

Espectroscopia Gama

Duarte Miguel de Aguiar Pinto e Moraes Marques | 96523

Joana Sofia Reis Abreu | 96235

Juna Alexandra Ponte dos Santos | 96549

Miguel Francisco Paixão Mendes | 95755

Grupo 6B

Objetivos

Neste trabalho experimental, procura-se obter uma reta de calibração para o detetor utilizado, recorrendo às medidas dos picos de energia observados, no analisador multicanal, para os isótopos cério-137 e cobalto-60.

Por outro lado, recorrendo aos picos do respetivo espectro, procura-se identificar uma fonte desconhecida, através da utilização da tabela Lund-Berkeley.

Utilizando absorvedores de cobre de diferentes espessuras mássicas, procurou-se ainda estudar a atenuação da radiação gama.

Por fim, recorrendo às medidas dos picos efetuadas anteriormente, pretende-se estudar a resolução em energia do detetor.

Montagem

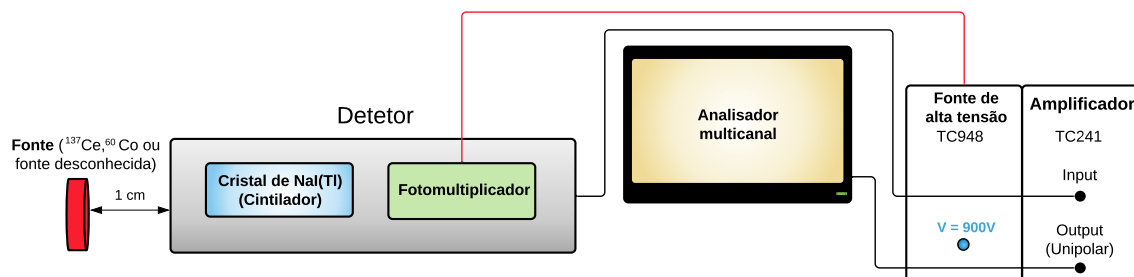


Figura 1: Esquema da montagem experimental usada para a calibração e estudo da fonte desconhecida.

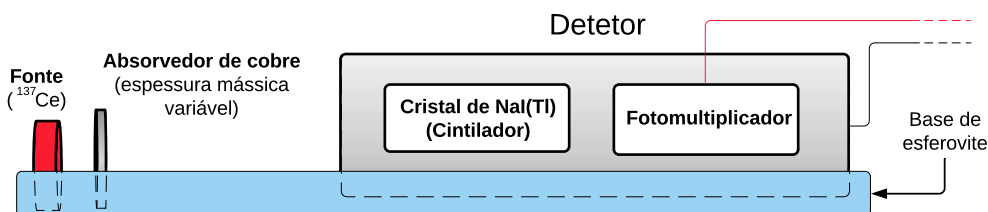


Figura 2: Pormenor da montagem experimental usada para o estudo da atenuação.

Formulário

Calibração

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (\text{Difusão de Compton}) \quad (1)$$

E_γ - Energia da radiação gama incidente (em keV ou MeV)

E'_γ - Energia da radiação gama difundida (nas mesmas unidades)

θ - Ângulo de dispersão da radiação gama

Estudo da atenuação

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (\text{Lei de Lambert}) \quad (2)$$

I - