

15

Estudo da relação entre a potência luminosa de
uma fonte pontual e a distância. Estudo da
absorção.

Beatriz Castro
Departamento de Física e Astronomia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Março de 2023

Resumo

~~Este trabalho tem como objetivos verificar experimentalmente a proporcionalidade inversa entre a potência luminosa de uma fonte e o quadrado da distância do detetor à fonte e determinar o coeficiente de absorção de filtros.~~

~~Através de vários ensaios, com a presença ou não de filtros de acrílico de acordo com o objetivo em estudo, conseguimos provar a lei da proporcionalidade inversa ao quadrado da distância, com um erro relativo de 0,2% e uma incerteza relativa de 0,2%. Obtivemos, através do uso de diferentes filtros de acrílico, considerando as suas espessuras, um valor para o coeficiente de absorção de acrílico como sendo $\alpha = (-178,87 \pm 7,04)/\text{m}$, com um erro relativo de 10,6% e uma incerteza relativa de 3,9%.~~

1 Introdução

As ondas eletromagnéticas são classificadas de acordo com a sua frequência, desde as ondas de rádio aos raios gamas. No espectro eletromagnético, a radiação visível é definida como tendo comprimentos de onda entre os 400 e 700 nanômetros. O olho humano distingue a cor com base no comprimento de onda da luz.

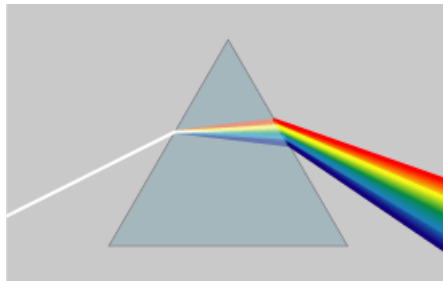


Figura 1: Dispersão da luz branca através de um prisma

As ondas eletromagnéticas não precisam de um meio físico para se propagarem, atingido a sua maior velocidade, a velocidade da luz, no vácuo, $v=299.793.458$ m/s. O comprimento de onda está relacionado com a frequência através da equação:

$$\lambda = v/f \quad (1)$$

Onde v representa a velocidade da luz, e f representa a frequência.

2 Esquemas e execução experimental

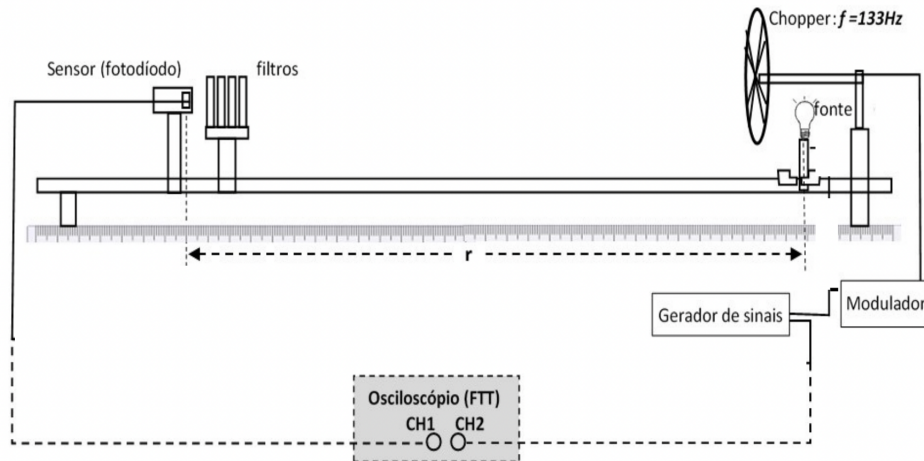


Figura 2: Montagem experimental do estudo da lei do inverso do quadrado com a distância e cálculo do coeficiente de absorção do material dos filtros.

~~2.1 Material~~

O material necessário para a realização desta experiência inclui um osciloscópio, um gerador de sinais com modulador embutido e um gerador para a fonte de luz. Precisamos de um fotodiodo, que converte a luz gerada pela fonte em corrente elétrica, e um Chopper. No estudo da absorção iremos utilizar filtros de acrílico.

Um pano negro é utilizado, ~~de forma a~~ ^{a cobrir} os trilhos de metal, nos quais o sensor se move, não reflitam a luz projetada pela fonte, e uma fita métrica, de forma a medir a distância entre o sensor e a fonte de luz.

→ para que eles

~~2.2 Estudo para considerações experimentais.~~

Começamos por montar o circuito da figura 2, escolhendo uma frequência entre os 100 e 200 Hz para o modulador. Determinamos a distância da gama experimental a ser usada através de um varrimento em distâncias. Podemos, então, observar o sinal obtido no sensor, no osciloscópio, tanto em corrente contínua, DC, como corrente alternada, AC.

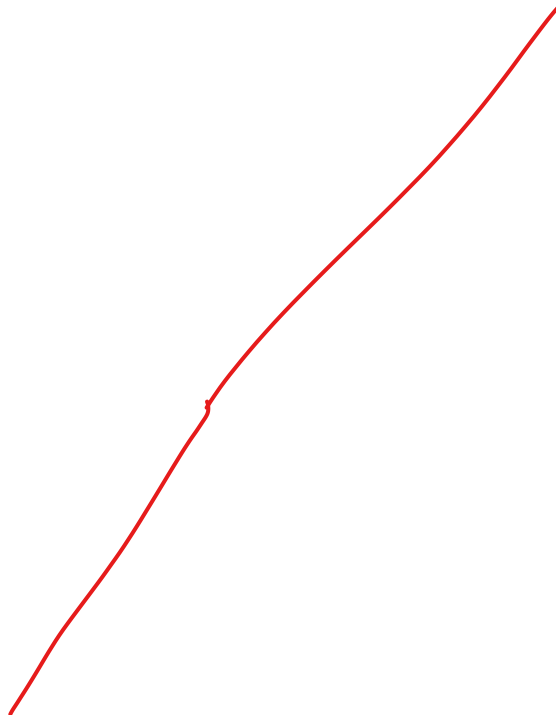
2.3 Estudo da relação entre a potência luminosa de uma fonte pontual e a distância entre elas

Consideremos a distância entre a fonte de luz e o sensor fotodíodo como sendo r . Variando r , registam-se os valores da tensão, V , e a diferença dos sinais medidos. Com os dados obtidos poderemos verificar a veracidade da lei do quadrado da distância, dada por

$$V(d) = k'/d^2 \quad (2)$$

2.4 Cálculo do coeficiente de absorção do filtro de acrílico

Os filtros de acrílico devem agora, tal como demonstrado na figura 2, ser colocados em frente do sensor. Com o valor de r fixo, registrar V em função do aumento da espessura, à medida que se vão adicionando filtros.



3 ~~Análise experimental~~

Registo de dados

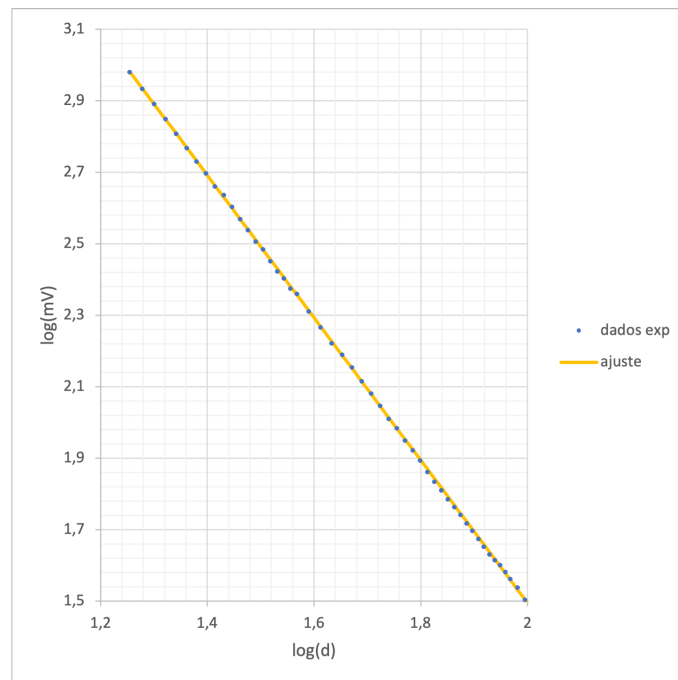
3.1 Verificar experimentalmente a proporcionalidade inversa entre a potência luminosa de uma fonte e o quadrado da distância do sensor à fonte.

