



TÉCNICO LISBOA

# LFEA-I - Logbook de Análise da Experiência Geiger-Müller

102474 Salvador Torpes

102633 Sofia Nunes

102650 Estêvão Gomes

102716 Pedro Curvo

Grupo 1D 2022/2023

2 de junho de 2023

## 1 Estudo do detetor

### 1.1 Escolha de tensão e posição da fonte

Com o objetivo de escolher a tensão que iríamos utilizar no decorrer desta atividade, identificámos o plateau do detetor Geiger-Müller, verificando que este se situava entre 800V e 1200V. Seleccionámos a tensão de 950V, como o valor a utilizar no resto da atividade experimental, valor este que corresponde a cerca de  $\frac{3}{8}$  do plateau. O ajuste entre contagens e tensão no detetor que fizemos encontra-se no seguinte gráfico:

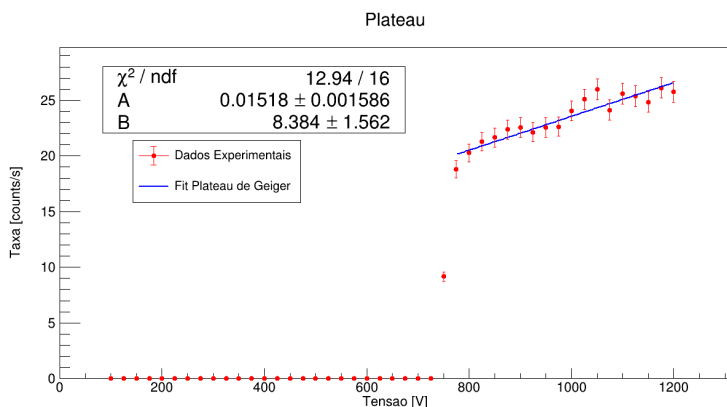


Figura 1: Ajuste linear ao plateau

Em seguida, realizamos uma aquisição de dados durante 10 segundos com a fonte de cério virada para cima e repetimos para a fonte virada para baixo, tendo obtido um total de 253 e 3 contagens, respetivamente.

Observa-se que o número de contagens da fonte virada para baixo é inferior. Com base nos resultados obtidos, concluímos que se fizermos medições com a fonte virada para baixo praticamente não vamos detetar os decaimentos radioativos, justificando a utilização da fonte virada para cima durante toda a atividade experimental.

### 1.2 Correção à taxa de contagem do detetor

Devido à existência de tempo morto do detetor, o tempo que o de-

tetor demora entre deteções, torna-se necessário fazer uma correção às contagens medidas ao longo da atividade. Fizemos a medição do tempo morto do detetor utilizando combinações de três fontes em meia lua, duas com Tálcio-204 (0 e 1) e uma sem isótopo radioativo (2). Realizamos uma aquisição de dados durante 120 segundos para cada uma das diferentes combinações de fontes, obtendo os seguintes dados:

	1ª Medição	2ª Medição
Fonte 1 (0-1)	4680 ± 68	4491 ± 67
Fonte 2 (0-2)	4561 ± 68	4618 ± 67
Fontes 1 e 2 (1-2)	8278 ± 90	8230 ± 90

Tabela 1: Nº de contagens para as combinações de meias fontes

	Contagens Totais	Taxa de Contagens
Fonte 1 (0-1)	9171 ± 135	152.85 ± 1.13
Fonte 2 (0-2)	9179 ± 135	152.98 ± 1.13
Fontes 1 e 2 (1-2)	16508 ± 181	257.13 ± 1.51

Tabela 2: Nº total de contagens e taxa de contagens das combinações de meias fontes

Com estes dados, podemos calcular o tempo morto a partir das taxas de contagens das fontes em meia-lua, através da seguinte expressão:

$$T_R = \frac{R_1 + R_2 - R_{12}}{2R_1R_2} \quad (1)$$

Onde  $R_1$  e  $R_2$  são as taxas de contagens para cada meia fonte (combinadas com a fonte sem nada) e  $R_{12}$  é a taxa de contagens para a combinação das duas meias fontes.

