

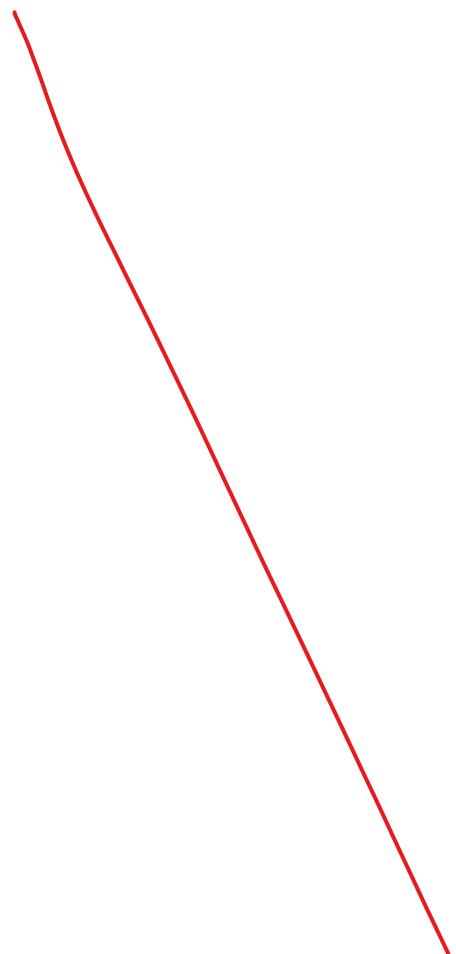
18.6

Intensidade da luz vs distância e atenuação de filtros

Maria Helena Machado

Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências,
Universidade do Porto

15 de março de 2023



Resumo

Verificou-se a lei do inverso do quadrado da distância entre a intensidade luminosa e a distância à fonte ($V \propto d^{-2}$), com um erro de 6% e uma incerteza relativa de 1% ($m = -1,89 \pm 0,03$).

Determinou-se o coeficiente de absorção dos filtros de acrílico (α), obtendo-se $\alpha = (219 \pm 2)m^{-1}$, e uma incerteza relativa de 0,009%.

1 Introdução

1 .1 Objetivos

- Verificar experimentalmente a relação de proporcionalidade direta entre V (intensidade luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detetor à fonte).
- Obter experimentalmente o coeficiente de absorção de filtros de acrílico, α .

1 .2 Introdução Teórica

O trabalho iniciado por J. Clerk Maxwell até o final de 1800 tornou evidente que a luz é maioritariamente um fenômeno de natureza eletromagnética. Porém, nos dias de hoje, podemos pensar nela como a forma mais tênue da matéria.

A dualidade onda-partícula é evidenciada pelo fato desta se propagar através do espaço de forma ondulatória e, ainda assim, exibir um comportamento semelhante a uma partícula durante o processo de emissão e absorção.

No entanto, a energia transportada por um grande número de fotões é, em média, equivalente à energia transferida por uma onda eletromagnética clássica. Assim, para esta atividade laboratorial, de forma bastante pragmática, podemos considerar a luz como uma onda eletromagnética clássica.

A natureza da luz está associada ao seu comprimento de onda. Este relaciona-se inversamente com frequência e diretamente com a velocidade, $\lambda = \frac{c}{f}$. No vácuo, essa velocidade é igual à velocidade da luz, c .

A sensação visual de cores provocada nos seres humanos está relacionada ao comprimento de onda da radiação. A luz branca é a superposição das cores do espectro visível, sendo que cada cor será refratada sob determinado ângulo.

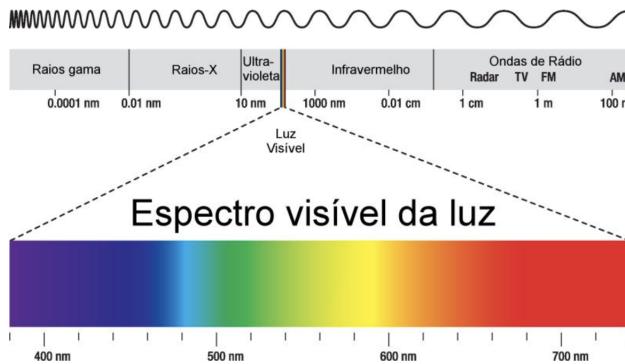


Figura 1: Espetro eletromagnético

1 .2.1 Radiometria

Para estudar e medir a energia eletromagnética emitida por fontes de luz ou que incide sobre uma dada superfície a física serve-se da radiometria.

Uma fonte de luz pontual tem uma dada **energia radiente**(Q), que corresponde à energia total emitida, transferida ou recebida num processo radioativo, ou seja, a energia de uma onda eletromagnética. A sua unidade SI correspondente é o joule (J).

Outra medida fundamental é a **Potência ou fluxo radiante** (Φ_e , esta corresponde à potência total de radiação emitida por uma fonte, difundida por uma superfície ou incidente sobre uma superfície. A sua unidade SI é watts(W).

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

onde, t é o tempo e Φ_e corresponde ao fluxo pela energia

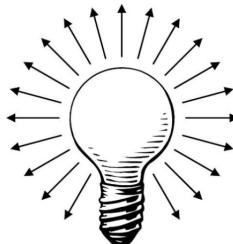


Figura 2: O fluxo radiante de uma fonte luminosa corresponde à totalidade da radiação emitida por unidade de tempo

Por sua vez, a **Intensidade de radiação** (I_e) caracteriza a potência radiante de uma fonte emitida numa certa direção por unidade de ângulo Sólido ($d\Omega$). A unidade SI é Watt/sr.

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (2)$$

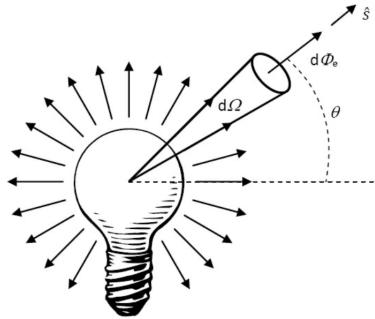


Figura 3: Geometria da definição de intensidade radiante: $d\Phi_e = I_e d\Omega$ é a potência radiante no interior do ângulo sólido infinitesimal $d\Omega$, na direção de observação definida pelo versor \hat{s} , ou ângulo Θ

$d\Omega$ é o ângulo sólido associado à área na superfície da (semi)esfera. É calculado pela área dividida pelo quadrado do raio r . É normalmente expresso como lúmen por esterradiano, ou candela (cd).

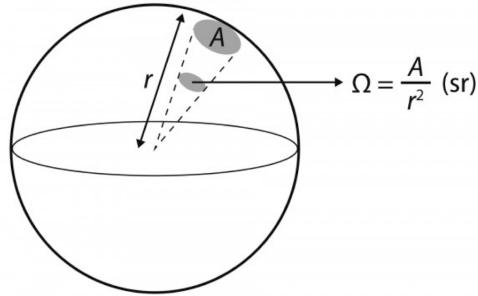


Figura 4: Ângulo sólido

Se considerarmos a existência de um detetor na superfície esférica, de área sensível S . A potência registada P pelo detetor corresponde a:

$$\int_S I_e dS = \frac{PS}{4\pi R^2} = K \frac{1}{R^2} \quad (3)$$

Como podemos comprovar através da equação (3) a potência luminosa varia inversamente com o inverso do quadrado da distância.

Se entre a fonte pontual e o detetor se colocar um meio absorvente, a potência transmitida, após ter atravessado a espessura dx (P_{trans}), passa a estar relacionada com a potência incidente em P_{in} , da seguinte forma:

$$P_{trans} = P_{in} - \alpha P_{in} dx \quad (4)$$

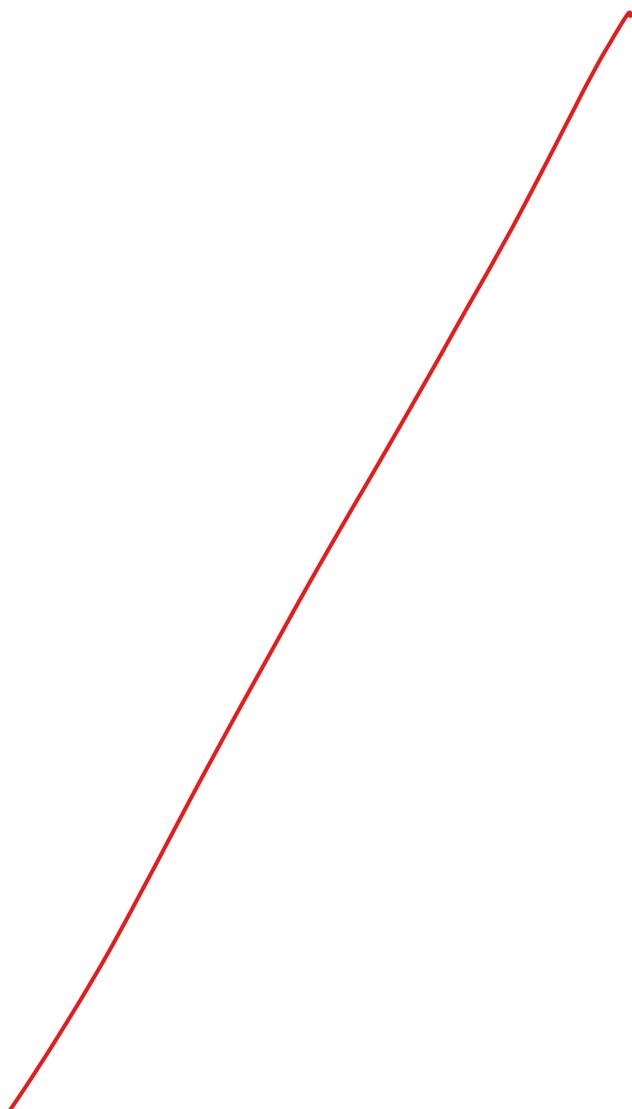
Note que $\alpha P_{in}dx$ é a potência absorvida e α o coeficiente de absorção do meio. Da equação (4) verificamos que a variação de potência ao atravessar a fatia do meio absorvente pode ser dada por:

$$dP = P_{trans} - P_{in} = \alpha P_{in}dx = \alpha Pdx \quad (5)$$

Integrando:

$$P(x) = P_o e^{-\alpha x} \quad (6)$$

Sendo P_o a potência incidente no meio e $P(x)$ a potência transmitida após a passagem pelo mesmo.



2 Método experimental

2 .1 Montagem experimental

2 .1.1 Estudo da lei do inverso do quadrado com a distância do detetor à fonte

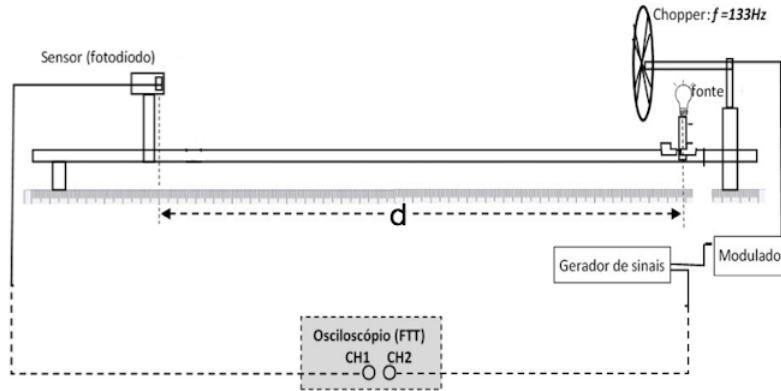


Figura 5: Esquema experimental do estudo da lei do inverso do quadrado com a distância do detetor à fonte.

Nesta parte da experiência deve-se optar por um d_{min} (distância mínima que permite a obtenção de bons valores), e um d_{max} (distância máxima que permite a obtenção de bons valores). Obtemos assim uma gama experimental $[d_{min}, d_{max}]$, onde se conseguem realizar leituras satisfatórias. A partir da gama experimental referida anteriormente, deve-se alterar a distância do sensor à lâmpada (d) e consumadas bastantes medições.

2 .1.2 Cálculo do coeficiente de absorção dos filtros do acrílico

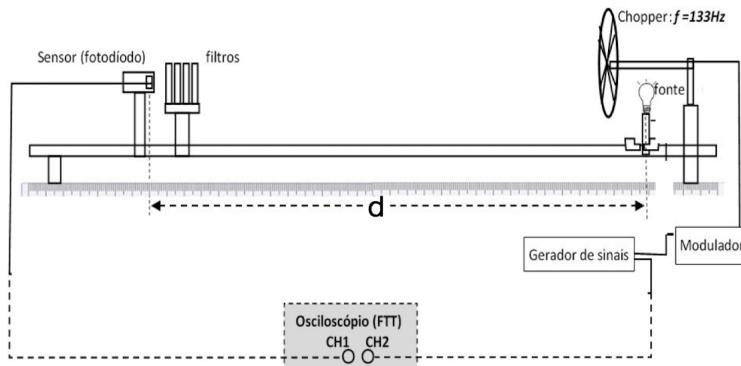


Figura 6: Esquema experimental do cálculo do coeficiente de absorção dos filtros de acrílico

Nesta parte da atividade experimental, devemos manter a montagem experimental anterior, acrescentando apenas um suporte de filtros na calha.

Note-se que em ambas as montagens experimentais a sala deve estar com todas as luzes desligadas, de forma a simular uma câmara escura. Adicionalmente a calha deve ser tapada com um pano preto, ao longo da distância d , de forma a evitar reflexão de luz para o sensor.

2 .2 Execução experimental

2 .2.1 Estudo para considerações experimentais

- Apagar todas as luzes, de forma a simular uma câmara escura.
- Colocar um pano preto sobre a calha na distância, d , de forma impedir a reflexão, e assegurar que a única fonte de luz é a lâmpada.
- Colocar o modulador a 133 Hz de frequência.
- Variar a distância do sensor à fonte, iniciando com $d = 20\text{cm}$, e aumentando progressivamente até um valor máximo (d_{max}), onde ainda é possível registar V .
- Analisar no osciloscópio o sinal, 1º em DC e posteriormente em AC.
- Discutir qual o melhor modo (AC ou DC) para continuar a execução experimental.