A lei apresentada na equação 2 será alterada, para comprovarmos a existência de uma relação linear entre V e d . Neste caso, d corresponde à diferença entre o valor de r escolhido e 9.50cm , que corresponde à posição da fonte de luz.

$$V(d) = k'/d^2$$

$$\Leftrightarrow \log(V) = \log(K/d^2) \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow \log(V) = -2\log(d) + \log(K')$$



(*) (*)

m	-1,989	5,474	b
u(m)	0,003	0,004	u(b)
r ²	0,99991	0,00	u(y)

Figura 3: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste linear de $\log(mV)$ em função de $\log(d)$

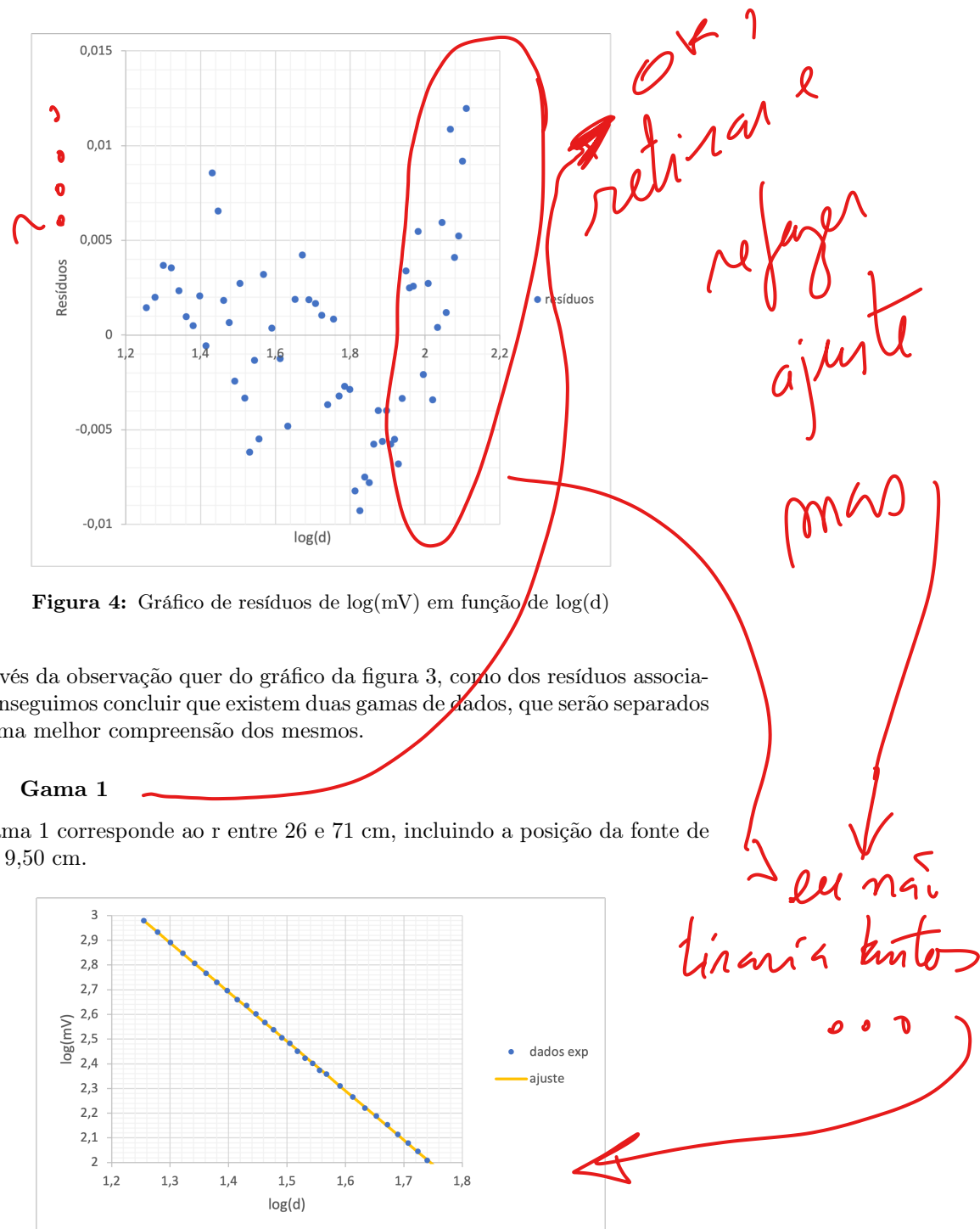
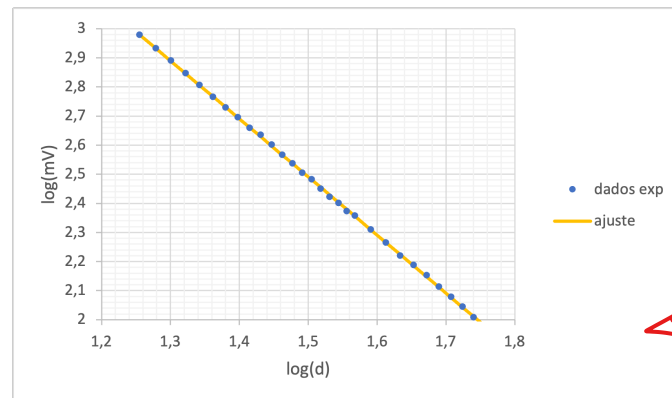