Com as medições feitas obtivemos um tempo morto experimental de  $T_R = (657 \pm 42)\mu s$ . Isto significa que o detetor demora  $657 \mu s$  a processar um evento. Depois de detetar um evento, não contabiliza qualquer evento que ocorra nos seguintes  $657 \mu s$ , voltando a contabilizar no fim desse intervalo de tempo. Definindo  $R_v$  como a taxa de contagens real, temos que esta é dada por:

$$R_v = \frac{R}{1 - R \times T_R} \quad (2)$$

Sendo  $R$  a taxa de contagens total (1-2), obtivemos uma taxa real de  $R_v = 309.40$  counts/s. Pode ver-se que  $R_1 + R_2 = 305.83$  counts/s, pelo que a correção  $R_v$  é boa dado que se aproxima muito mais de  $R_1 + R_2$  do que o valor obtido experimentalmente com as duas meias fontes ( $R = 257.13$ ).

### 1.3 Estudo da radiação ambiente

Para realizar o estudo da radiação ambiente fizemos duas medições sem fontes, durante um tempo total de 60 segundos, tendo obtido os seguintes resultados:

	1ª Medição	2ª Medição
Contagens	$19 \pm 5$	$19 \pm 5$

Tabela 3: N<sup>o</sup> de contagens da radiação ambiente

Obtivemos assim, contagens totais de  $38 \pm 9$  e uma taxa de contagens de  $0.63 \pm 0.15$  counts/s. A taxa real é igual, que faz sentido pois os acontecimentos se encontram bem dispersos ao longo do tempo. Comparando a taxa de contagens da radiação ambiente com a taxa de contagens das fontes, verificámos que descontar a radiação ambiente seria pouco relevante dado que esta é significativamente inferior. Mesmo assim, a radiação ambiente foi considerada ao longo de toda a atividade experimental.

## 2 Estudo da eficiência do detetor

Define-se a eficiência total do detetor como o quociente entre o número de partículas emitidas pela fonte e o número de eventos registados pelo detetor;

$$\epsilon_{total} = \frac{N_{detetado}}{N_{emitido}} \quad (3)$$

Este valor é dado também pelo produto entre a eficiência geométrica e a eficiência intrínseca:

$$\epsilon_{total} = \epsilon_{geo} \times \epsilon_{int} \quad (4)$$

Na prática, a eficiência total é calculada através da expressão:

$$\epsilon_{total} = \frac{R_v}{A} \quad (5)$$

Onde  $A$  é a atividade da fonte, isto é, o número médio de desintegrações por segundo, o qual é definido como:

$$A(t) = A_0 \exp\left(-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} t\right) \quad (6)$$

Tomamos como referência um valor da atividade da amostra numa data passada  $A_0$  e usamos o tempo de semi-vida da amostra,  $T_{1/2}$ .

A eficiência geométrica relaciona-se com o posicionamento e propriedades geométricas da fonte e do detetor e é dada por,

$$\epsilon_{geo} = \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1 - \cos(\alpha)}{2} \quad (7)$$

Em que  $\Omega$  é o ângulo sólido dado por:

$$\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\alpha \sin \theta \, d\theta d\phi = 2\pi(1 - \cos \alpha) \quad (8)$$

### 2.1 Eficiência do detetor a radiações $\beta$

Para o estudo da eficiência do detetor a radiações  $\beta$ , utilizámos uma fonte de Tálzio-204, dado que este é um emissor  $\beta$ . Para haver uma eficiência geométrica mais precisa para a radiação  $\beta$ , as medições foram efetuadas com uma chapa metálica de com uma abertura de  $\phi = 7.25 \pm 0.05$  mm e também com uma com  $\phi = 10.00 \pm 0.05$  mm, para comparação. Nos cálculos das incertezas considerou-se uma incerteza de 20% na atividade da fonte, tal como indicado pelo fornecedor e uma incerteza de 1 mês (8% do ano) para o tempo.