2 .2.2 Estudo da lei do inverso do quadrado com a distância

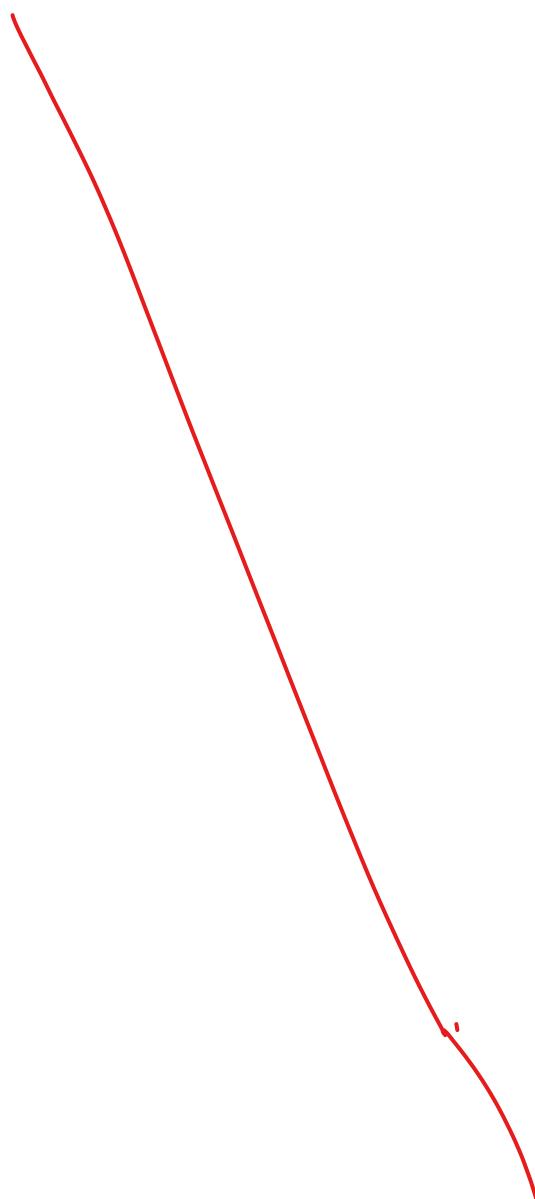
- Apagar todas as luzes, de forma a simular uma câmara escura.
- Colocar um pano preto sobre a calha na distância, d , de forma impedir a reflexão, e assegurar que a única fonte de luz é a lâmpada.
- Calcular as distâncias em que devem ser efetuadas as medições, garantindo que os valores de $\ln(d)$ estão igualmente espaçados na gama experimental escolhida.
- Variar d na gama experimental escolhida anteriormente [d_{min}, d_{max}], tendo em consideração o cálculo do intervalo das distâncias. Registar as leituras de V (tensão) e a diferença de fase entre os sinais medidos em função de d .
- Avaliar a verificação da *lei do quadrado da distância*, dado por:

$$V(d) = K'd^{-2} \quad (7)$$

2 .2.3 Cálculo do coeficiente de absorção dos filtros do acrílico

- Apagar todas as luzes, de forma a simular uma câmara escura.
- Colocar um pano preto sobre a calha na distância, d , de forma impedir a reflexão, e assegurar que a única fonte de luz é a lâmpada.

- Colocar o sensor a 20 cm, d_{min} da fonte luminosa, para se conseguir ter um maior valor de energia luminosa. Note-se que a distância entre o suporte dos filtros e o sensor deve ser pequena, de forma a evitar que o sensor detete luz provenientes de outras fontes luminosas, que não a luz filtrada.
- Registar V em função da espessura do filtro, d_{filtro}
- Calcular o coeficiente de absorção do acrílico através de um gráfico $\ln(V)$ em função de d_{filtro} (espessura do filtro).



~~3. Análise de dados~~

3.1 Relação de proporcionalidade direta entre V (intensidade luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detetor à fonte).

Nesta parte da análise de dados, temos como principal objetivo analisar a relação de proporcionalidade entre a intensidade luminosa (V) e o inverso do quadrado da distância à fonte (d^{-2}).

Inicialmente, procedeu -se a um varrimento de valores de d , para conseguirmos obter a gama experimental mais favorável, $[d_{min}, d_{max}]$. Repetimos este procedimento tanto em corrente contínua, como em corrente alternada, de forma a compreendermos em que modo a análise que se segue teria um menos erro associado.

Corrente alternada

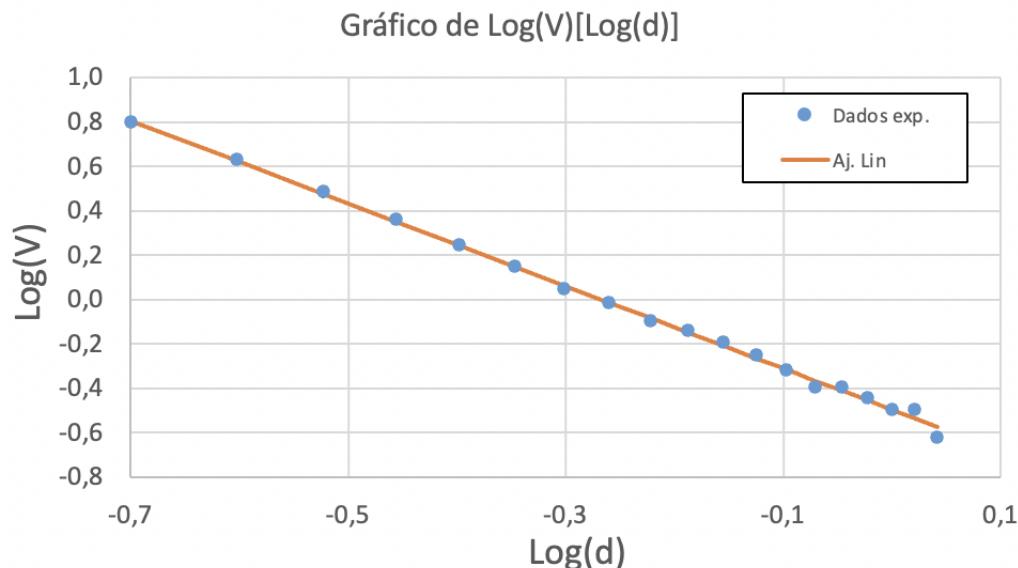


Gráfico 1: Gráfico de $\log(V)$ em função de $\log(d)$, com corrente alternada. Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\log(V))$.

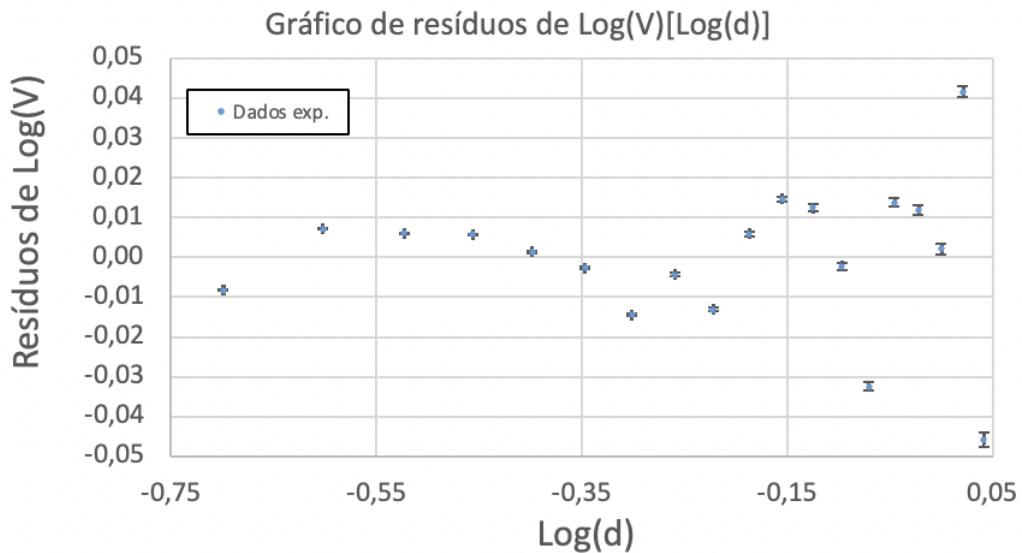


Gráfico 2: Gráfico correspondente aos resíduos do gráfico 1. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\text{Log}(V))$.

Corrente contínua

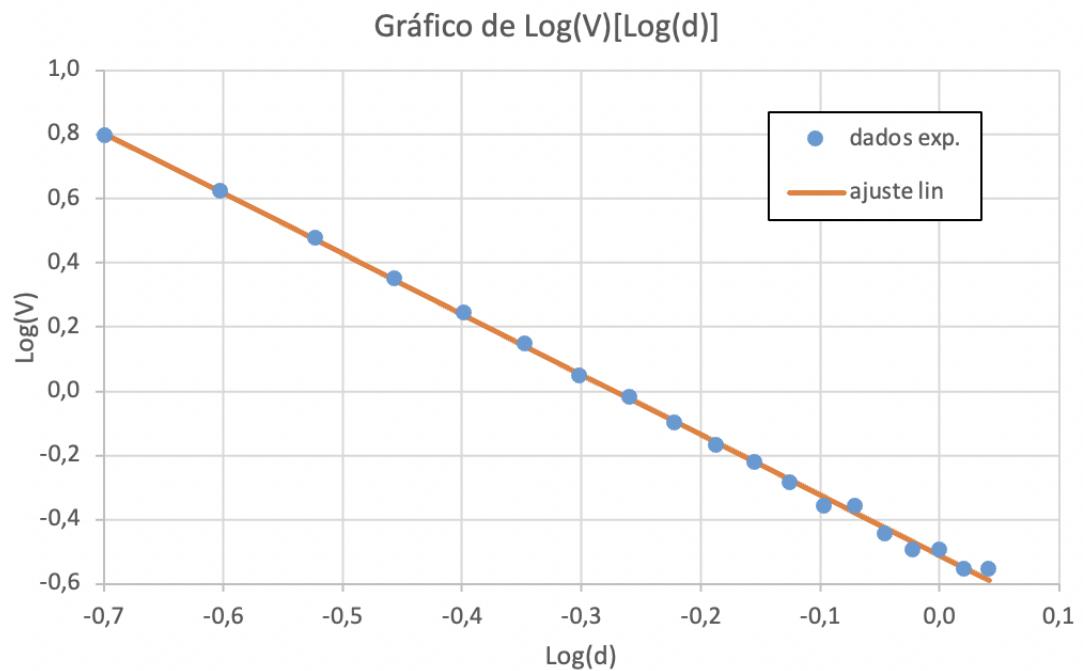


Gráfico 3: Gráfico de Log(V) em função de Log(d), com corrente contínua. Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\text{Log}(V))$.

Gráfico de resíduos de $\text{Log}(V)[\text{Log}(d)]$

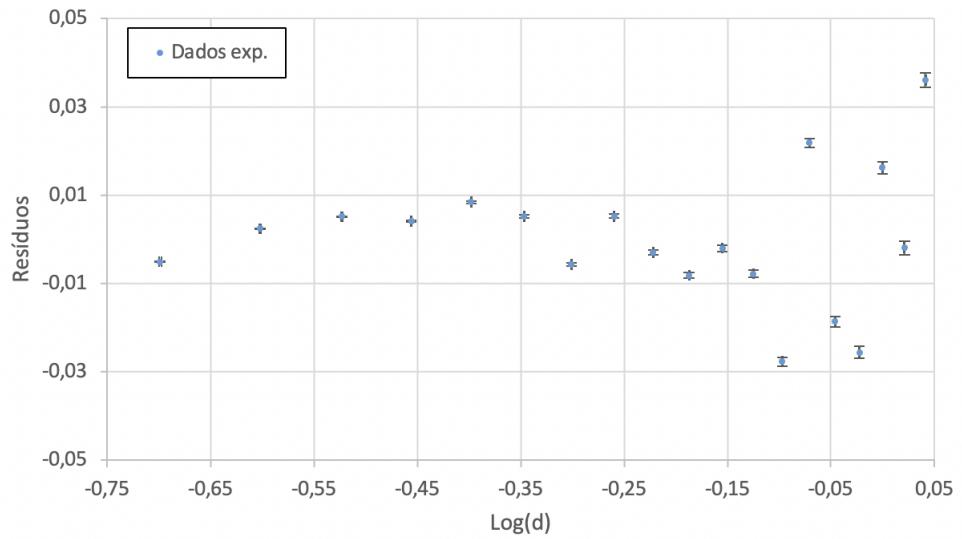


Gráfico 4: Gráfico correspondente aos resíduos do gráfico 3. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\text{Log}(V))$.

