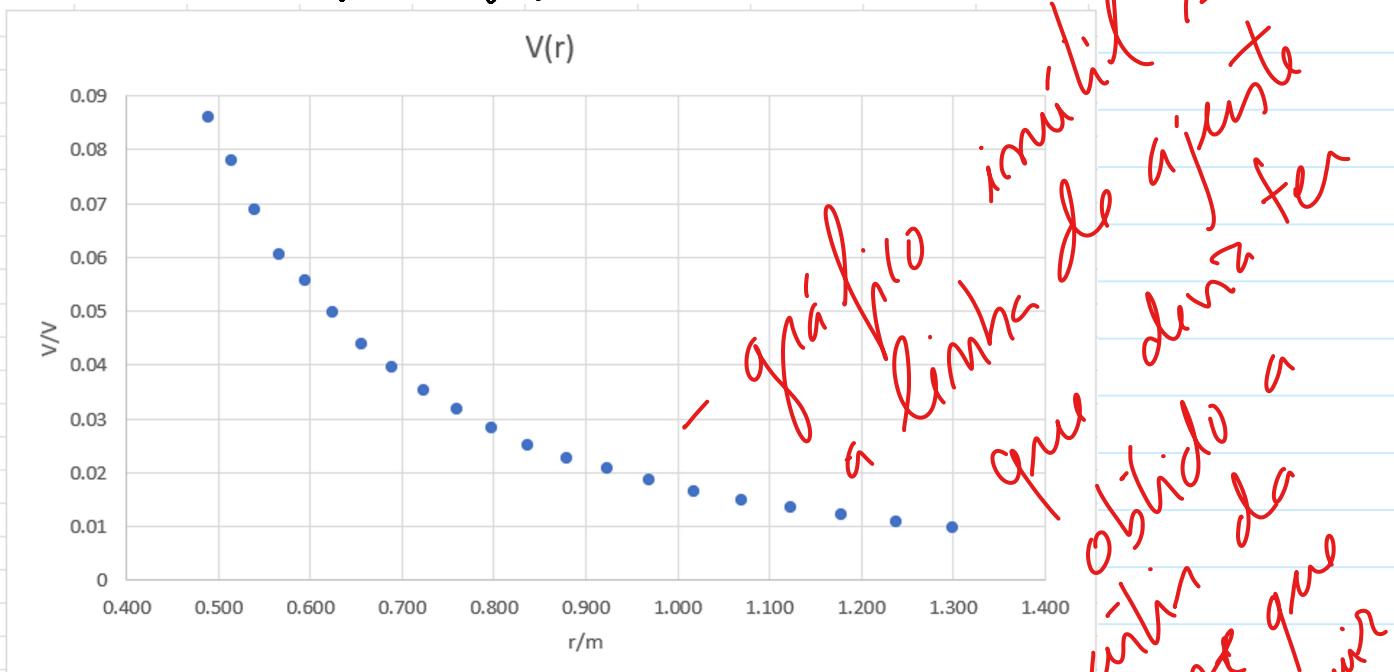
*Escolha mal escolhido  
para boa visualização  
do sinal ou  
no parâmetro mostrar a  
gama de rádio (~5%).*

Decidimos então variar os valores de  $r$  entre a gama  $[40, 120]$  cm:

Propagação da Luz							
Frequência (Hz)	$r'$ (m)	$r$ (m)	$\log(r)$	V (V)	$\log(V)$	Ajuste	Resíduos
131	0.489	0.395	-0.40330	0.0861	-1.065	-1.05837	-0.00663
131	0.514	0.420	-0.37717	0.078	-1.10791	-1.10944	0.001538
131	0.539	0.445	-0.35132	0.0689	-1.16178	-1.15996	-0.00182
131	0.566	0.472	-0.32574	0.0606	-1.21753	-1.20996	-0.00757
131	0.595	0.501	-0.30041	0.0557	-1.25414	-1.25947	0.00533
131	0.624	0.530	-0.27531	0.0499	-1.3019	-1.30854	0.006638
131	0.656	0.562	-0.25043	0.0438	-1.35853	-1.35718	-0.00135
131	0.689	0.595	-0.22575	0.0396	-1.4023	-1.40542	0.003115
131	0.723	0.629	-0.20126	0.0354	-1.451	-1.45329	0.002294
131	0.759	0.665	-0.17695	0.0318	-1.49757	-1.50081	0.003241
131	0.797	0.703	-0.15281	0.0283	-1.54821	-1.54801	-0.0002
131	0.837	0.743	-0.12882	0.0252	-1.5986	-1.5949	-0.0037
131	0.879	0.785	-0.10498	0.0228	-1.64207	-1.6415	-0.00057
131	0.923	0.829	-0.08128	0.0207	-1.68403	-1.68783	0.003796
133	0.970	0.876	-0.05771	0.0186	-1.73049	-1.7339	0.00341
133	1.018	0.924	-0.03426	0.0166	-1.77989	-1.77973	-0.00016
133	1.069	0.975	-0.01093	0.0149	-1.82681	-1.82533	-0.00148
133	1.123	1.029	0.01229	0.0135	-1.86967	-1.87072	0.001053
133	1.179	1.085	0.03540	0.0121	-1.91721	-1.9159	-0.00131
133	1.238	1.144	0.05842	0.0109	-1.96257	-1.9609	-0.00167
133	1.300	1.206	0.08135	0.00978	-2.00966	-2.00572	-0.00395

Tabela 1: Dados relativos à parte B; propagação  
( $r'$ : posição do suporte;  $r$ : distância real entre fonte e sensor)

Construímos os seguintes gráficos:



graf 10 ianil resv  
a linha de ajuste  
a que deve ser  
obido o  
ponto analise que  
faz a seguir  
!