$A_0$ ( $\mu$ Ci)	t semi-vida (anos)	t (anos)	A(t) ( $\mu$ Ci)
$0.5 \pm 0.1$	3.78	$15.17 \pm 0.08$	$0.03 \pm 0.01$

Tabela 4: Atividade da fonte

As contagens totais, com duração de 60 segundos, foram as seguintes:

	Contagens Totais	$R_v$
Chapa 7.5 mm	$205 \pm 14$	$3.42 \pm 0.24$
Chapa 10 mm	$474 \pm 22$	$7.94 \pm 0.38$

Tabela 5: Contagens fonte de TI-204

Para o cálculo da eficiência geométrica, calculámos o valor de  $\cos(\alpha)$  com recurso aos valores do raio da abertura das chapas,  $\phi$ , e da distância do detetor à fonte. A distância entre a chapa e a fonte,  $d$ , corresponde à distância entre as prateleiras 0 e 3, que se encontra no guia de apoio [2]. Considerámos  $d = 3.2 \pm 0.4$  cm.

$$\tan(\alpha) = \frac{\phi}{2d} \Rightarrow \cos(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\phi}{2d}\right)^2}} \quad (9)$$

Obtivemos assim os seguintes valores para os ângulos e para a eficiência geométrica, a qual é obtida através da equação 7:

	$\alpha[rad]$	$\Omega[sr]$	$\epsilon_{geo}[\%]$
$\phi = 7.5$ mm	$0.118 \pm 0.012$	$0.043 \pm 0.009$	$0.69 \pm 0.14$
$\phi = 10$ mm	$0.156 \pm 0.015$	$0.076 \pm 0.015$	$1.22 \pm 0.24$

Tabela 6: Ângulo sólido e eficiência geométrica

Deste modo, podemos obter a eficiência total pela equação 5, com a atividade da fonte em Becquerel (Bq) e, consequentemente, obter a eficiência intrínseca:

	$\epsilon_{total} [\%]$	$\epsilon_{int} [\%]$
Chapa 7.5 mm	$0.31 \pm 0.13$	$44.6 \pm 26.9$
Chapa 10 mm	$0.72 \pm 0.28$	$58.8 \pm 33.9$

Tabela 7: Eficiência total e intrínseca

Teoricamente, estas eficiências deveriam ser iguais, porém podem ter ocorrido erros associados ao cálculo das eficiências geométrica e total. As partículas podem ter percorrido pequenas distâncias dentro do detetor antes de ser detetadas e a incerteza da atividade da fonte é de 33%, o que pode levar a grandes oscilações de valores. Os valores da incerteza das eficiências são bastante elevados possivelmente também devido à elevada incerteza de  $A$ , o que implica uma grande variação na atividade da fonte.

2.2 Eficiência do detetor a radiações  $\gamma$

Para o estudo da eficiência do detetor a radiações  $\gamma$ , utilizámos uma fonte de Césio-137. Como esta fonte também tem decaimentos em  $\beta$ , utilizámos uma chapa de alumínio para bloquear esta radiação.

Para confirmar que a chapa de alumínio impedia a passagem de radiação beta utilizámos a fonte de tálio. Caso os bloqueie, também bloqueará os do césio dado que estes são menos energéticos. Com esta fonte obtivemos contagens de 16 e 17 em medições de 30 segundos cada. Estas contagens assemelham-se às obtidas na radiação ambiente, pelo que concluímos que a chapa de alumínio impede a passagem de radiação beta.

Neste caso, não podendo definir bem o ângulo sólido através das chapas metálicas, usámos o raio do detetor,  $R_d = 1.6\text{ cm}$ , e a distância do detetor à fonte,  $h = 7.6 \pm 0.4\text{ cm}$ , - pois considerámos que, em média, as partículas chegam ao detetor a meio da sua altura - que também se encontram no guia de apoio [2].