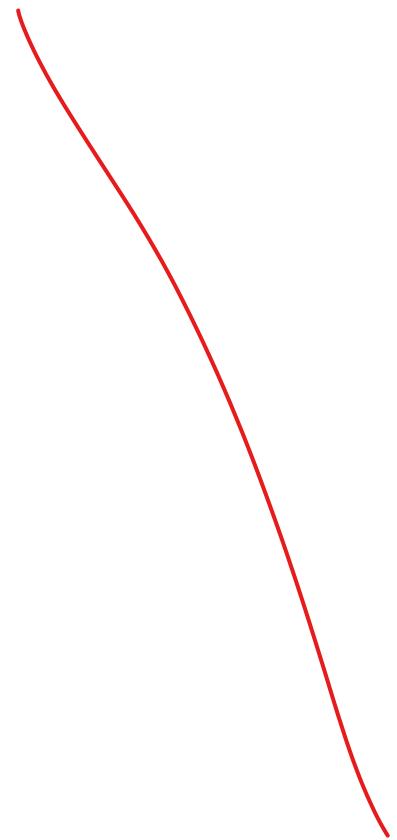


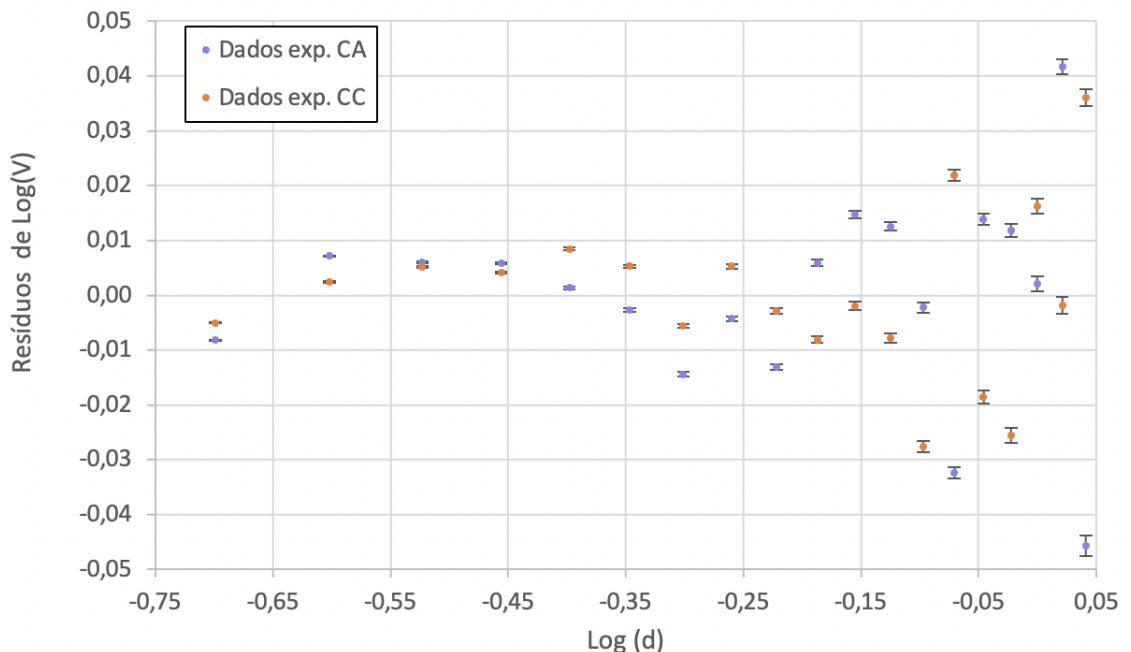
Gráfico de resíduos de $\text{Log}(V)[\text{Log}(d)]$ sobrepostos

Gráfico 5: Gráfico correspondente aos resíduos de AC e DC sobrepostos. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\text{Log}(V))$.

Através do varrimento, deduzimos que a gama experimental onde se consegue tirar valores de qualidade é:

$$d_{min} = (20,00 \pm 0,05)\text{cm} \quad (8)$$

$$d_{max} = (86,06 \pm 0,05)\text{cm} \quad (9)$$

Relativamente à forma da corrente, através dos gráficos 1, 2, 3, 4 e 5 compreendemos que a corrente contínua nos proporcionaria uma melhor análise, uma vez que, apesar de os valores de tensão pico a pico lidos serem semelhantes, o ajuste linear do gráfico associado à corrente contínua é melhor, uma vez que $(r^2(CC) > r^2(AC))$ (consultar tabelas 2 e 3).

Em ambos os casos, os resíduos são aleatórios, apesar dos resíduos do gráfico 4 (resíduos de $\text{Log}(V)$ em função de $\text{Log}(d)$, corrente contínua), apresentam valores mais próximos de zero, comparativamente ao gráfico 2 (Resíduos de $\text{Log}(V)$ em função de $\text{Log}(d)$, corrente alternada).

Em ambas as correntes, os resíduos apresentam uma dispersão maior para $\text{log}(d)$ associados a $d > 86,06\text{cm}$. À medida que a distância, d , é maior, o sinal torna-se mais fraco, e naturalmente a incerteza aumenta.

Para estudar a relação $V \propto d^{-2}$ recorremos à equação(38), note-se que para a relação se verificar o declive deve ser próximo de -2 .

Devemos ter em conta uma escala logarítmica, que permita ter os valores da abcissa ($\log(d)$) igualmente espaçados.

$$d_n = 10^{(\log(d_{min}) + \frac{\log(d_{max}) - \log(d_{min})}{n_T - 1} \times n)} \quad (10)$$

Sendo n o índice do ponto e n_T o número total de pontos.

Aplicando-se o logaritmo de base 10 em ambos os dados, obteve-se o seguinte gráfico:

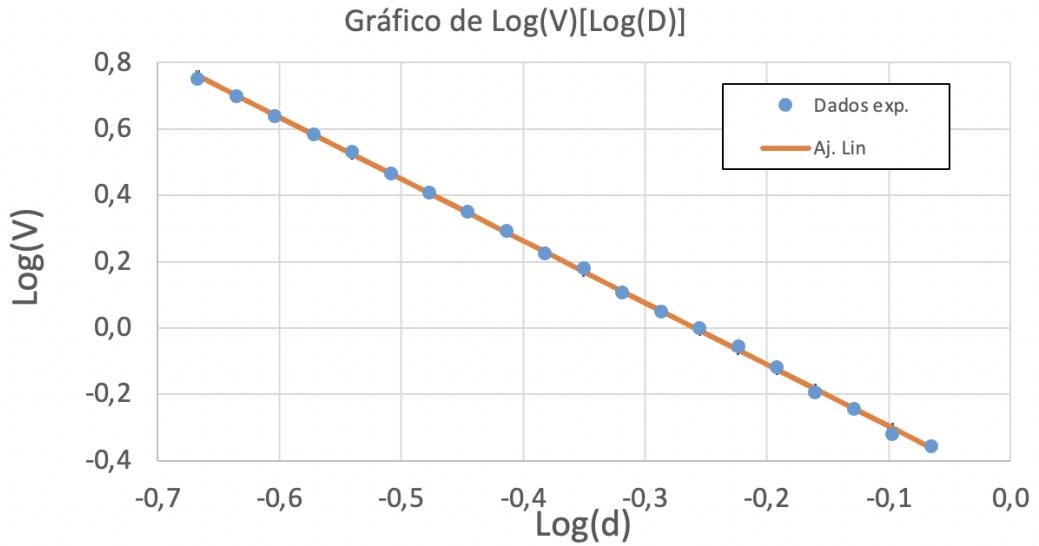


Gráfico 6: Gráfico de $\log(V)$ em função de $\log(d)$. Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\log(V))$

Donde obtemos os seguintes dados:

$$m = -1,864 \pm 0,009 \quad (11)$$

$$u(m)(\%) = 0,5\% \quad (12)$$

$$Erro(\%)(m) = \frac{|m - 2|}{2} \times 100 = 7\% \quad (13)$$

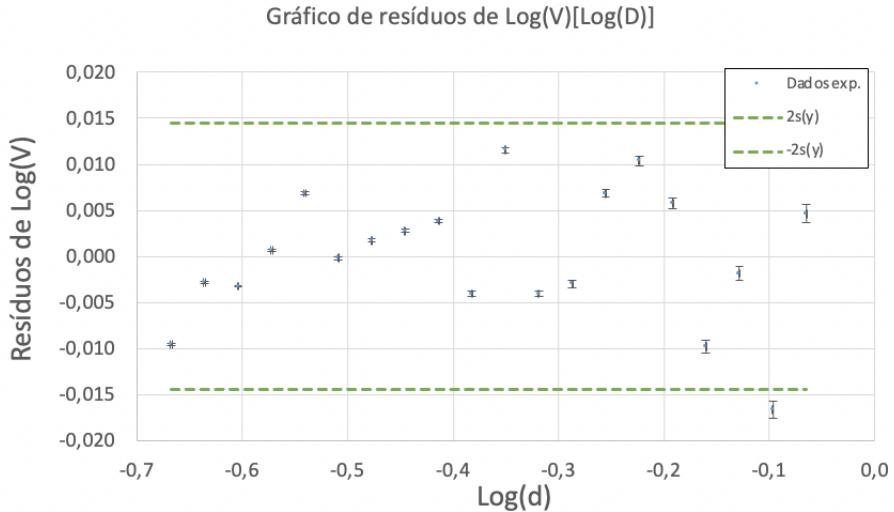
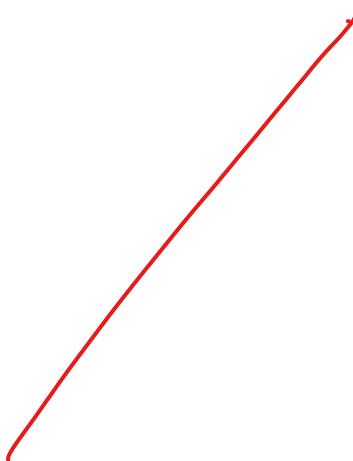


Gráfico 7: Resíduos relativos ao gráfico 5. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\text{Log}(V))$

Pela análise do gráfico dos resíduos verificamos que os pontos apresentam valores próximos de zero e estão distribuídos aleatoriamente para valores superiores a $\text{Log}(d) = -0,4$. Antes disso, é percentível uma tendência crescente.

Ao observar as barras de erro concluímos que a incerteza associada é maior para $\log(d)$ menores, o que já seria de esperar, uma vez que com o aumento da distância à fonte o sinal fica mais fraco. Ainda assim, o valor das barras é bastante reduzido.

Devido à tendência crescente para valores inferiores a $\log(d) = -0,4$, realizei um novo ajuste. Apenas com valores de $\text{Log}(d)$ superiores a $-0,4$.



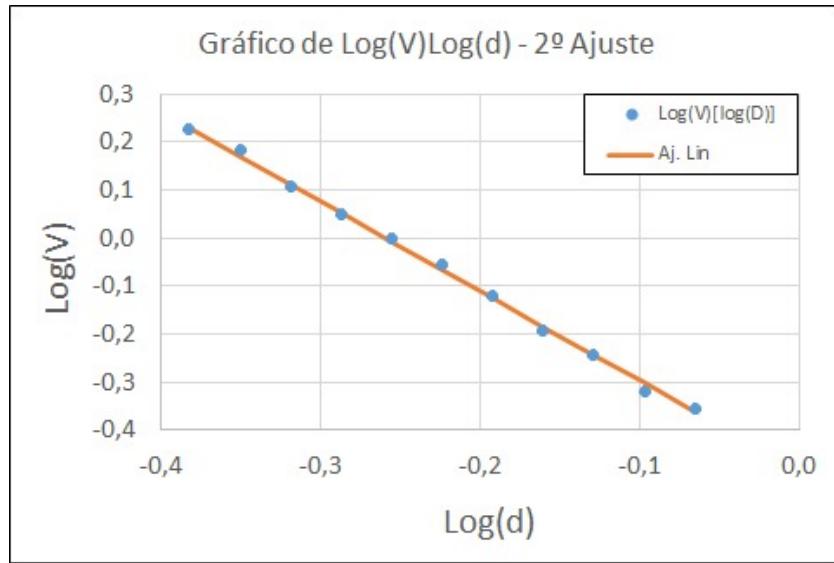


Gráfico 8: Gráfico de $\log(V)$ em função de $\log(d)$. Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\log(V))$

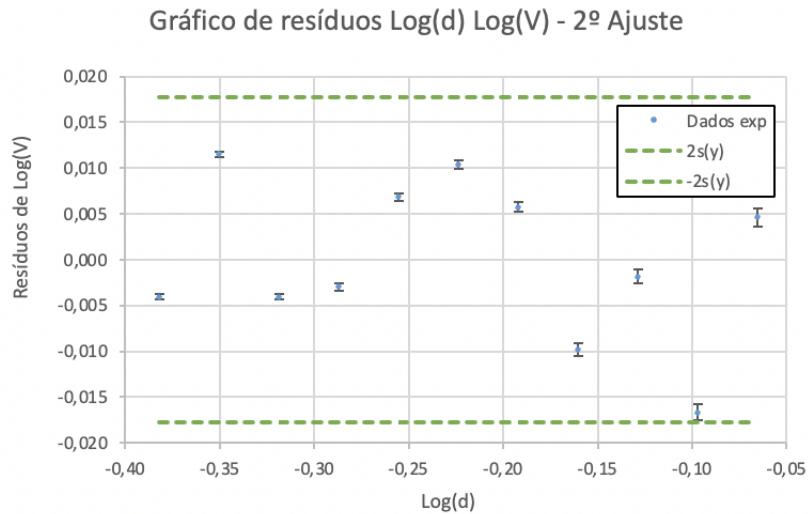


Gráfico 9: Resíduos relativos ao gráfico 8. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\log(d))$

Para este ajuste obtemos:

$$m = -1,89 \pm 0,03 \quad (14)$$

$$u(m)(\%) = 1\% \quad (15)$$

$$Erro(\%)(m) = \frac{|m - 2|}{2} \times 100 = 6\% \quad (16)$$

Assim, verificamos que no segundo ajuste, apesar da incerteza aumentar, o erro diminui de 7% para 6%. Como a primeira gama de ajuste apresenta alguma tendência na parte inicial dos resíduos considerarei o segundo ajuste nesta parte da atividade experimental.

Podemos ainda apresentar um gráfico de V em função de d^{-2} .