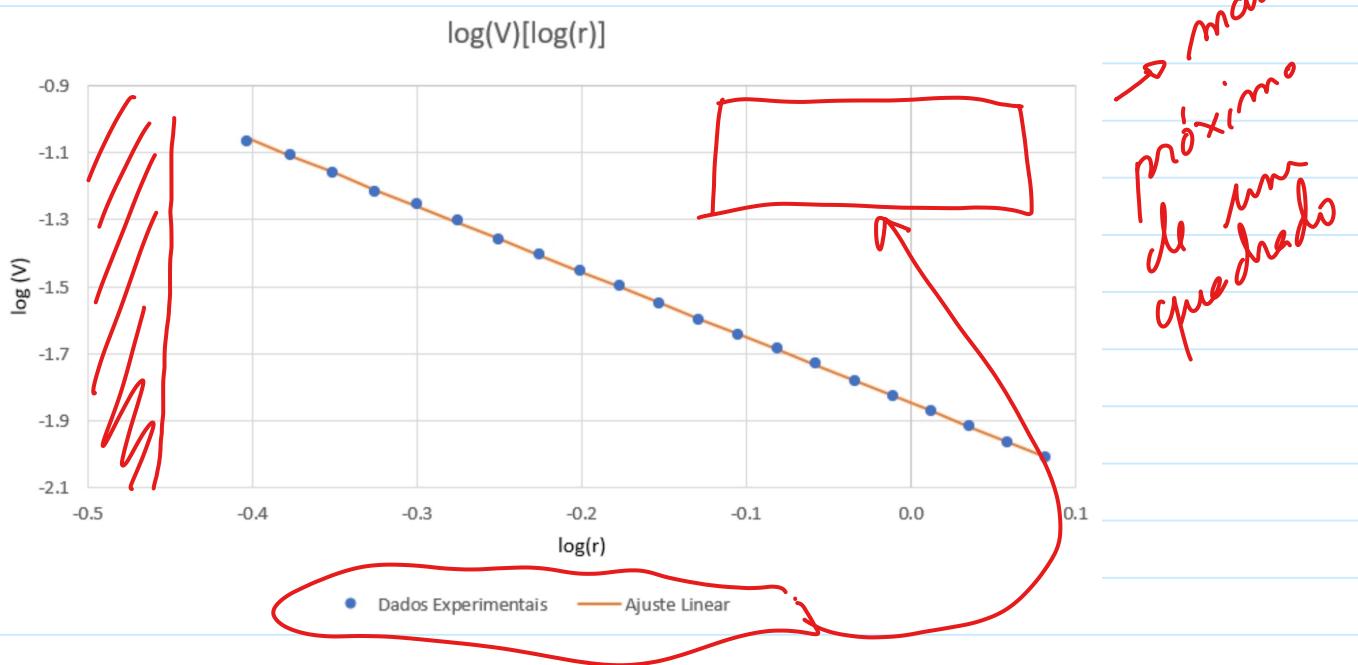


Gráfico 2: Logaritmo de V em função do logaritmo da distância

Ajuste Linear			
m	-1.955	-1.847	b
u(m)	0.006	0.001	u(b)
$r^2$	0.9998	0.004	sy

Tabela 2: Parâmetros do ajuste linear

Os gráficos apresentam as tendências esperadas:

- 1 :  $V(r)$  : inversamente proporcional
- 2 :  $\log V [\log(r)]$  : diretamente proporcional

No entanto é melhor fazer o gráf. de resíduos para avaliar a validade da experiência:

Não fazem  
2 ensaios



→ faltam ~  
barra de inc.  
experiencial  
↓  
essencial para  
comparar com  
y?

Gráf 3.: Resíduos referentes ao gráf. 2

Oz resíduos apresentam-se espalhados aleatoriamente entre o intervalo  $[-2 \approx 1,2 \approx]$ , pelo que se pode considerar que é uma boa linearização, o que é concordante com o valor elevado de  $r^2 \approx 0,9998$ .

% incertezas exp? ?

$$m_{\text{exp}} = (-1,995 \pm 0,006)$$

$$m_{\text{teó}} = -2$$

$$\mathcal{E}_{\text{rel.}} = \frac{|m_{\text{teó}} - m_{\text{exp}}|}{m_{\text{teó}}} \cdot 100 = \frac{|-2 + 1,995|}{-2} \cdot 100 = 0,25 \cdot 1.$$

Nota: o valor teórico está dentro do intervalo da incerteza, o que é um bom indicativo.

Verifica-se então a equação  $P = K r^{-2}$

### C: Coeficiente de Absorção

Para este estudo, colocámos os filtros sequencialmente no suporte: uma sequência diferente para cada distância (ver tabelas), isto de forma a obter espessuras com valores diferentes.

com valores diferentes.

Verificou-se que à medida que aumentávamos o nº de filtros no suporte o valor da tensão do sinal detectado pelo sensor diminuía. Verificámos também que a medida da tensão no osciloscópio oscilava mais.

→ mau registo esta oscilação (vinc.?)

Medimos as espessuras dos filtros com o micrometro:

Filtro	dx/mm
1	4.23
2	4.53
3	3.97
4	4.41
5	4.06
6	4.22

Tabela 3: Espessuras de cada filtro

NOTA: Podíamos ter medido mais um algarismo significativo!!!  
Registámos os dados referentes a 3 distâncias:

Absorção da Luz r = 25 cm					
Filtros	x/mm	V/V	log(V)	Ajuste	Resíduos
0	0	0.696	-0.15739	-0.17642	-0.01903
3	3.97	0.276	-0.55909	-0.54095	0.01814
3+1	8.2	0.121	-0.91721	-0.92934	-0.01213
3+1+2	12.73	0.0444	-1.35262	-1.34529	0.00733
3+1+2+4	17.14	0.0166	-1.77989	-1.75021	0.02968
3+1+2+4+5	21.2	0.00768	-2.11464	-2.123	-0.00836
3+1+2+4+5+6	25.42	0.0032	-2.49485	-2.51048	-0.01563