Figura 4: Gráfico de resíduos de $\log(mV)$ em função de $\log(d)$

Através da observação quer do gráfico da figura 3, como dos resíduos associados, conseguimos concluir que existem duas gamas de dados, que serão separados para uma melhor compreensão dos mesmos.

3 .1.1 Gama 1

A gama 1 corresponde ao r entre 26 e 71 cm, incluindo a posição da fonte de luz em 9,50 cm.



m	-1,997	5,49	b
u(m)	0,003	0,01	u(b)
r ²	0,99991	0,003	u(y)

Figura 5: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste da gama 1

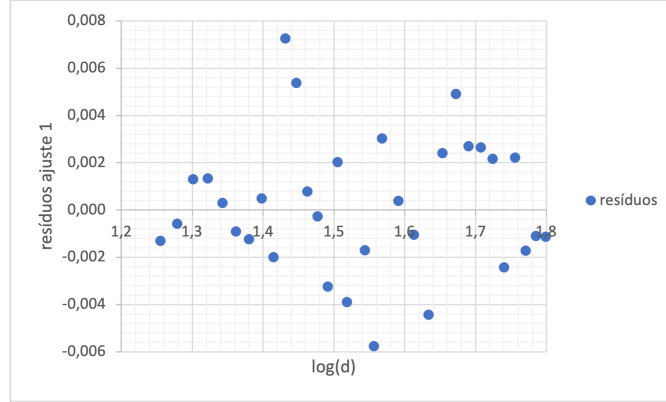


Figura 6: Gráfico de resíduos da gama 1

Através da equação 3, e do ajuste linear associado à gama 1, temos como valor de referência:

$$m = -2 \quad (4)$$

Comparando com o valor obtido experimentalmente:

$$m_{aj} = -1,997 \pm 0,003$$

Com uma incerteza relativa de 0,2% e um erro relativo de 0,2%.

Pela Figura 6 podemos verificar que a primeira gama não tem nenhuma tendência, e maior parte dos seus pontos dentro do intervalo entre 0,004 e -0,004.