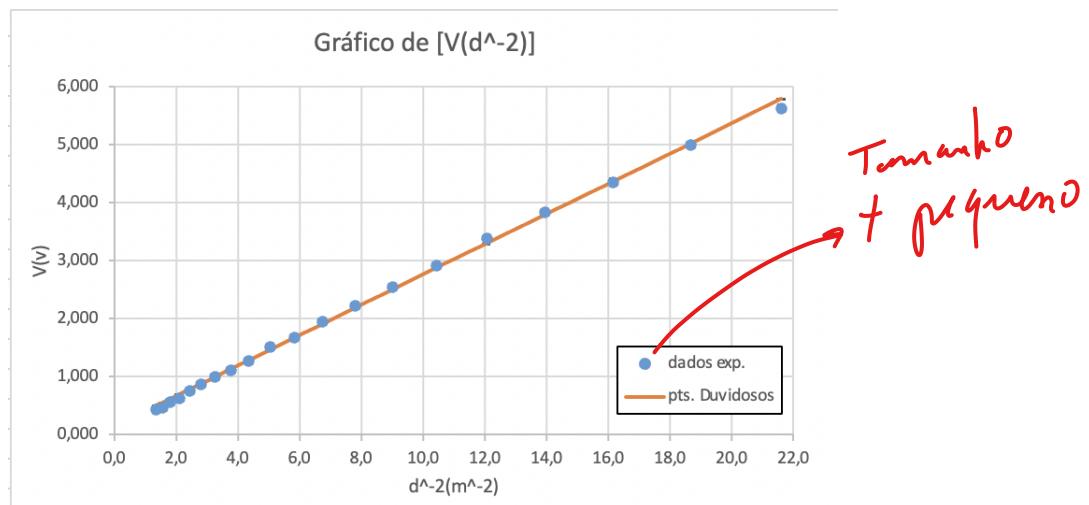
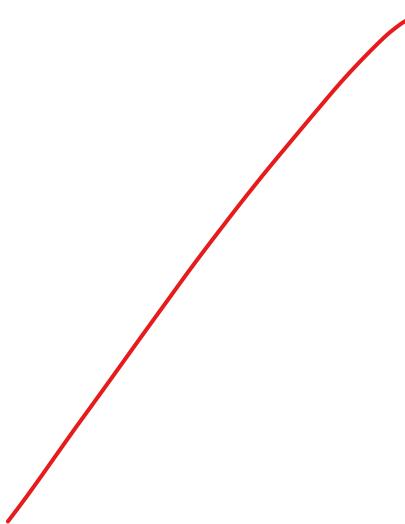


Gráfico 10: Gráfico de V em função de d^{-2} . Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(v)$ ($u(v) = \pm 0,01V$)

Este gráfico não acrescenta muita informação relativamente ao gráfico 5, tem apenas relevância por ser possível observar visualmente a relação de proporcionalidade direta entre V e d^{-2} .

\Rightarrow remete
-lo para
apêndice



3 .1.1 Determinação do coeficiente de absorção

de um acrílico

à X

Nesta parte da atividade experimental pretende-se obter o coeficiente de absorção de um filtro de acrílico, para isso, realizamos a montagem experimental da figura 6, mantendo fixa a distância à fonte luminosa ($(d = 20,00 \pm 0,05)cm$).

Colocamos o sensor a 20 cm, d_{min} , da fonte luminosa, para se conseguir ter um maior valor de energia luminosa. Note-se que a distância entre o suporte dos filtros e o sensor deve ser pequena, de forma a evitar que o sensor detete luz provenientes de outras fontes luminosas, que não a luz filtrada.

A experiência deveria ter sido realizada com todas as luzes desligadas, de forma a simular uma câmara escura, no entanto tal não aconteceu durante esta parte da execução experimental. Porém, foi colocado um pano preto sobre a calha, ao longo da distância d , de forma a evitar reflexões.

Como todos os filtros tinham espessuras diferentes, decidimos estudar V em função da espessura total, em vez do nº de filtros.

Foram realizados cinco ensaios em que se variou a ordem de colocação dos filtros, com isto obtivemos vários coeficientes de absorção, α .

Iniciaremos a análise com os gráficos de $\ln(V)$ em função da espessura dos filtros ($d_{filtros}$).

Ensaio 1

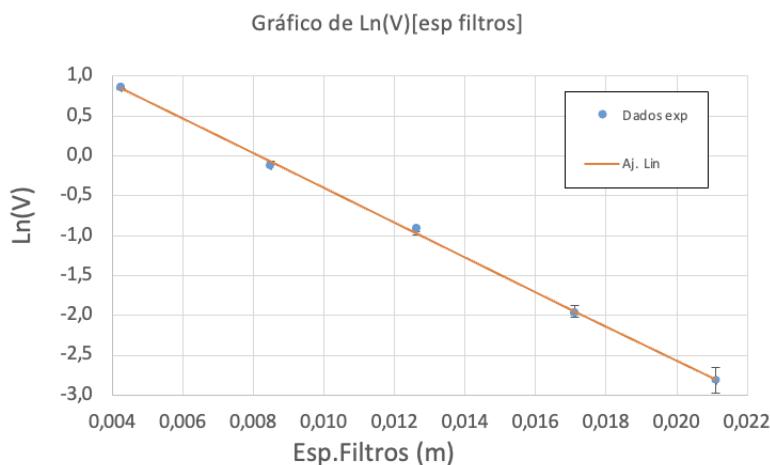


Gráfico 11: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 1. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$

*→ a unica contribuição
não da fonte
portugal é
constante*

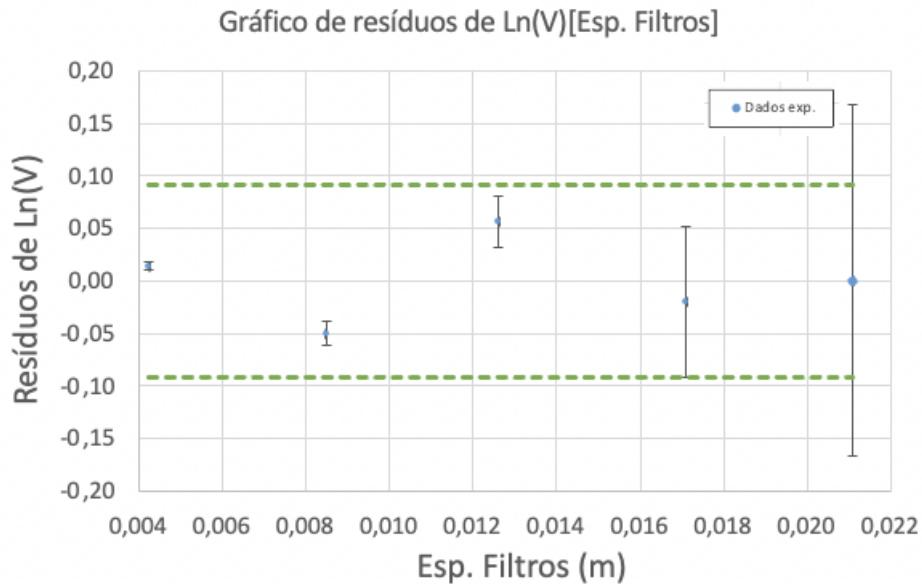


Gráfico 12: Resíduos correspondentes ao gráfico 11, ensaio 1. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$

Obtemos:

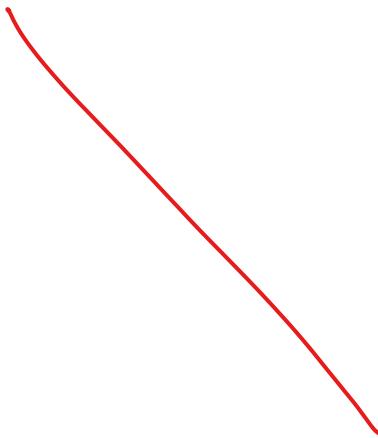
$$\alpha = (217 \pm 3)m^{-1} \quad (17)$$

$$u(\alpha)(\%) = 2\% \quad (18)$$

Concluímos que este foi um bom ensaio, já que os todos resíduos são aleatórios, encontram-se dentro do intervalo de confiança ($2s(y)$) e possuem valores próximos próximos de zero. Logo, incluimos todos os pontos na análise.

Adicionalmente, o coeficiente de absorção (α) possui uma baixa percentagem de incerteza, $u(\alpha)(\%) = 2\%$.

Ensaio 2



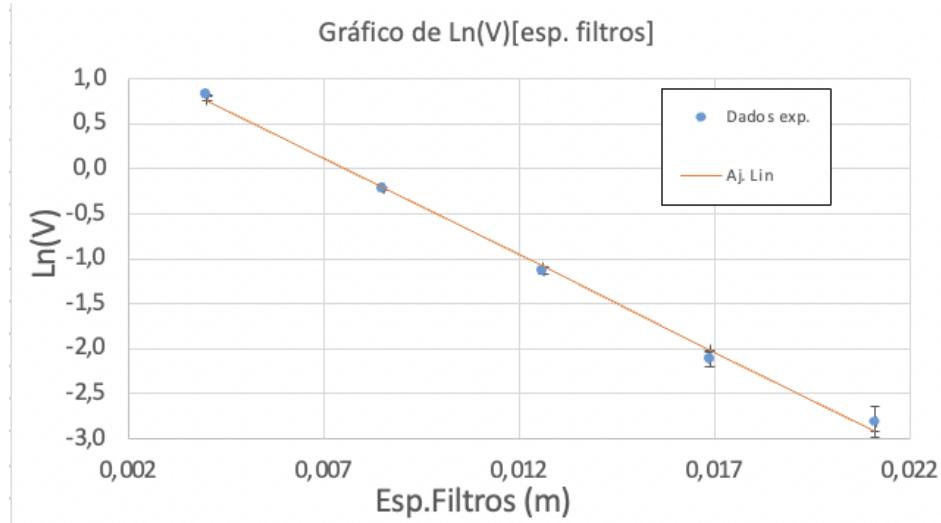


Gráfico 13: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 2. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$

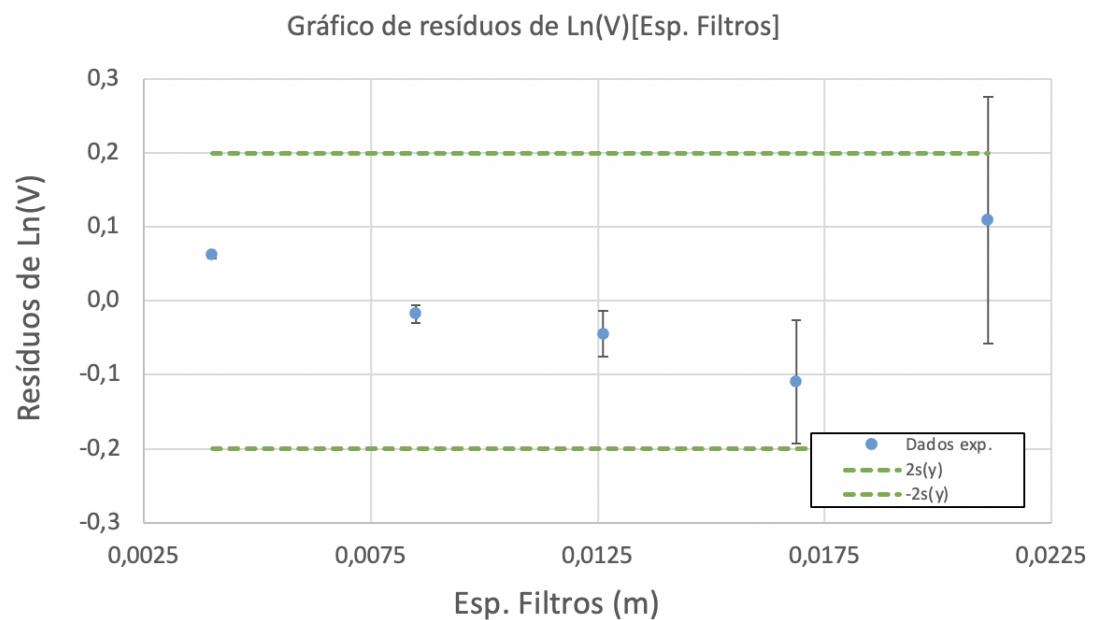


Gráfico 14: Resíduos correspondentes ao gráfico 13, ensaio 2. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$

Assim, obtemos:

$$\alpha = (216 \pm 7)m^{-1} \quad (19)$$

$$u(\alpha)(\%) = 3\% \quad (20)$$

Concluímos que este foi um bom ensaio, já que os todos resíduos são aleatórios, encontram-se dentro do intervalo de confiança ($2s(y)$) e possuem valores relativamente próximos de zero. Logo, incluimos todos os pontos na análise.

Adicionalmente, o coeficiente de absorção (α) possui uma baixa percentagem de incerteza, $u(\alpha)(\%) = 3\%$, sendo muito semelhante ao obtido no ensaio 1, $(\alpha_1 = (217 \pm 3)m^{-1})$.

Ensaio 3

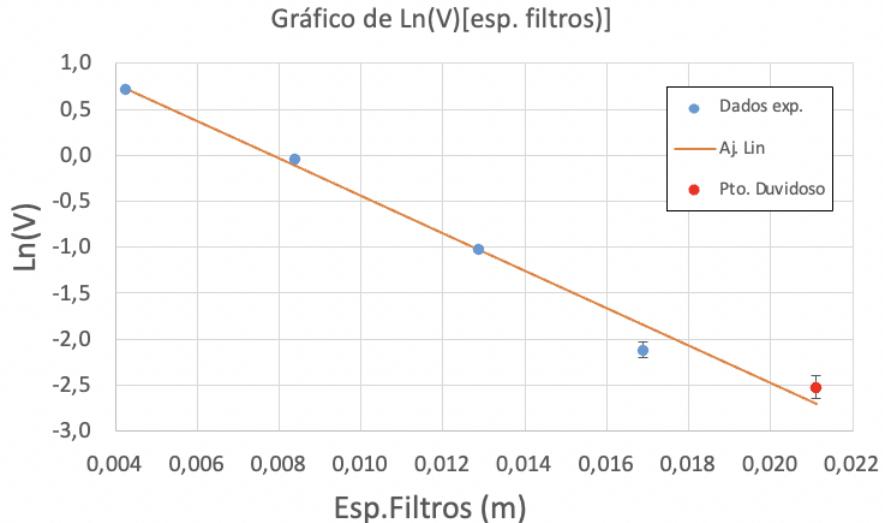
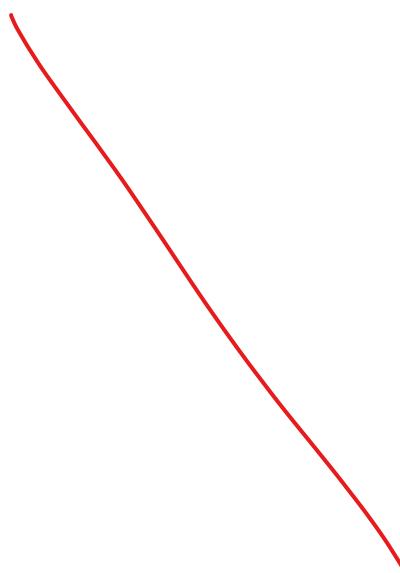


Gráfico 15: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 3. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.