Utilizámos a incerteza de 20% indicada pelo fornecedor e uma incerteza temporal de 8%.

$A_0\ (\mu\text{Ci})$	t semi-vida (anos)	t (anos)	$A(t)\ (\mu\text{Ci})$
$5.0 \pm 0.1$	30.07	$29.25 \pm 0.08$	$2.55 \pm 0.39$

Tabela 8: Atividade da fonte

Obtiveram-se os valores das contagens totais, em 60 segundos, com a chapa de alumínio:

	Contagens Totais	$R_v$
Chapa 7.5 mm	$844 \pm 29$	$14.20 \pm 0.50$

Tabela 9: Contagens fonte de Cs-137

De onde se obtiveram os valores apresentados de seguida:

$\Omega\ [\text{sr}]$	$\epsilon_{geo}\ [\%]$	$\epsilon_{total}\ [\%]$	$\epsilon_{int}\ [\%]$
$0.034 \pm 0.003$	$0.54 \pm 0.05$	$0.015 \pm 0.003$	$2.8 \pm 0.8$

Tabela 10: : Ângulo sólido e eficiências para radiação  $\gamma$

O reduzido valor obtido para a eficiência intrínseca do detetor em radiação  $\gamma$  faz, de facto, sentido. Dado que esta radiação só pode ser detetada numa secção do detetor anterior ao gás, a janela, é possível que ocorra efeito Compton, impedindo a deteção de parte da radiação.

3 Estudo da intensidade da radiação com a distância

Para estudar a relação da intensidade da radiação com a distância, colocámos a fonte de Cs-137 no suporte e fizemos duas aquisições de 30 segundos em cada uma das cinco prateleiras do Geiger-Müller. Realizámos este procedimento duas vezes: uma com a placa de alumínio a bloquear a radiação beta e outra sem a placa. As medições de distância e total de contagens (já corrigidas) foram as seguintes:

Prateleira	Distância [ $\pm 0.0005\text{ m}$ ]	c/alumínio	s/alumínio
0	0.0064	-	-
1	0.0127	$2489 \pm 50$	$83388 \pm 289$
2	0.0190	$1160 \pm 34$	$36599 \pm 191$
3	0.0254	$852 \pm 29$	$13334 \pm 115$
4	0.0318	$612 \pm 25$	$4711 \pm 69$
5	0.0381	$509 \pm 23$	$3747 \pm 61$

Tabela 11: Medição da distância das prateleiras e das contagens totais

Assumindo que a distância ao detetor é superior ao raio deste e que a fonte é isotrópica, espera-se que o número de contagens varie com  $\frac{1}{r^2}$ , onde r é a distância ao detetor. Obtivemos então um gráfico de  $N_{\text{corrigido}}$  em função da distância ao detetor, com uma curva de ajuste do tipo:

$$N = \frac{a}{r^2} + b$$

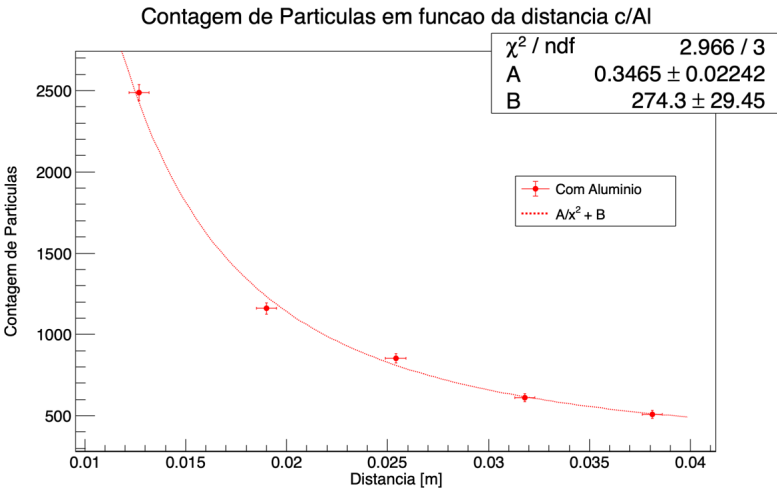


Figura 2: Com alumínio

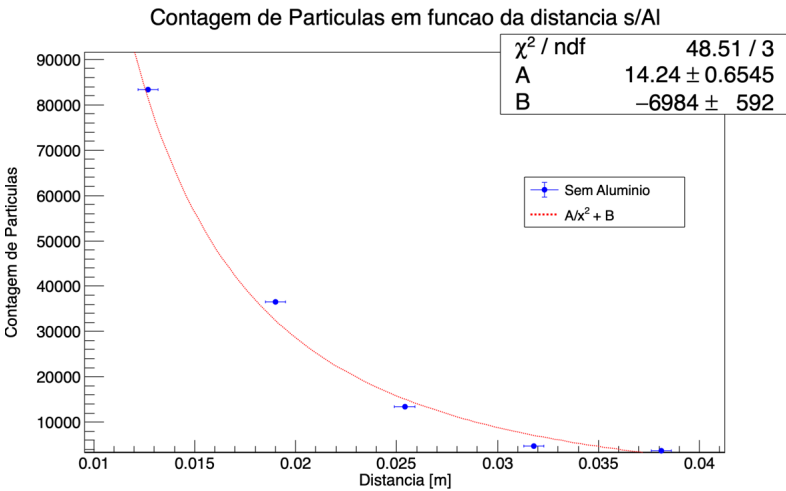


Figura 3: Sem alumínio

Obtivemos as equações:

$$N = \frac{0.35}{r^2} + 274.3$$

$$N = \frac{14.24}{r^2} - 6984$$

Para os casos com e sem a placa de alumínio, respetivamente. Para o primeiro gráfico 2, o valor de  $\chi^2$  aproxima-se bastante de 1, pelo que o ajuste é satisfatório e no segundo 3, embora esteja mais afastado, continua a ser um bom valor.

Com vista à obtenção de resultados mais precisos, realizámos novos gráfico de  $N_{\text{corrigido}}$  em função da distância, mas agora tendo em conta as distâncias que as partículas podem percorrer dentro do detetor, isto é, passando  $r$  para  $r + c$ . Obtivemos então os seguintes gráficos, com a curva de ajuste:

$$N = \frac{a}{(r + c)^2} + b$$

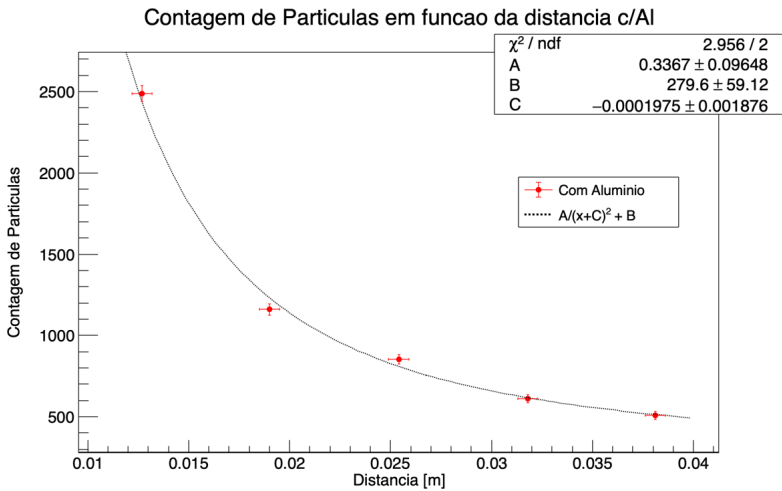


Figura 4: Com alumínio

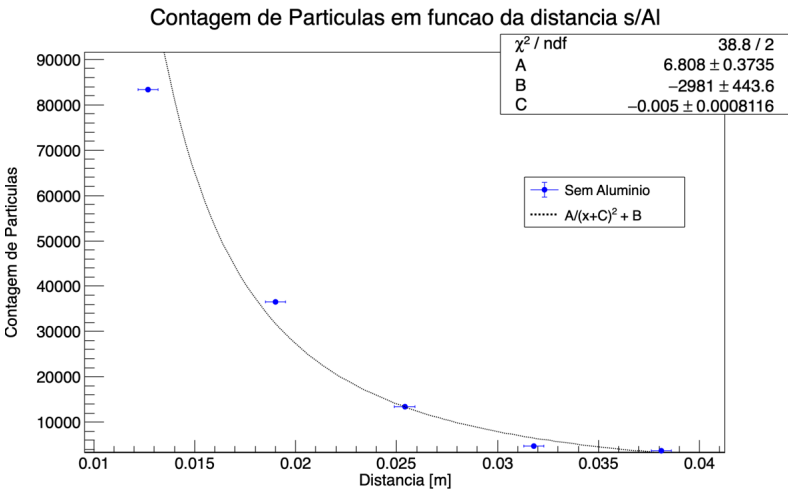


Figura 5: Sem alumínio

Obtivemos as retas de ajuste:

$$N = \frac{0.3367}{(r - 0.0002)^2} + 279.6$$

$$N = \frac{6.808}{(r - 0.005)^2} - 2981$$

Respetivamente para com e sem alumínio. Verificámos uma ligeira diminuição nos valores de  $\chi^2$  o que indica uma pequena melhoria do ajuste, dada a maior proximidade a 1. Tendo em conta os dados obtidos, confirma-se a variação do número de contagens com  $\frac{1}{r^2}$ , ou seja, que com o aumento da distância ao detetor o número

de contagens registadas decresce. Conclui-se assim que a intensidade da radiação diminui com a distância. Verificamos também que as partículas percorrem uma distância média de  $19.75 \times 10^{-2}$  m e 0.005 m no interior do detetor, antes de serem detetadas.

## 4 Estudo da atenuação de partículas na matéria

Com o objetivo de estudar a atenuação de partículas  $\beta$  na matéria, realizamos aquisições de dados para a fonte de tálio sobreposta com diferentes materiais, dado que o tálio emite maioritariamente radiação  $\beta$  e por isso não é necessário colocar uma placa de alumínio. Para o estudo de atenuação de partículas  $\gamma$ , utilizamos uma fonte de célio, emissor de radiação  $\gamma$  e  $\beta$ , com uma placa de alumínio em cima, dado que esta bloqueia a radiação  $\beta$ .

Recorrendo a uma craveira, medimos a espessura de cada um dos nove materiais materiais utilizados.

Material	Densidade [ $g/cm^3$ ]	Espessura ( $\pm 0.025$ mm)
Ar	0.0012	-
Cartão	0.50	1.000
Acrílico	1.18	1.750
Tungsténio	19.3	5.000
Cobre	8.94	1.300
Aço	7.85	2.000
Vidro	2.50	1.750
Chumbo	11.34	1.800
Alumínio	2.70	1.650

Tabela 12: Materiais utilizados e propriedades

Em primeiro lugar, para estudar a atenuação da radiação  $\beta$  na matéria, colocamos a fonte de tálio-204 e colocamos o material em cima da fonte. Realizamos aquisições para um total de 60 segundos para cada um dos novos materiais, agora com o intuito do estudo da atenuação da radiação  $\beta$ :

Material	Contagens Totais	$R_v$
Ar	$1393 \pm 38$	$23.58 \pm 0.65$
Cartão	$402 \pm 21$	$6.73 \pm 0.35$
Acrílico	$54 \pm 8$	$0.90 \pm 0.13$
Tungsténio	$53 \pm 8$	$0.88 \pm 0.12$
Cobre	$49 \pm 7$	$0.82 \pm 0.12$
Aço	$38 \pm 7$	$0.63 \pm 0.12$
Vidro	$58 \pm 8$	$0.97 \pm 0.13$
Chumbo	$45 \pm 7$	$0.75 \pm 0.12$
Alumínio	$57 \pm 8$	$0.95 \pm 0.13$