Tabela 4: Dados da absorção da luz para 25 cm

Absorção da Luz r = 30 cm					
Filtros	x/mm	V/V	ln(V)	Ajuste	Resíduos
0	0	0.436	-0.36051	-0.36607	-0.00556
1	4.23	0.19	-0.72125	-0.74754	-0.02629
1+2	8.76	0.0712	-1.14752	-1.15606	-0.00854
1+2+4	13.17	0.0248	-1.60555	-1.55375	0.05179
1+2+4+5	17.23	0.0114	-1.9431	-1.91989	0.02321
1+2+4+5+6	21.45	0.00496	-2.30452	-2.30045	0.00407
1+2+4+5+6+3	25.42	0.0024	-2.61979	-2.65847	-0.03868

Tabela 5: Dados da absorção da luz para 30 cm

Absorção da Luz r = 50 cm					
Filtros	x/mm	V/V	log(V)	Ajuste	Resíduos
0	0	0.119	-0.92445	-1.00707	-0.08261
1	4.23	0.052	-1.284	-1.33366	-0.04966
1+2	8.76	0.0188	-1.72584	-1.68341	0.04243
1+2+3	12.73	0.00816	-2.08831	-1.98993	0.09838
1+2+3+4	17.14	0.00352	-2.45346	-2.33042	0.12304
1+2+3+4+5	21.2	0.00206	-2.68613	-2.64388	0.04225
1+2+3+4+5+6	25.42	0.0016	-2.79588	-2.9697	-0.17382

Tabela 6 : Dados da absorção da luz para 50 cm

E construir os seguintes graficos:

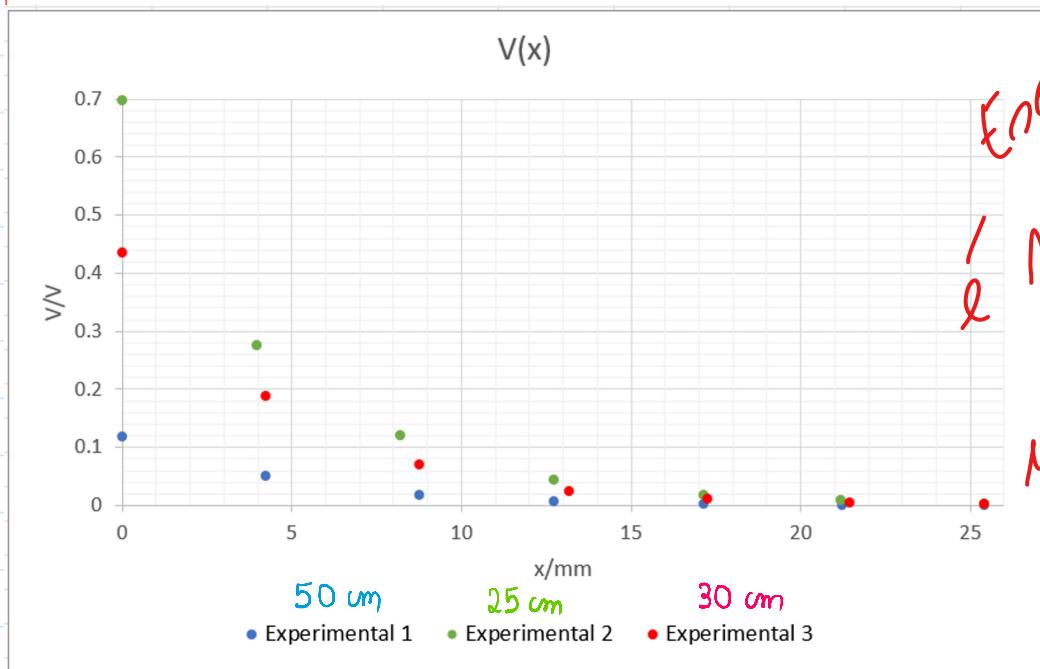


Gráfico 4: Tensão em função da distância ao sensor, para as 3 distâncias (25, 30 e 50 cm).