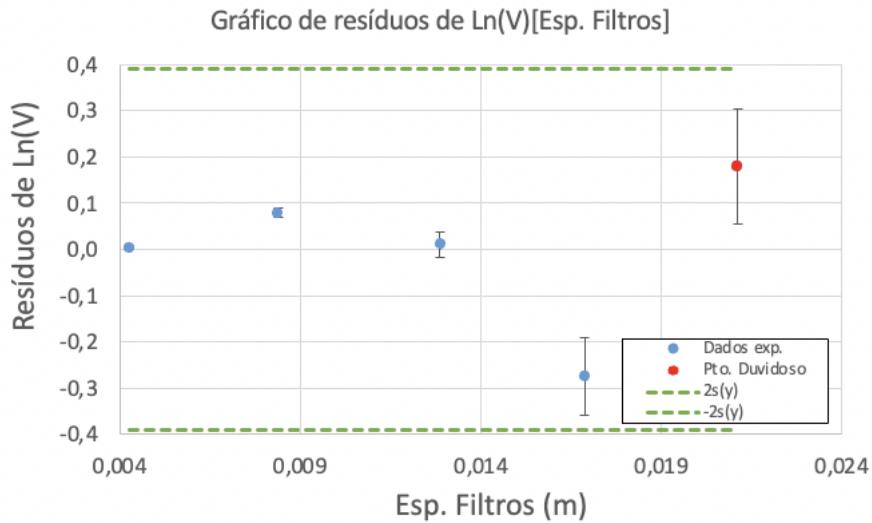


Gráfico 16: Resíduos correspondentes ao gráfico 15, ensaio 3. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

Como é possível vizualizar através do gráfico 13, o último ponto apesar de estar dentro da gama de confiança ($2s(y)$) apresenta uma dispersão superior aos restantes, pelo que o iremos considerar como duvidoso. Retirando este ponto do ajuste, obtemos os seguintes gráficos:

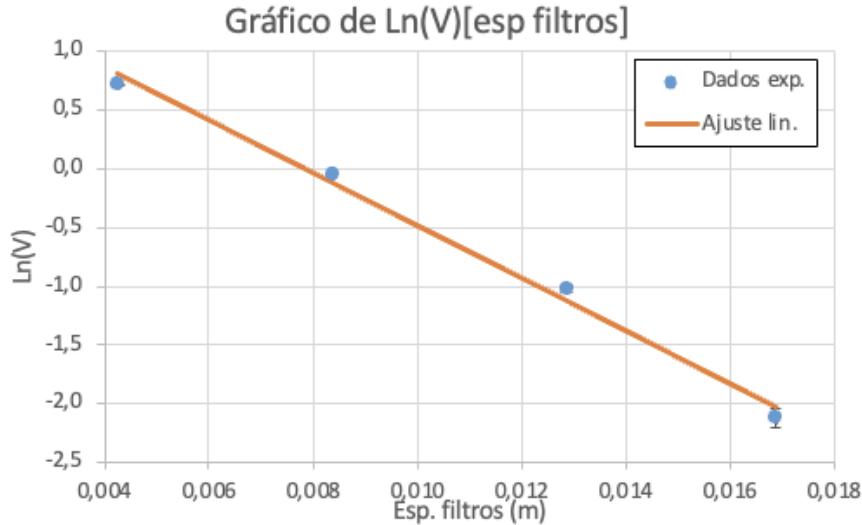


Gráfico 17: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 3. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

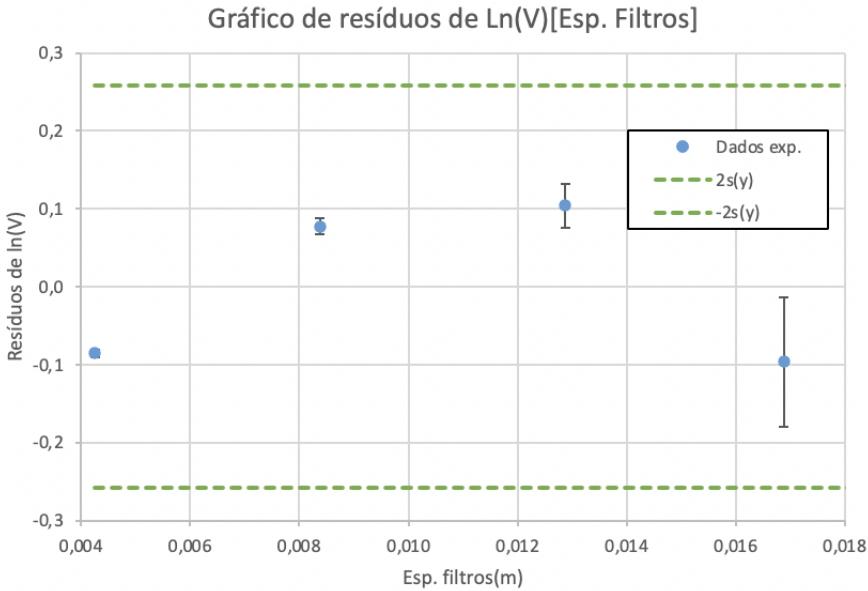


Gráfico 18: Resíduos correspondentes ao gráfico 17, ensaio 3. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

Incluindo o ponto duvidoso no ajuste, obtemos:

$$\alpha = (203 \pm 15)m^{-1} \quad (21)$$

$$u(\alpha)(\%) = 7\% \quad (22)$$

Excluindo o ponto duvidoso no ajuste, obtemos:

$$\alpha = (224 \pm 14)m^{-1} \quad (23)$$

$$u(\alpha)(\%) = 6\% \quad (24)$$

Como seria de esperar, o ajuste que inclui o ponto duvidoso apresenta uma incerteza elevada, cerca de 7% e um valor de α pouco congruente com os restantes ensaios ($\alpha = (203 \pm 15)m^{-1}$). Mesmo eliminado o ponto duvidoso do ajuste obtemos uma incerteza um pouco elevada, 6%, porém o valor de α toma um valor mais próximo dos outros ensaios, ($\alpha = (224 \pm 14)m^{-1}$). Adicionalmente, o $s(y)$ diminui de 0,2 para 0,1 e o r^2 toma um valor mais próximo de 1 ($r^2 = 0,993$), o que nos indica que retirar o último ponto da análise foi uma decisão acertada.

Ensaio 4

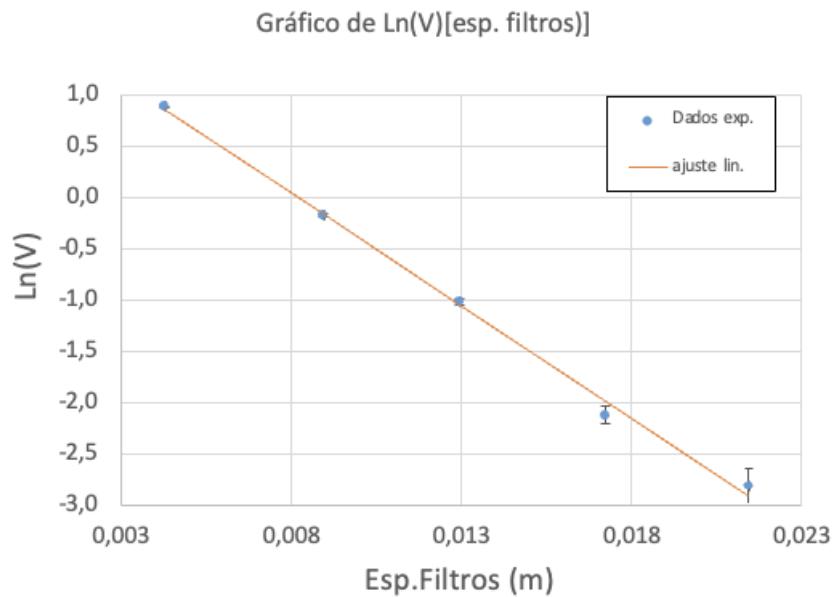


Gráfico 19: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 4. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

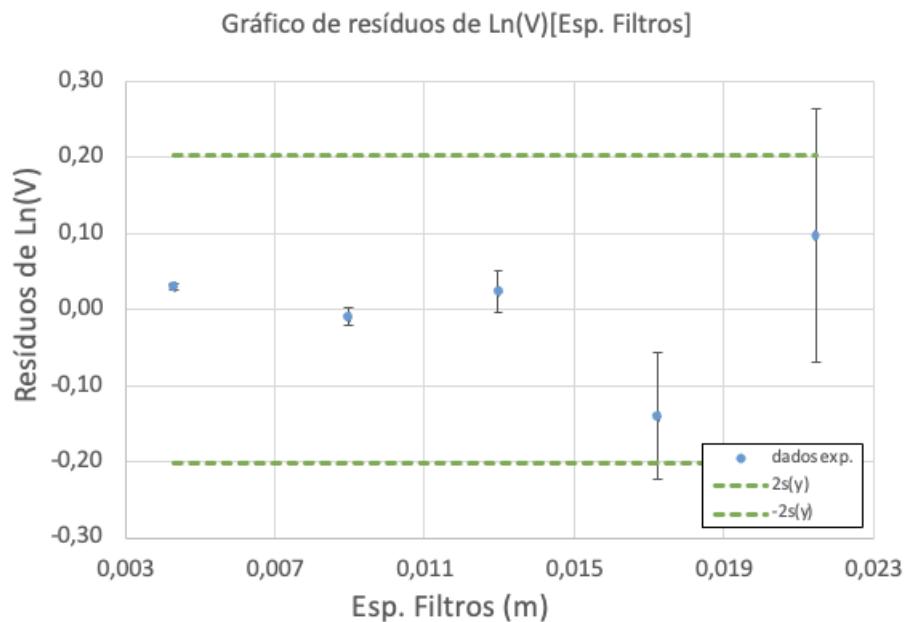


Gráfico 20: Resíduos correspondentes ao gráfico 19, ensaio 4. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

Obtemos:

$$\alpha = (220 \pm 8)m^{-1} \quad (25)$$

$$u(\alpha)(\%) = 3\% \quad (26)$$

Concluímos que este foi um bom ensaio, já que os todos resíduos são aleatórios, encontram-se dentro do intervalo de confiança ($2s(y)$) e possuem valores relativamente próximos de zero. Logo, incluimos todos os pontos na análise.

Adicionalmente, o coeficiente de absorção (α) possui uma baixa percentagem de incerteza, $u(\alpha)(\%) = 3\%$, sendo semelhante aos valores de α obtidos nos outros ensaios.

Ensaio 5

Gráfico de $\ln(V)$ [esp. filtros]

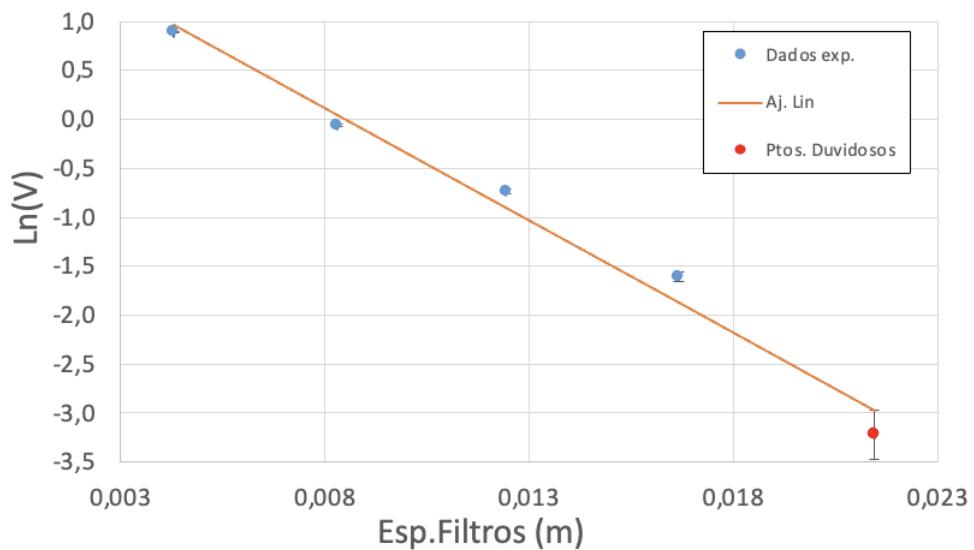
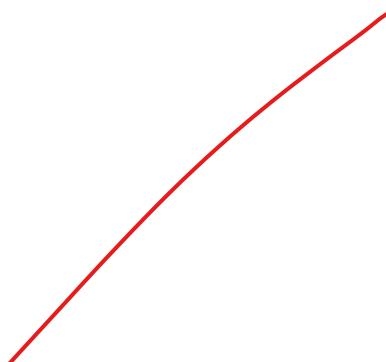


Gráfico 21: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 5. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.