3.1.2 Gama 2

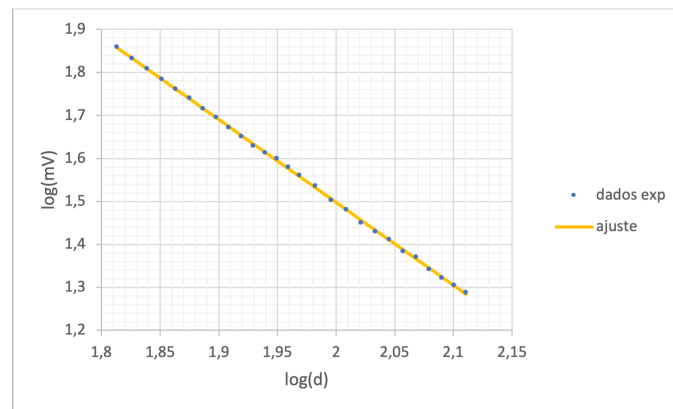
A gama 2 corresponde ao intervalo de r entre 71 e 137 cm, incluindo a posição da fonte de luz como 9,50cm.

O valor obtido experimentalmente para a gama 2 é:

$$m_{aj} = -1,930 \pm 0,007$$

O que resulta numa incerteza relativa de 0,4% e um erro relativo de 0,2%.

Pela Figura 8 podemos confirmar a aleatoriedade dos resíduos da segunda gama, em que os pontos se concentram, mais uma vez, na gama entre 0,004 e -0,004.



m	-1,930	5,36	b
u(m)	0,007	0,01	u(b)
r^2	0,9997	0,003	u(y)

Figura 7: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste da gama 2

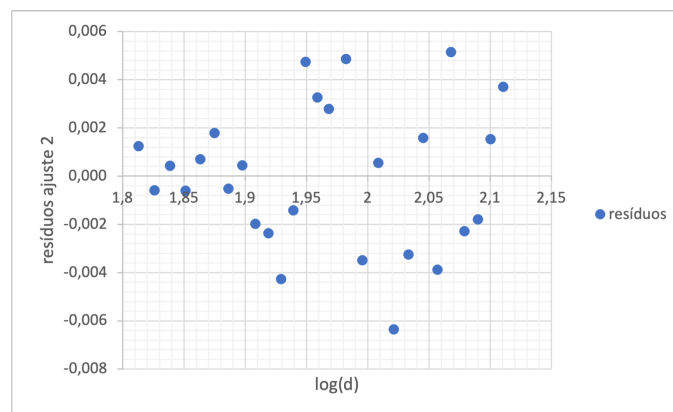


Figura 8: Gráfico de resíduos da gama 2

Esta gama, estando mais longe da fonte luminosa, encontra-se sujeita a mais erros aleatórios, causados, por exemplo, pelo sensor a detetar interferências provenientes de fonte de luz secundárias, como o teto ou a bancada, que, apesar dos esforços em cobrir a distância entre o sensor e a fonte de luz com um pano negro, acontecem independentemente.

mas, erros são constantes, não?

3.2 Determinar o coeficiente de absorção de filtros

Para esta parte da experiência foram usados diferentes filtros de acrílico, com espessuras diferentes. Foram realizados 3 ensaios, com diferentes combinações de filtros. A distância r foi constante ao longo desta parte da experiência, com um valor de 35cm. Quanto maior a distância entre o sensor e a fonte luminosa,

mais prováveis se tornam os erros, o que justifica a escolha de r . Os filtros devem ser colocados à frente do sensor, não perto da fonte da luz, de forma a que o filtro detete apenas a luz filtrada.

O valor utilizado para a espessura de cada filtro é a média de 5 medições.

Filtro	Espessura ($\pm 0,01mm$)
1	4,32
2	4,67
3	4,02
4	4,56
5	4,17

Tabela 1: Filtros e respetiva espessura

3.2.1 Ensaio 1

Para o primeiro ensaio, o primeiro valor de V foi registado sem qualquer filtro, o segundo foi registado com o filtro 1, enquanto que o terceiro com os filtros 1,2. Assim, temos 6 pontos, cada um deles com incremento de um filtro em relação ao anterior, de forma a que, no final, tenhamos os filtros 1,2,3,4 e 5.