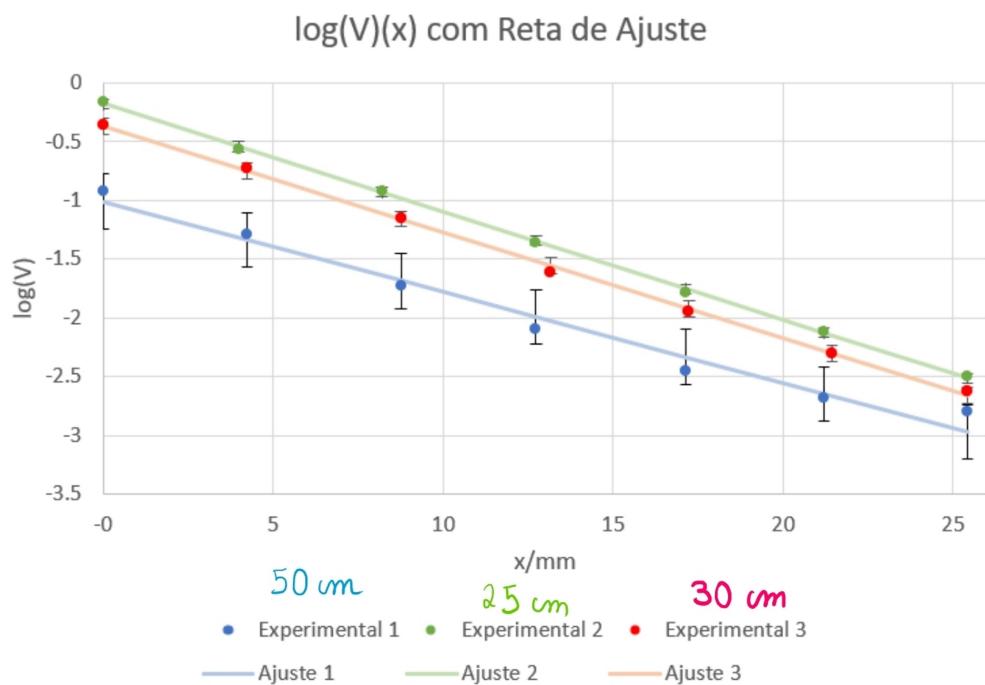
A tendência aparenta ser logarítmica, facto que se confirmou com o gráfico seguinte.

→ Não! É exponencial!

Deviam ter optado por:

- distância pequena
- para a mesma distância fazer

vários ensaios mantendo e/ou variando algum parâmetro (ordem dos filtros p.ex.), avaliando assim a repetitividade e/ou reprodutibilidade estatística do resultado



Graç 5 : logaritmo da tensão em função da espessura, para as 3 distâncias diferentes ao sensor

m	-0.077	-1.01	b
u(m)	0.005	0.08	u(b)
r^2	0.98	0.1	sy

Tabela 7 : Parâmetros de ajuste

50 cm

m	-0.092	-0.18	b
u(m)	0.001	0.01	u(b)
r^2	0.9995	0.02	sy

Tabela 8 :