Tabela 13: Contagens e taxa de contagens para Tálio sem placa de alumínio - Atenuação da radiação  $\beta$  emitida pelo TI-204 provocada por diferentes materiais

Passando para o estudo da atenuação da radiação  $\gamma$  na matéria, vamos considerar a fonte de Cs-137 uma vez que este isótopo é maioritariamente um emissor  $\gamma$ . Esta fonte também emite radiação

$\beta$  pelo que é necessário bloqueá-la. A emissão  $\beta$  do cézio é menos energética que a do tálio: como podemos ver na tabela 13, o alumínio bloqueia a radiação  $\beta$  do tálio, pelo que podemos concluir que também vai bloquear a do cézio, chegando apenas ao detetor as partículas  $\gamma$  desejadas. Neste sentido, trocamos o tálio-204 pela fonte de cézio-137 (mantendo-a na prateleira 3) e sobrepusemos-lhe uma placa de alumínio, seguida do material cuja atenuação na radiação pretendíamos estudar. Foram realizadas aquisições de um total de 60 segundos para cada um dos nove materiais utilizados, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Material	Contagens Totais	$R_v$
Ar	1136 $\pm$ 34	19.17 $\pm$ 0.58
Cartão	1083 $\pm$ 33	18.27 $\pm$ 0.56
Acrílico	1040 $\pm$ 33	17.53 $\pm$ 0.56
Tungsténio	573 $\pm$ 24	9.61 $\pm$ 0.41
Cobre	933 $\pm$ 31	15.71 $\pm$ 0.53
Aço	930 $\pm$ 31	15.66 $\pm$ 0.53
Vidro	964 $\pm$ 32	16.24 $\pm$ 0.55
Chumbo	1069 $\pm$ 33	18.03 $\pm$ 0.56
Alumínio	1053 $\pm$ 33	17.76 $\pm$ 0.56

Tabela 14: Contagens e taxa de contagens para Césio com placa de alumínio - Atenuação da radiação  $\gamma$  emitida pelo Cs-137 provocada por diferentes materiais

Efetivamente, ao comparar o número de contagens e a taxa de contagens da tabela 13 entre o ar e os restantes materiais con-

cluímos que as partículas  $\beta$  atenuam bastante ou quase totalmente na matéria. Esta atenuação é bastante evidente para todos os materiais, à exceção do cartão onde se nota uma atenuação ligeiramente menor, o que pode ser justificado pelo facto de o cartão ter tanto uma espessura como uma densidade reduzidas. No acrílico também observamos valores mais elevados que nos restantes materiais indicando uma atenuação menos que se justifica pelas mesmas razões. No aço, vidro, chumbo e alumínio a atenuação é aproximadamente total uma vez que não se detetam partículas.

Passando para o estudo da atenuação da radiação  $\gamma$  na matéria, ao analisar a tabela 14, podemos concluir a matéria praticamente não atenua a radiação  $\gamma$ . Mesmo os materiais mais densos e com maior espessura apresentam um número de contagens e uma taxa de contagens aproximadamente igual à do ar (ausência de material). Apesar deste resultado, seria expectável a verificação de alguma atenuação desta radiação por parte do chumbo. Tal pode não ter-se verificado devido à pequena espessura deste material.

## Referências

[1] Pedro Assis. “Guia de laboratório - O detector Geiger-Müller e estatísticas de contagens”. Em: (2022). URL: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395926/G8-GM\\_v09.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395926/G8-GM_v09.pdf).

[2] Pedro Assis. “Manual de apoio - O detector Geiger-Müller e estatísticas de contagens”. Em: (2022). URL: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395958/GM\\_apoio.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395958/GM_apoio.pdf).

[3] *Tabela de Nucleótidos*. URL: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/>. (Acedido: 03-06-2023).