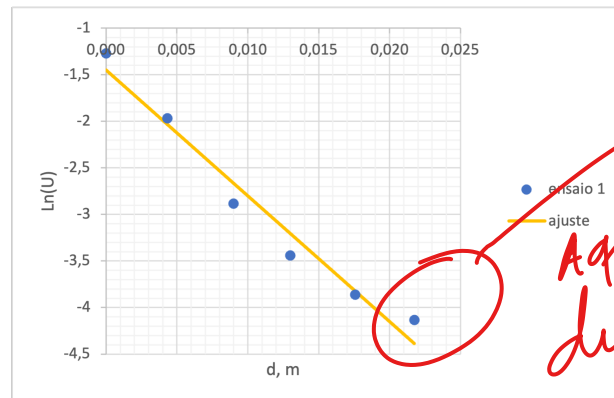
O coeficiente de absorção, α , é dado pelo declive, segundo a fórmula:

$$P = P_0 k e^{\alpha x}$$
$$\Leftrightarrow \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = -\alpha x \quad (5)$$

Em que $\frac{P}{P_0}$ é proporcional a V .

NOTA :

→ apresentar logo
• graf. s e/ajustes (tdn)
• todos os resíduos num só gráfico
• tabela - resumir
→ reverter p/apêndice o resto



m	-135,1	-1,4	b
u(m)	12,4	0,2	u(b)
r ²	0,97	0,2	u(y)

Figura 9: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste do ensaio 1

O ajuste linear associado ao primeiro ensaio, diz-nos que $\alpha = (-135,1 \pm 12,4)/m$.

O que resulta numa incerteza relativa de 9,2% e um erro relativo de 32,45%. Facilmente percebemos que estes valores são demasiado elevados.

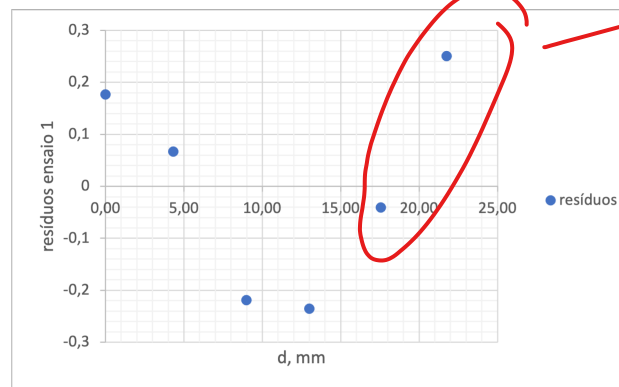
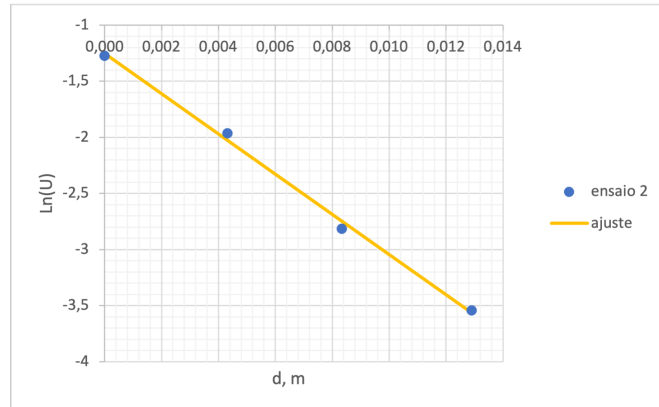


Figura 10: Gráfico de resíduos do ensaio 1

Os resíduos encontram-se dentro do esperado, sendo que nenhum ponto, em módulo, é maior que $2u(y)$. Apresentam uma certa tendência parabólica, mas considerando o número reduzido de pontos, é difícil concluir se se trata de um erro sistemático.

3.2.2 Ensaio 2

O segundo ensaio segue a mesma estrutura do primeiro, começando com um ponto sem nenhum filtro. O segundo ponto tem apenas o filtro 1, o terceiro os filtros 1,3 e o último ponto os filtros 1,3 e 4.



m	-178,87	-1,26	b
u(m)	7,04	0,06	u(b)
r^2	0,997	0,07	u(y)

Figura 11: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste do ensaio 2

O ajuste linear do ensaio 2 resulta em, $\alpha = (-178,87 \pm 7,04)/m$.