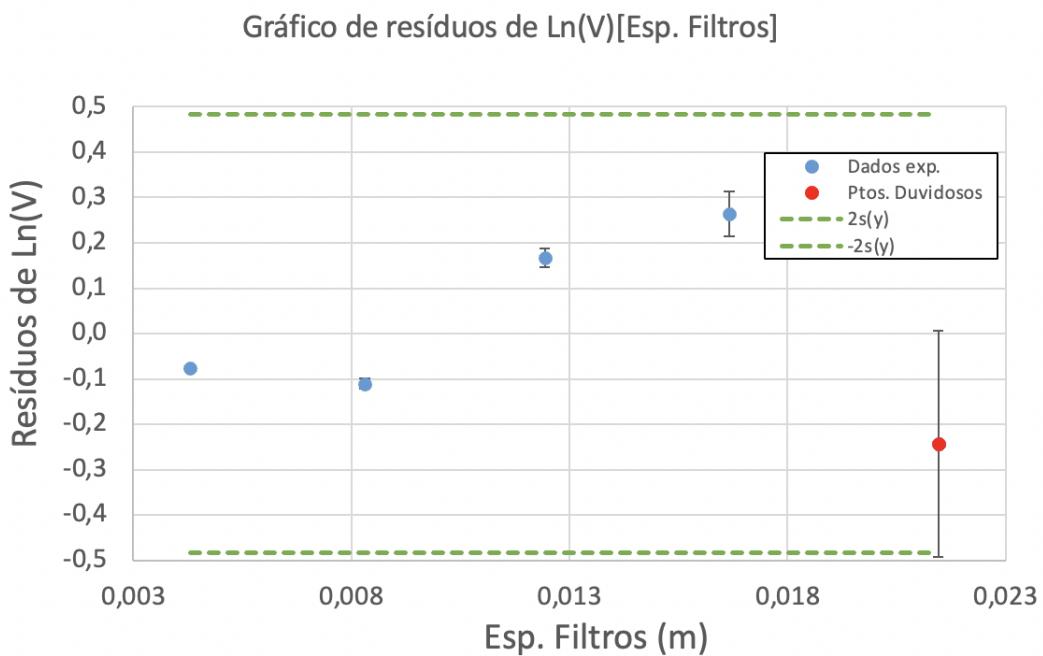
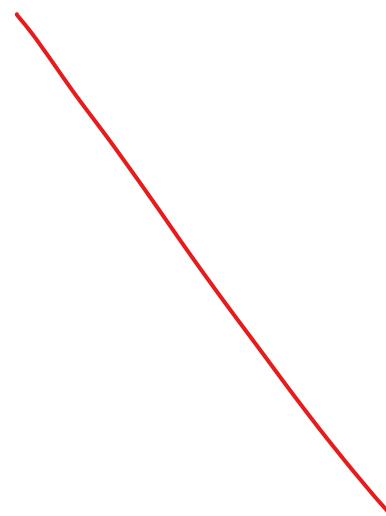


Gráfico 22: Resíduos correspondentes ao gráfico 21, ensaio 5. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

Após analisar o gráfico de resíduos (gráfico 22) e o gráfico de $\ln(V)$ em função da espessura dos filtros (gráfico 21), conclui que o último ponto é duvidoso, uma vez que este apresenta uma barra de incerteza muito superior aos restantes, para além de também ter uma dispersão superior. Tal é congroente com o gráfico 21, onde este ponto se encontra visivelmente afastado do ajuste linear. Retirando este ponto do ajuste obtemos os seguintes gráficos:



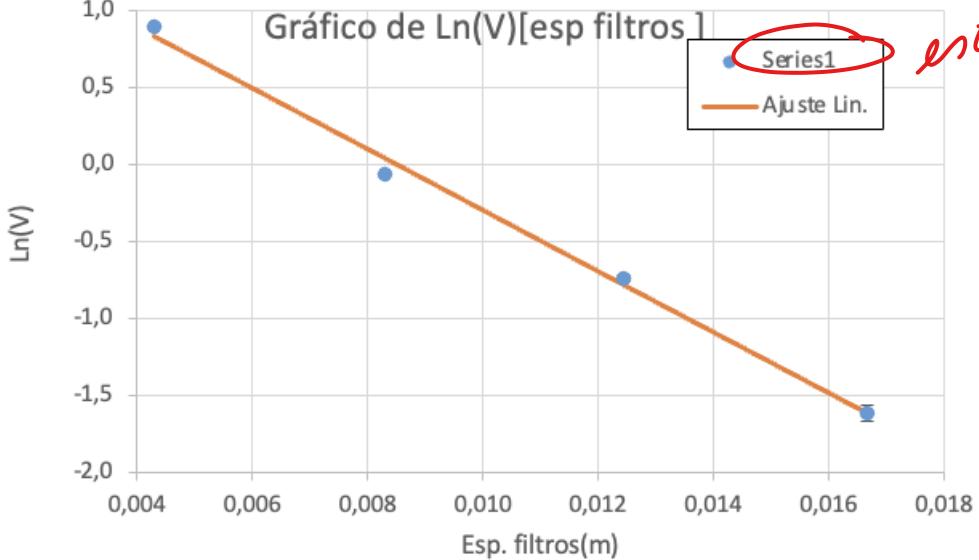


Gráfico 23: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, ensaio 5. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

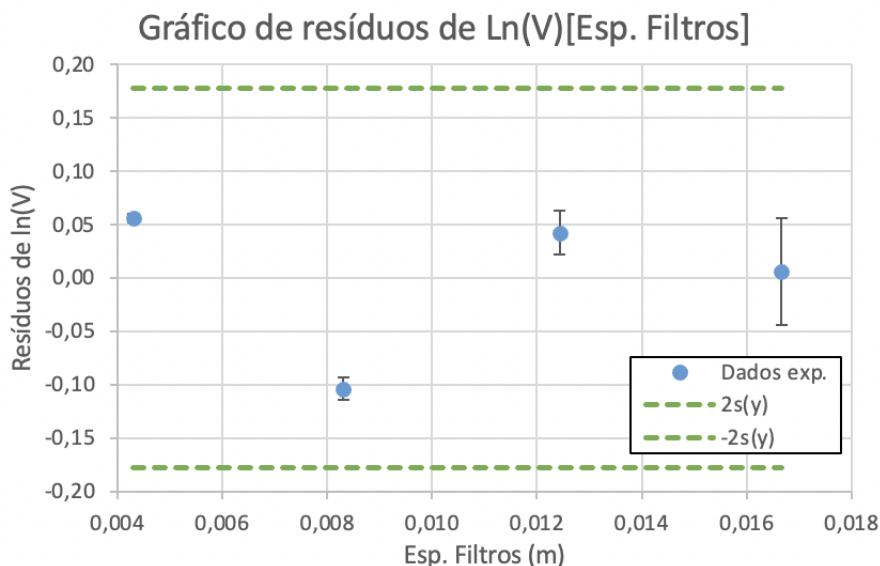


Gráfico 24: Resíduos correspondentes ao gráfico 23, ensaio 5. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$.

Incluindo o ponto duvidoso no ajuste obtemos:

$$\alpha = (230 \pm 18)m^{-1} \quad (27)$$

$$u(\alpha)(\%) = 8\% \quad (28)$$

Excluindo o ponto duvidoso no ajuste obtemos:

$$\alpha = (198 \pm 10)m^{-1} \quad (29)$$

$$u(\alpha)(\%) = 5\% \quad (30)$$

Mesmo retirando o último ponto (considerado duvidoso) verifica-se que o coeficiente de absorção obtido difere bastante do coeficiente obtido nos outros ensaios. Assim, coloco a hipótese de que neste ensaio podem haver mais pontos duvidosos para além do indicado (último ponto). Sendo o ajuste já apenas de quatro pontos, não se torna fável retirar mais dados experimentais, uma vez que a gama experimental ficaria demasiado reduzida para ser considerada credível.

Por este motivo, e por também o coeficiente de absorção não estar de acordo com os restantes coeficientes obtidos, não irei considerar este ensaio no cálculo final do coeficiente de absorção.

Análise conjunta

→ só interessam estes 10 restos
vai p/
apêndice

Para conseguir comparar os resíduos e os pontos obtidos em cada um dos ensaios, optei por combinar todos os ensaios num gráfico $\ln(V)$ em função da espessura dos filtros, bem como uma representação gráfica com todos os resíduos.

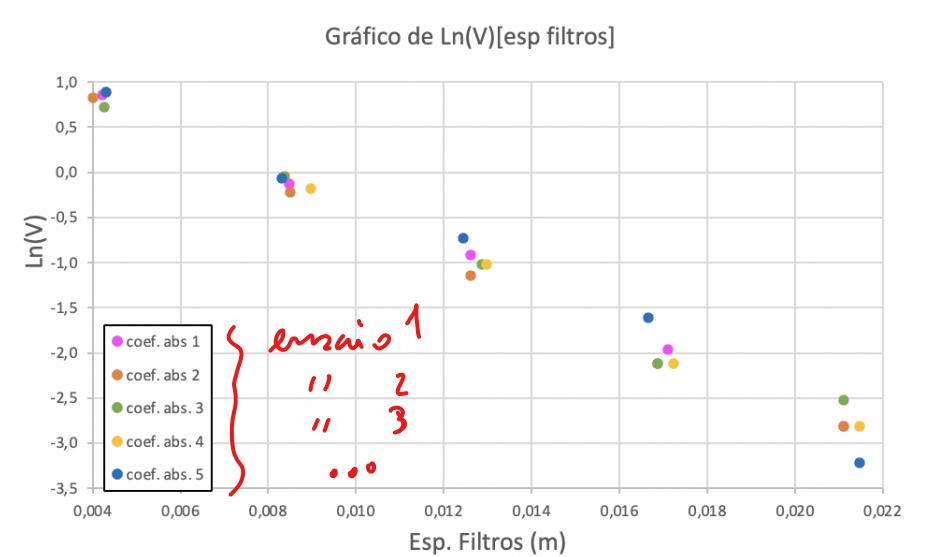


Gráfico 25: Gráfico de $\ln(V)$ em função de $d_{filtros}$, análise conjunta

c/ f/s linhas
de ajuste
e c/ tabela -
resumo

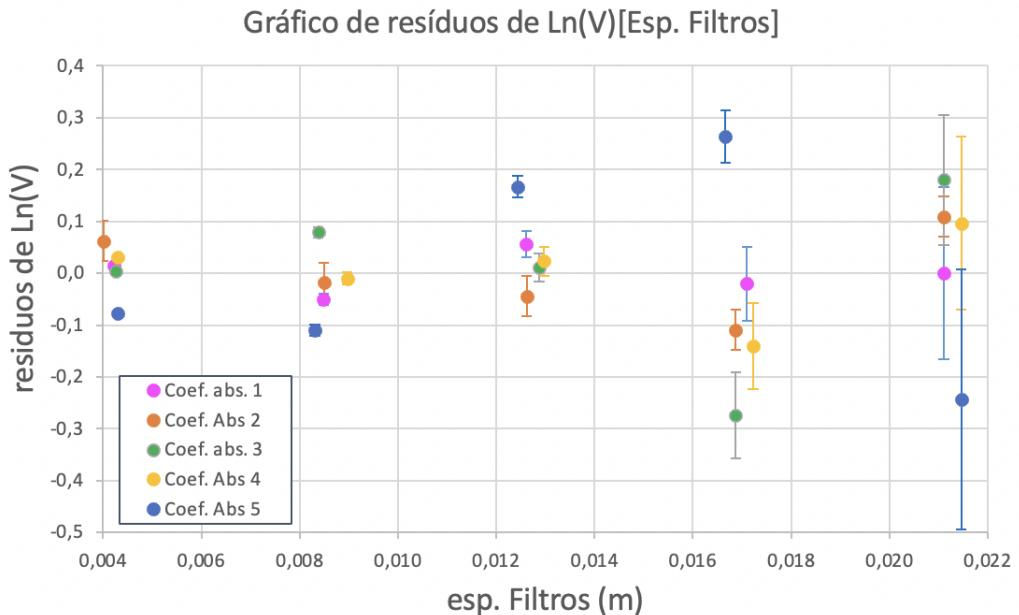


Gráfico 26: Resíduos correspondentes ao gráfico 25, análise conjunta. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(\ln(V))$ associado a cada ensaio.

Como é perceptível, os ensaios 1,2,3 e 4 apresentam ter uma tendência semelhante no gráfico 25, sendo que os 4 ensaios apresentam comportamentos e valores semelhantes no gráfico 26 (gráfico dos resíduos).

Porém, é clara a existência de um ensaio duvidoso, neste caso o ensaio 5. No gráfico 25, este tende a afastar-se bastante dos restantes ensaios, o que não é desejável, já que o coeficiente de absorção em todos os ensaios deveria ser semelhante. Também no gráfico 26 estes pontos são aqueles que apresentam maior dispersão. Como tal, não iremos considerar este ensaio no cálculo do coeficiente de absorção.

Cálculo do coeficiente de absorção final

Ao incluir todos os ensaios e pontos no cálculo do coeficiente de absorção (α), obtem-se:

$$\alpha = (217 \pm 4)m^{-1} \quad (31)$$

$$u(\alpha)(\%) = 2\% \quad (32)$$

Ao excluir o ensaio 5 e o ponto duvidoso do ensaio 3 no cálculo do coeficiente de absorção (α), obtem-se:

$$\alpha = (219 \pm 2)m^{-1} \quad (33)$$

$$u(\alpha)(\%) = 0,009\% \quad (34)$$



Como seria expectável, ao excluir o último ensaio e o ponto duvidoso do ensaio 3 no cálculo do coeficiente de absorção a incerteza relativa diminui drasticamente, além da incerteza diminuir para metade.

✓ ✗

3 .1.2 Resultados

$$V \propto d^{-2}$$

$$m = -1,89 \pm 0,03 \quad (35)$$

$$u(m)(\%) = 1\% \quad (36)$$

$$Erro(\%)(m) = \frac{|m - 2|}{2} \times 100 = 6\% \text{ (Por excesso)} \quad (37)$$

Coeficiente de absorção, α

$$\alpha = (219 \pm 2)m^{-1} \quad (38)$$

$$u(\alpha)(\%) = 0,009\% \quad (39)$$

3 .1.3 Conclusão

- Através da primeira parte da atividade experimental conseguimos comprovar a proporcionalidade entre a intensidade da fonte luminosa e o inverso do quadrado da distância do sensor ($V \propto d^{-2}$), obtendo para o expoente um valor correspondente a $-1,89 \pm 0,03$, com uma incerteza relativa de 1%. Tomando -2 como valor de referência para o expoente, obtemos um erro de 6%, (por excesso).
- No cálculo do coeficiente de absorção obtemos $\alpha = (219 \pm 2)m^{-1}$, com uma incerteza relativa de 0,009%. ~~Estes valores foram obtidos após retirarmos o ensaio 5 e o ponto duvidoso do ensaio 3.~~ Não foi possível calcular um erro pois não tinha um valor de referência para o α . Optei por não comparar com valores obtidos por outros colegas, uma vez que o nosso grupo realizou muitos ensaios e não sabemos quais as condições em que teria sido realizada a execução experimental de outros grupos. Pelo que a análise de um erro poderia conduzir a conclusões erradas.
- O valor do coeficiente de absorção obtido pode ter sido influenciado por alguns erros na execução experimental. Ao realizar a experiência reparamos que:
 - Alguns filtros estavam riscados;
 - O suporte dos filtros só ficava totalmente na vertical quando estavam vários filtros no suporte

) *Acerto!* !
ok !

ist
 constar
 "receber"
 "registar"
 "analisar"

- O mesmo filtro tinha espessuras diferentes, assim para diminuirmos a influência deste erro deveríamos ter colocado os filtros sempre da mesma forma em cada ensaio, o que não aconteceu.
- O suporte dos filtros estava apenas pousado na calha e não encaixado

Alguns destes fenômenos provocam reflexão, reduzindo a intensidade do sinal refratado. Estes erros podem ter afetado alguns dos ensaios, e possivelmente podem ter contribuído para a elevada dispersão do ensaio 5.