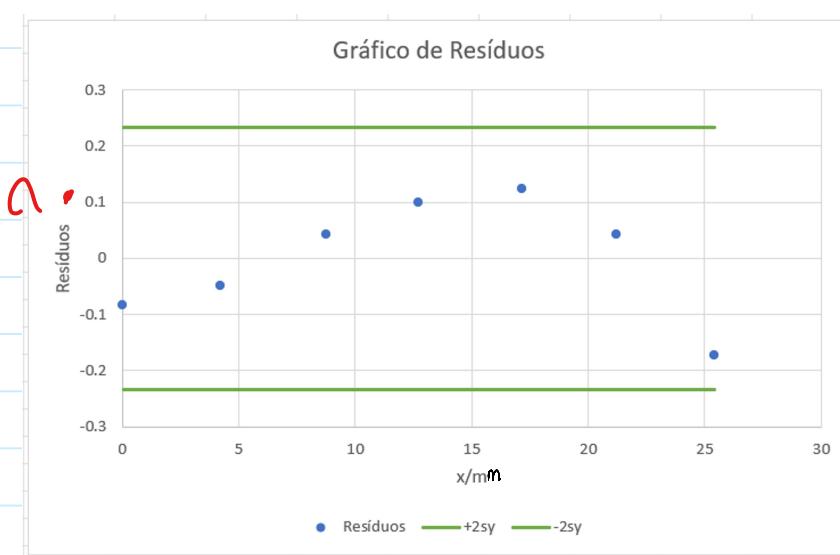
25 cm

m	-0.090	-0.37	b
u(m)	0.001	0.02	u(b)
r^2	0.9987	0.03	sy

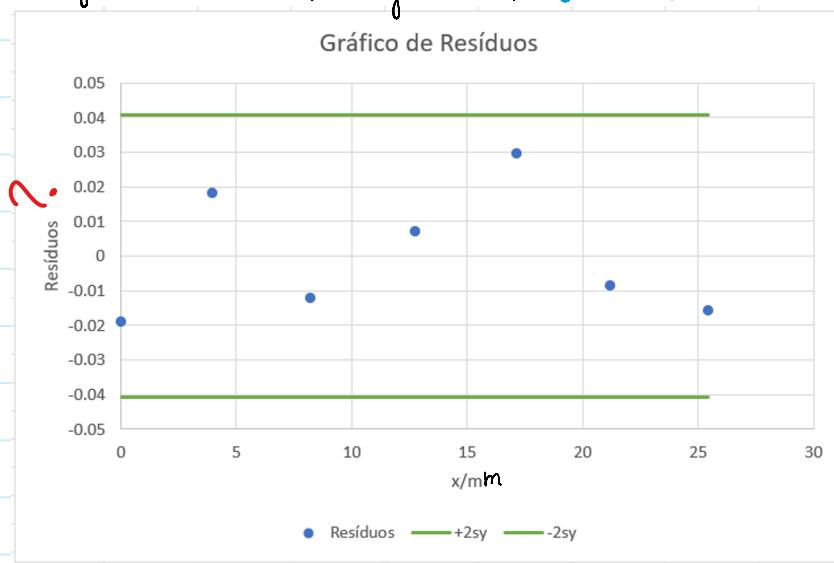
Tabela 9 :

30 cm

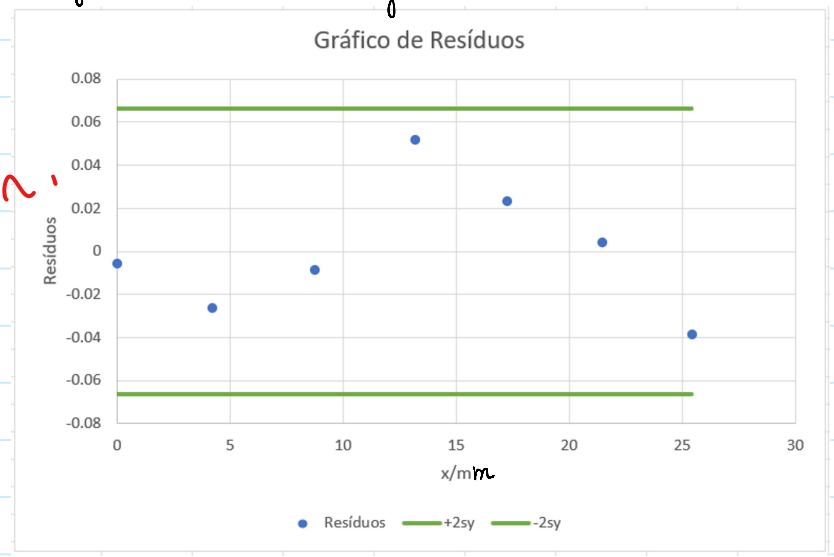
Gr. RESÍDUOS :  
- faltam bairros inc., exp.  
- colocar todos os  
mesmos  
para comparação