O que resulta numa incerteza relativa de 3,9% e um erro relativo de 10,6%. A incerteza e o erro são consideravelmente mais baixos do que aqueles calculados no primeiro ensaio, mas continuam a não ser ideais.

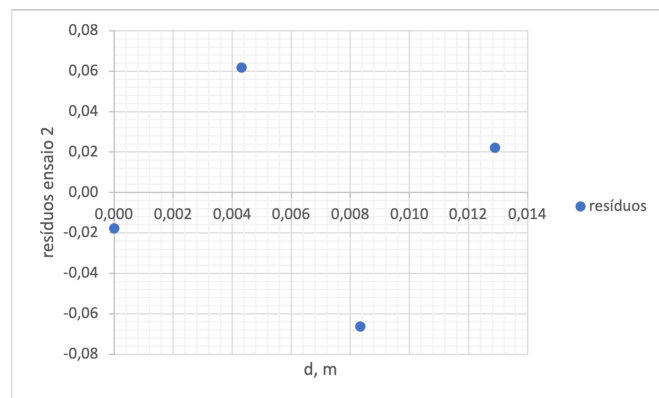
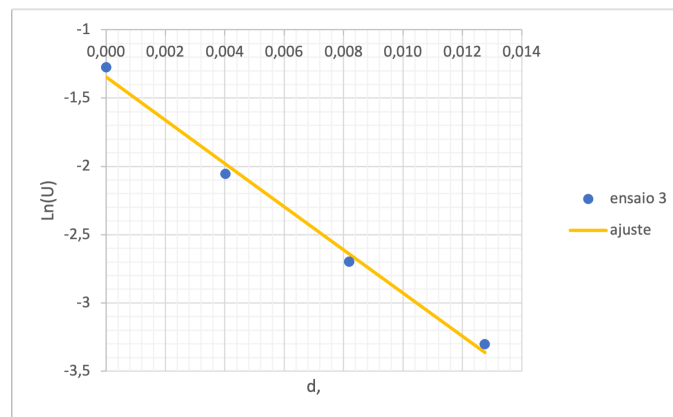


Figura 12: Gráfico de resíduos do ensaio 2

Os resíduos encontram-se dentro do esperado, estando todos dentro do limite de $u(y)$. Mais uma vez, considerando o reduzido número de pontos, é difícil fazer uma apreciação sobre a sua tendência.

3.2.3 Ensaio 3

Para o terceiro ensaio, começamos sem nenhum filtro, adicionamos o filtro 3, seguido do filtro 5, acabando no último ponto com os filtros 3,4 e 5.



m	-158,31	-1,34	b
u(m)	9,96	0,08	u(b)
r^2	0,992	0,09	u(y)

Figura 13: Parâmetros de ajuste e gráfico de ajuste do ensaio 3

Para o ensaio 3 temos $\alpha = (-158,31 \pm 9,96)/m$.

Com uma incerteza relativa de 6,3% e um erro relativo de 20,8%. São valores mais baixos do que os obtidos no ensaio 1, mas continuam a não ser desejáveis, sendo maiores que os do ensaio 2.

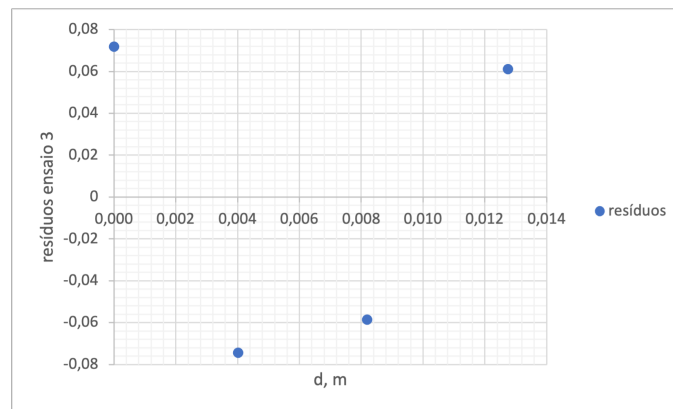


Figura 14: Gráfico de resíduos do ensaio 3

Os resíduos encontram-se dentro do limite de $u(y)$. Considerando o reduzido número de pontos, é difícil fazer uma apreciação sobre a sua tendência.