- Durante esta parte da execução experimental a luz da sala não foi desligada, ou seja, a fonte de luz deixou de ser pontual. Porém este fator não terá influenciado o cálculo do coeficiente de absorção, uma vez que na aula de feedback retiramos alguns pontos com a luz acesa e desligada, e não houve qualquer alteração no valor da tensão

*errado
→ não tem consequências*

- existe sempre numa superfície de separação entre 2 meios /

- esse efeito é reduzido quando os filtros estão bem juntinhos (multiplos reflexos/refrações entre cada 2 filtros) ou diz a perda total de intensidade na passagem de um filtro para o seguinte)

Referências

4 Anexos

4.1 Gráficos e Tabelas auxiliares

4.1.1 Varrimento inicial

Corrente alternada

Ajuste Linear - Log(V)[Log(D)] (ac)			
m	-1,86	-0,497	b
s(m)	0,02	0,006	s(b)
r ²	0,998	0,02	s(y)

Tabela 1: Tabela correspondente à matriz do gráfico 1

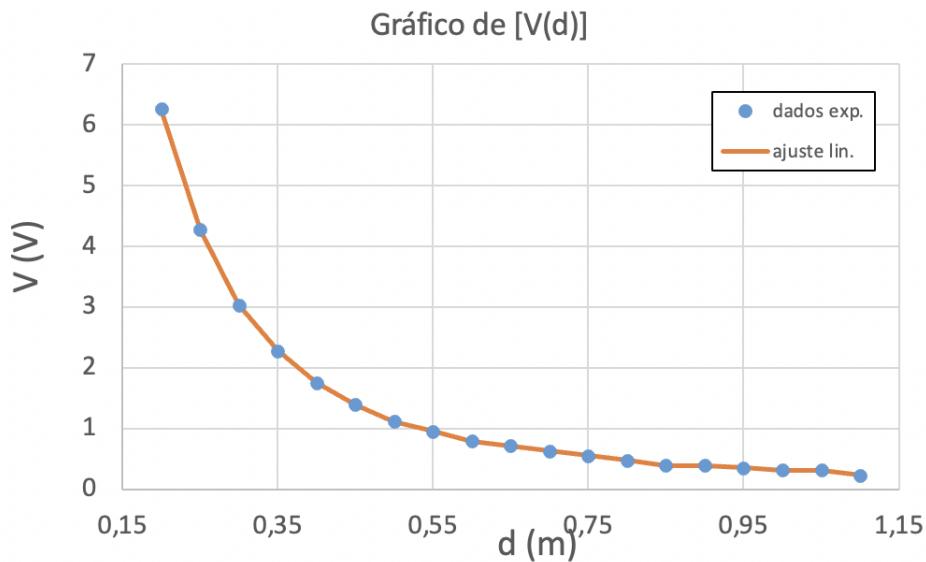


Gráfico 27: Gráfico de V em função de d . Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

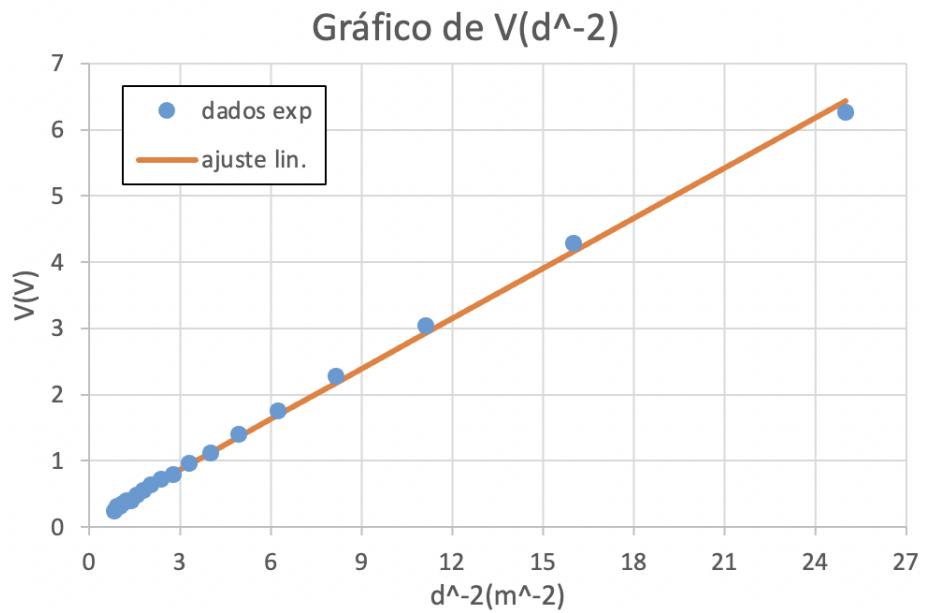


Gráfico 28: Gráfico de V em função de d^{-2} . Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

Aj. Linear			
m	0,253	0,11	b
s(m)	0,003	0,02	s(b)
r ²	0,998	0,07	s(y)

Tabela 2: Tabela correspondente à matriz de ajuste do gráfico 28.

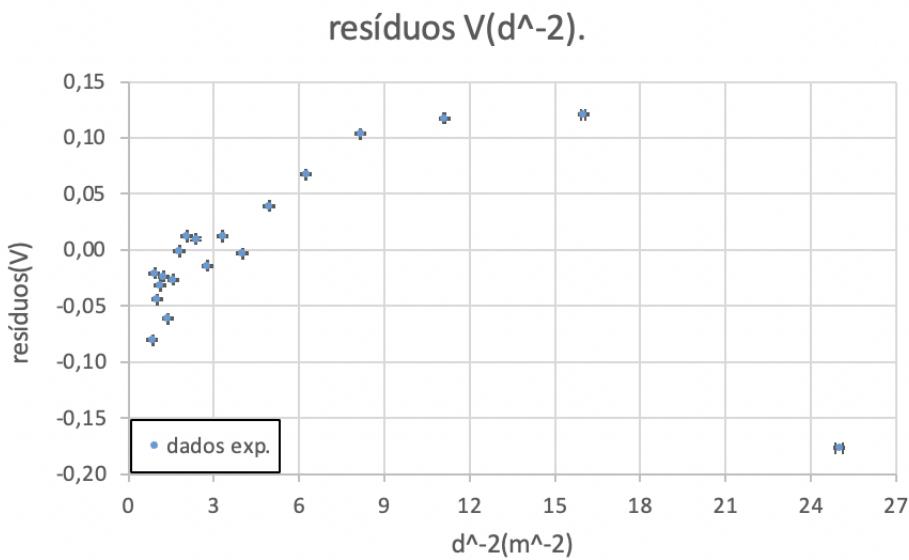


Gráfico 29: Resíduos correspondentes ao gráfico 28. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

Corrente contínua

Aj. Linear - Log(V)[Log(D)] (CC)			
m	-1,88	-0,511	b
s(m)	0,02	0,005	s(b)
r^2	0,9986	0,02	s(y)

Tabela 3: Tabela correspondente à matriz do gráfico 3

Gráfico de $[V(d)]$

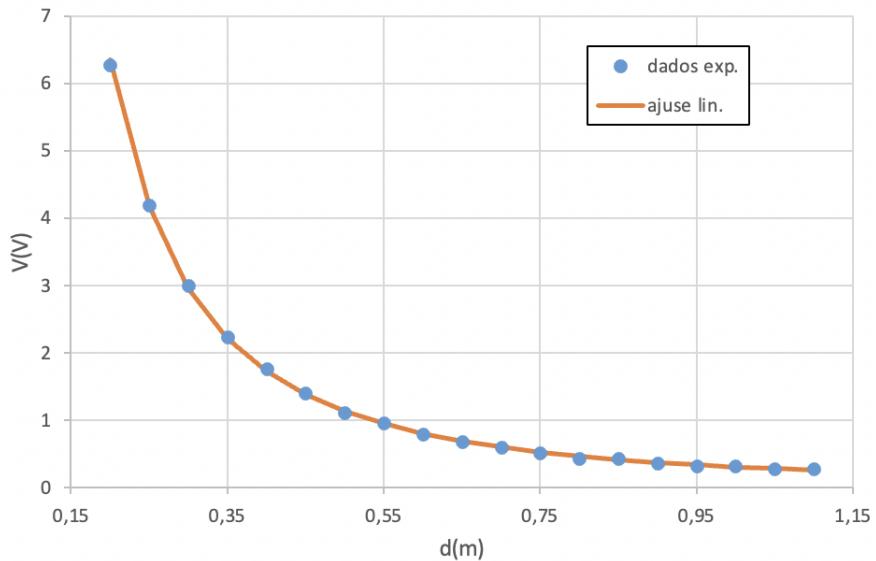


Gráfico 30: Gráfico de V em função de d . Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

Gráfico de $V(d^{-2})$

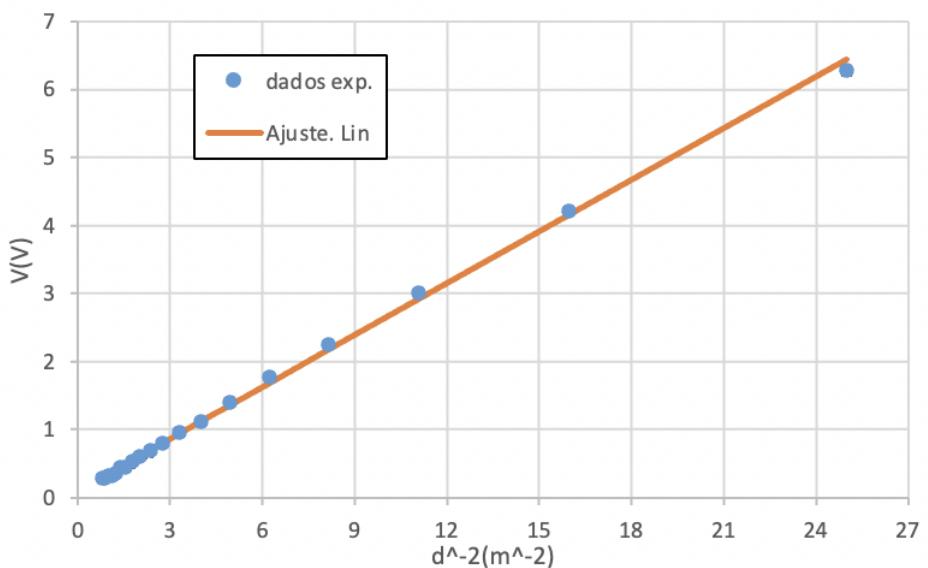
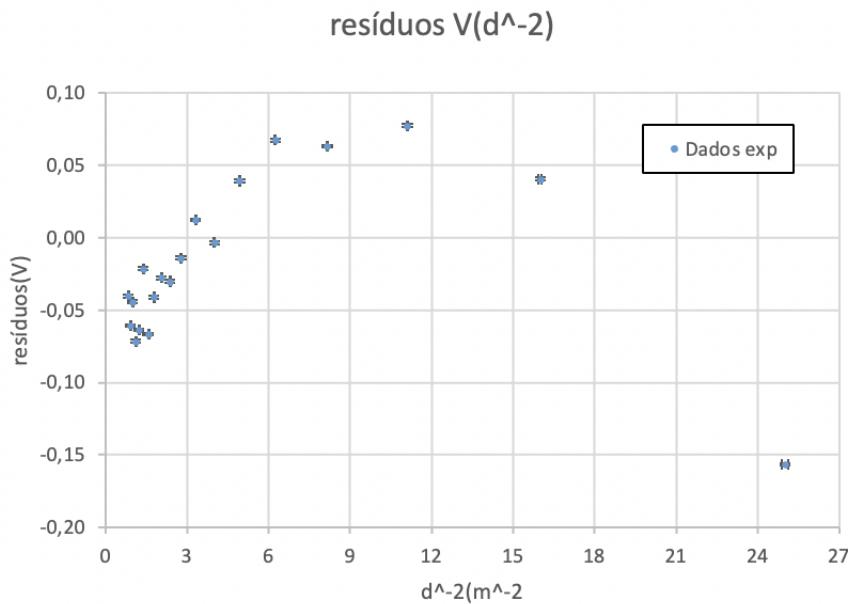


Gráfico 31: Gráfico de V em função de d^{-2} . Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

Aj. Linear			
m	0,253	0,11	b
s(m)	0,003	0,02	s(b)
r ²	0,998	0,07	s(y)

Tabela 4: Tabela correspondente à matriz de ajuste do gráfico 31**Gráfico 32:** Resíduos correspondentes ao gráfico 31. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

4 .1.2 Relação de proporcionalidade direta entre V (potência luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detetor à fonte).