Graf. 6: Resíduos de  $\log(V)(x)$ ;  $d = 50 \text{ cm}$



Graf. 7: Resíduos de  $\log(V)(x)$ ;  $d = 25 \text{ cm}$



Graf. 8: Resíduos de  $\log(V)(x)$ ;  $d = 30 \text{ cm}$

Todos os resíduos, para os graficos 6, 7 e 8, se encontram dentro do intervalo  $[-2sy, 2sy]$ .

Tendo os resíduos tão poucos pontos, não podemos afirmar com certeza que existem tendências.

Cálculo do coeficiente de absorção

$$\alpha = (-m) \cdot 10^3$$

↓

para passar de mm para m

$$d = 50 \text{ cm} : \alpha = (77 \pm 5) \text{ m}^{-1}$$

$$d = 25 \text{ cm} : \alpha = (92 \pm 1) \text{ m}^{-1}$$

$$d = 30 \text{ cm} : \alpha = (90 \pm 1) \text{ m}^{-1}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{77 + 92 + 90}{3} = 86 \text{ m}^{-1}$$

$$\delta_1 = |86 - 77| = 9$$

$$\delta_{\max} = 9$$

$$\delta_2 = |86 - 92| = 6$$

$$\delta_3 = |86 - 90| = 4$$

$$\alpha_{\exp} = (86 \pm 9) \text{ m}^{-1}$$

## Resultados finais

Parte	Resultados
B	$K = (-1,955 \pm 0,006)$ $E_{\%} = 0,25\%$

C       $\alpha_{\exp} = (86 \pm 9) \text{ m}^{-1}$

## Conclusões

Começámos por estudar a propagação da luz (Parte B), para verificar a relação  $P = K r^{-2}$ . Conseguimos fazê-lo a partir do declive do gráfico de  $\log(V)$  [log(R)].

$K_{\exp} = (-1,955 \pm 0,006)$   
com um erro experimental de  $0,25\%$ .

$\% \text{ inc} \approx$

Depois, estudámos a absorção (Parte C) e calculámos o valor do coeficiente dos filtros disponíveis, com recurso aos valores dos declives obtidos nos gráficos  $\log(V)$  [x]. Finemer

No estudo da absorção do acrilic disponível bate-se um coeficiente de absorção de  $0,00$  c/  $\% \text{ inc} = ?$ , erro ??



Verificação na lei  
proposta  $P \propto r^{-2}$  obtém  
proposta  $P \propto r^{-1}$  para  $\% \text{ inc} \approx 1,00\%$   
do  $r^2$  para  $r^1$   
Exponente com  $\% \text{ inc} \approx 1,00\%$   
incerteza  $\approx 1,00\%$

coeficiente dos filtros disponíveis, com recurso aos valores dos declives obtidos nos graficos  $\log(V) [x]$ . Fizemos uma média dos 3 valores obtidos:

$$\alpha_{\text{exp}} = (86 \pm 9) \text{ m}^{-1}$$

→ Mau! (consequência de má opção na execução)

E' importante notar que este estudo foi feito para a gama de distância à fonte entre 25 cm a 130 cm:

- Abaixo disso, a luz não é considerada pontual
- Acima disso, o oculoscópio não tem resolução suficiente para a medição de tensão

Má opção aqui que interessa incluir este reparo