Tendo em consideração os valores da incerteza relativa e do erro relativo em cada ensaio, além do valor de r^2 correspondente, o ensaio 2 é considerado o mais fiável, mais próximo ao valor de referência.

Identificação do resultado final?

4 Discussão

O primeiro objetivo era verificar experimentalmente a proporcionalidade inversa entre a potência de uma fonte luminosa e o quadrado da distância do detetor à fonte.

De acordo com os dados obtidos, separamo-los em duas gamas. A primeira gama corresponde aos valores de r mais próximos da posição da fonte de luz, enquanto que a segunda gama corresponde aos valores mais afastados.

Era expectável que os valores obtidos na gama 2 fossem qualitativamente piores comparativamente aos obtidos na gama 1, uma vez que, estando mais longe da fonte, é expectável um maior erro associado a interferências de reflexão da luz nas superfícies à volta do sensor. No entanto, o erro relativo percentual da gama 2 é equivalente ao da gama 1, o que nos leva à conclusão de que o pano negro utilizado para tapar os trilhos de metal, nos quais o sensor se move, desempenharam um papel essencial na realização desta experiência. No entanto, a incerteza relativa percentual associada à gama 2 é ligeiramente superior ao da gama 1, mas essa diferença é basicamente desprezável.

No geral, os resultados obtidos na primeira gama são ligeiramente melhores do que os obtidos na segunda gama, o que não é causa de surpresa. Todos os valores determinados são exatos e precisos.

Estudo da relação entre a potência luminosa de uma fonte pontual e a distância. Estudo da absorção.

*2 rel.
como obtive?*

justificação do comportamento: sugestões?

A segunda parte da experiência tinha como objetivo determinar o coeficiente de absorção dos filtros de acrílico.

Todos os valores determinados para o coeficiente de absorção do acrílico, nos 3 ensaios, apresentam valores de incerteza relativa e de erro relativo elevados, o que está longe daquilo que seria esperado. Isto pode dever-se a vários problemas, incluindo uma pobre execução da matriz experimental. No entanto, considerando que não obtive os dados diretamente, e não me foi possível encontrar a origem do erro. Sem uma oportunidade de repetir a experiência de modo a adquirir novos dados, a análise foi feita independentemente.

O primeiro ensaio foi realizado com todos os filtros, de 1 a 5. Apesar de apresentar mais pontos que os outros ensaios, apresenta também a maior incerteza relativa e o maior erro relativo entre todos os ensaios, sendo, objetivamente, o pior entre eles.

O segundo ensaio utiliza os filtros 1, 3 e 4, e apresenta a menor incerteza e o menor erro relativo entre todos os ensaios. O terceiro ensaio, utilizando os filtros 3, 4 e 5, encontra-se no meio dos outros ensaios numa escala de erro relativo e incerteza relativa, apresentando valores mais pequenos que os determinados no ensaio 1, mas maiores do que os obtidos no ensaio 2.

Objetivamente falando, e apesar de não serem especialmente precisos ou exatos, os valores determinados pelo ensaio 2 são, qualitativamente, os melhores, quando comparados com os ensaios 1 e 3.

5 Resultados finais

$$m_{a,j} = -1,997 \pm 0,003$$

$$\text{Incerteza relativa}(\%) = 0,2$$

$$\text{Erro relativo}(\%) = 0,2$$

$$\alpha = (-178,87 \pm 7,04)/\text{m. Incerteza relativa}(\%) = 3,9 / \text{Erro relativo}(\%) = 10,6\%$$

6 Referências

[1] Protocolo de Laboratórios de Física II: "Intensidade da luz vs distância e atenuação de filtros"