Aj. Linear - Log(V)[Log(D)]			
m	-1,864	-0,483	b
s(m)	0,009	0,004	s(b)
r ²	0,9996	0,007	s(y)

Tabela 5: Tabela correspondente ao ajuste linear do gráfico 6

Aj. Linear (2º ajuste)			
m	-1,89	-0,488	b
s(m)	0,03	0,007	s(b)
r ²	0,998	0,009	s(y)

Tabela 6: Tabela correspondente ao ajuste linear do gráfico 8

Aj. Linear			
m	0,261	0,15	b
s(m)	0,002	0,02	s(b)
r ²	0,999	0,06	s(y)

Tabela 7: Matriz de ajuste do gráfico 10

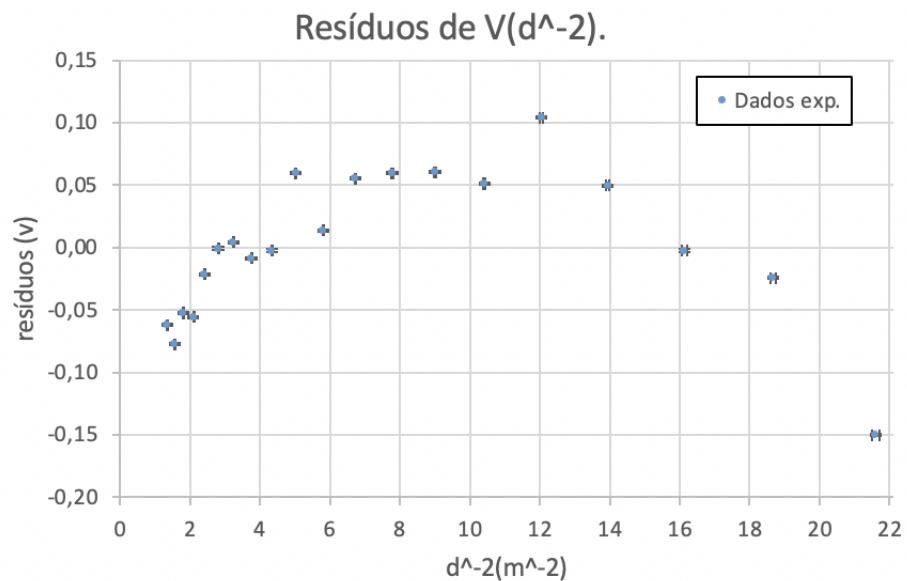


Gráfico 33: Resíduos relativos ao gráfico 10. Foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

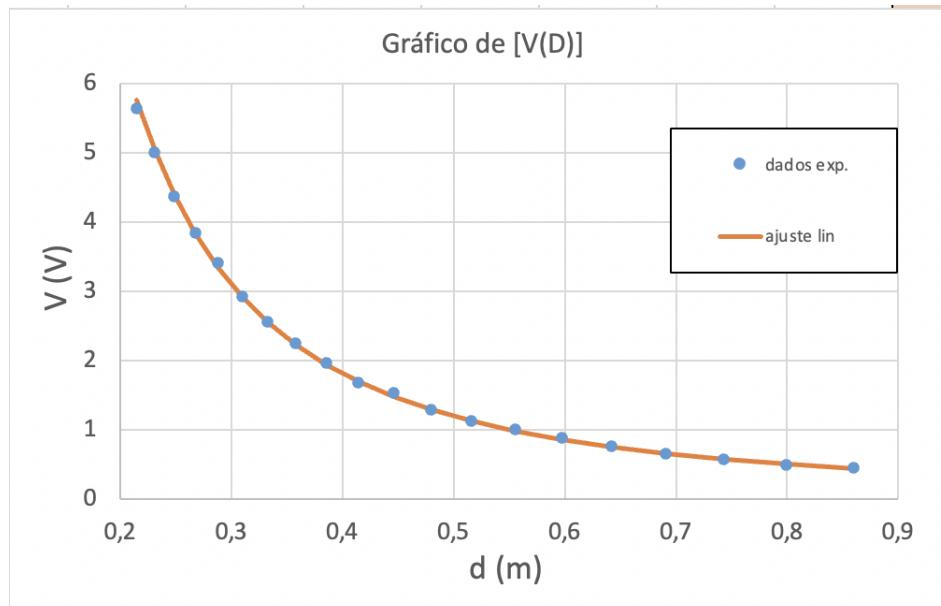


Gráfico 34: Gráfico de V em função de d . Apesar de não serem visíveis foram colocadas barras de erro correspondentes a $u(V)$ ($u(V) = \pm 0,001V$)

4 .1.3 Cálculo do coeficiente de absorção

Nº filtro	Espessura média (m)	$u(\text{Espessura média})$ (m)
1	0,00431	0,00001
2	0,00467	0,00003
3	0,00400	0,00005
4	0,00449	0,00005
5	0,00413	0,00002
6	0,00425	0,00007
7	0,00423	0,00003

Tabela 8: Dados relativos à espessura média (\bar{d}_{filtro})

Ensaio 1

Ajuste Linear			
m	-216,8	1,76	b
$s(m)$	3,4	0,05	$s(b)$
r^2	0,9993	0,05	$s(y)$

Tabela 9: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 11

Ensaio 2

Aj. Linear			
m	-215,5	1,6	b
s(m)	7,4	0,1	s(b)
r ²	0,996	0,1	s(y)

Tabela 10: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 13

Ensaio 3

Aj. Linear			
m	-203,3	1,6	b
s(m)	14,6	0,2	s(b)
r ²	0,98	0,2	s(y)

Tabela 11: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 15

Aj. Linear (excluindo pt duvidoso)			
m	-224,4	1,8	b
s(m)	13,6	0,2	s(b)
r ²	0,993	0,1	s(y)

Tabela 12: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 17

Ensaio 4

Aj. Linear			
m	-219,9	1,8	b
s(m)	7,5	0,1	s(b)
r ²	0,997	0,1	s(y)

Tabela 13: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 19

Ensaio 5

Aj. Linear			
m	-229,9	2,0	b
s(m)	17,9	0,3	s(b)
r ²	0,98	0,2	s(y)

Tabela 14: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 21

Aj. Linear 2 (excluindo pt. duvidoso)			
m	-198,3	1,7	b
s(m)	9,6	0,1	s(b)
r ²	0,995	0,09	s(y)

Tabela 15: Matriz de ajuste correspondente ao gráfico 23

4 .2 Tabelas de dados

4 .3 Varrimento inicial

(d ± 0,05) cm	(d ± 0,0005) m	(V1 ± 1) mV	(V ± 0,001) V	(Fase ± 0,1) °C
20,00	0,2000	6260	6,260	24,2
25,00	0,2500	4280	4,280	25,4
30,00	0,3000	3040	3,040	26,5
35,00	0,3500	2280	2,280	26,5
40,00	0,4000	1760	1,760	27,5
45,00	0,4500	1400	1,400	27,4
50,00	0,5000	1120	1,120	27,3
55,00	0,5500	960	0,960	27,8
60,00	0,6000	800	0,800	27,9
65,00	0,6500	720	0,720	28,1
70,00	0,7000	640	0,640	28,5
75,00	0,7500	560	0,560	29,1
80,00	0,8000	480	0,480	29,1
85,00	0,8500	400	0,400	29,0
90,00	0,9000	400	0,400	29,5
95,00	0,9500	360	0,360	59,6
100,00	1,0000	320	0,320	61,4
105,00	1,0500	320	0,320	60,0
110,00	1,1000	240	0,240	60,5

Tabela 16: Dados relativos ao varrimento, corrente alternada

(d ± 0,05) cm	(d ± 0,0005) m	(V1 ± 1) mV	(V ± 0,001) V	(Fase ± 0,1) °C
20,00	0,200	6280	6,280	24,2
25,00	0,250	4200	4,200	24,7
30,00	0,300	3000	3,000	25,4
35,00	0,350	2240	2,240	26,9
40,00	0,400	1760	1,760	26,7
45,00	0,450	1400	1,400	27,2
50,00	0,500	1120	1,120	26,9
55,00	0,550	960	0,960	28,2
60,00	0,600	800	0,800	28,2
65,00	0,650	680	0,680	28,2
70,00	0,700	600	0,600	28,5
75,00	0,750	520	0,520	28,0
80,00	0,800	440	0,440	28,0
85,00	0,850	440	0,440	27,8
90,00	0,900	360	0,360	27,5
95,00	0,950	320	0,320	28,5
100,00	1,000	320	0,320	28,2
105,00	1,050	280	0,280	29,7
110,00	1,100	280	0,280	30,6

Tabela 17: Dados relativos ao varrimento, corrente contínua

4 .3.1 Relação de proporcionalidade entre V (potência luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detetor à fonte).

(d ± 0,05)cm	(d ± 0,0005)m	(V ± 1)mV	(V ± 0,001)V	(Fase ± 0,1)°C
21,51	0,2151	5640	5,640	24,6
23,14	0,2314	5000	5,000	24,5
24,89	0,2489	4360	4,360	24,7
26,78	0,2678	3840	3,840	24,8
28,80	0,2880	3400	3,400	25,0
30,99	0,3099	2920	2,920	25,5
33,33	0,3333	2560	2,560	25,8
35,85	0,3585	2240	2,240	25,7
38,57	0,3857	1960	1,960	26,4
41,49	0,4149	1680	1,680	26,5
44,63	0,4463	1520	1,520	27,2
48,00	0,4800	1280	1,280	26,9
51,64	0,5164	1120	1,120	26,8
55,55	0,5555	1000	1,000	27,5
59,75	0,5975	880	0,880	28,3
64,27	0,6427	760	0,760	28,5
69,14	0,6914	640	0,640	27,9
74,37	0,7437	569	0,569	28,5
80,00	0,8000	480	0,480	27,2
86,06	0,8606	440	0,440	57,3

Tabela 18: Dados relativos à relação de proporcionalidade entre V (potência luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detetor à fonte)

4 .3.2 Determinação do coeficiente de absorção, α

Nº Filtros	(Esp. Filtros ± 0,00001)m	(V ± 1)mV	(V ± 0,001)V
7	0,00423	2360	2,360
7+6	0,00848	880	0,880
7+6+5	0,01261	400	0,400
7+6+5+4	0,01710	140	0,140
7+6+5+4+3	0,02110	60	0,060

Tabela 19: Dados relativos à determinação do coeficiente de absorção, ensaio 1

Nº Filtros	(Esp. Filtros ± 0,00001)m	(V ± 1)mV	(V ± 0,001)V
3	0,00400	2280	2,280
3+4	0,00849	800	0,800
3+4+5	0,01262	320	0,320
3+4+5+6	0,01687	120	0,120
3+4+5+6+7	0,02110	60	0,060

Tabela 20: Dados relativos à determinação do coeficiente de absorção, ensaio 2

Nº Filtros	(Esp. Filtros $\pm 0,00001$) m	(V ± 1) mV	(V $\pm 0,001$) V
6	0,00425	2060	2,060
6+5	0,00838	960	0,960
6+5+4	0,01287	360	0,360
6+5+4+3	0,01687	120	0,120
6+5+4+3+7	0,02110	80	0,080

Tabela 21: Dados relativos à determinação do coeficiente de absorção, ensaio 3

Nº Filtros	(Esp. Filtros $\pm 0,00001$) m	(V ± 1) mV	(V $\pm 0,001$) V
1	0,00431	2440	2,440
1+2	0,00897	840	0,840
1+2+3	0,01298	360	0,360
1+2+3+6	0,01723	120	0,120
1+2+3+6+7	0,02146	60	0,060

Tabela 22: Dados relativos à determinação do coeficiente de absorção, ensaio 4

Nº Filtros	(Esp. Filtros $\pm 0,00001$) m	(V ± 1) mV	(V $\pm 0,001$) V
1	0,00431	2440	2,440
1+3	0,00831	940	0,940
1+3+5	0,01244	480	0,480
1+3+5+7	0,01667	200	0,200
1+3+5+7+2	0,02146	40	0,040

Tabela 23: Dados relativos à determinação do coeficiente de absorção, ensaio 5

4 .4 Dedução de expressões

4 .4.1 Relação de proporcionalidade direta entre V (intensidade luminosa de uma fonte) e d^{-2} (inverso do quadrado da distância do detector à fonte).

Sabendo que $V \propto d^{-2}$ temos:

$$V(d) = K'd^{-2} \quad (40)$$

Assim,

$$\Leftrightarrow \log(V) = -2\log(d) + \log(k') \quad (41)$$

Desta forma, a relação de proporcionalidade só é válida se o $\log(V)$ em função de $\log(d)$ tiver um declive com um valor perto de -2 .

4 .4.2 Cálculo do coeficiente de absorção

Tendo em conta a eq(6) da análise teórica sabemos que:

$$P(x) = P_o e^{-\alpha x} \quad (42)$$

Sendo P_o a potência incidente no meio, $P(x)$ a potência transmitida após a passagem pelo mesmo, e x a espessura do meio, que nesta atividade experimental são os filtros de acrílico.

Como $P \propto V$:

$$\ln(V) = -\alpha x \quad (43)$$

4 .4.3 Propagação de incertezas

Incerteza de $\log_{10}(V)$

$$u(\log_{10}(V)) = \frac{1}{\ln(10)} \frac{u(V)}{V} \quad (44)$$

Incerteza de $\log_{10}(d)$

$$u(\log_{10}(d)) = \frac{1}{\ln(10)} \frac{u(d)}{d} \quad (45)$$

Incerteza de d^{-2}

$$u(d^{-2}) = \sqrt{-(2d^{(-2-1)})u(d))^2} \quad (46)$$

incerteza de \bar{d}_{filtro}

$$u(\bar{d}_{filtro}) = \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot u(d)\right)^2 \cdot 3} \quad (47)$$

Incerteza de $\ln(V)$

$$u(\ln(V)) = \sqrt{\left(\frac{1}{V} \cdot u(V)\right)^2} \quad (48)$$

Incerteza de $\alpha_{médio}$

$$u(\alpha_{médio}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_{médio})^2}{N(N-1)}} \quad (49)$$

Incerteza percentual ($u(x)(\%)$)

$$u(x)(\%) = \frac{u(m)}{m} \times 100 \quad (50)$$

Incerteza do erro percentual ($Er(\%)$)

$$Er(\%) = \frac{|x_{exp} - x_{teórico}|}{x_{teórico}} \quad (51)$$

Incertezas correspondentes às grandezas medidas no laboratório:

- $u(d) = 0,0005m$
- $u(V) = 0,001V$
- $u(C)(fase) = 0,1^\circ$

5 Referências

1. R.D. Guenter, "Modern optics", John Wiley and Sons, 1990
2. PDF: T3A-Intensidade da luz vs distância e atenuação de filtros 2022/2023
3. Eugene Hecht, "Optics", Pearson, Fith edition
4. Docentes da disciplina de Laboratórios de Física II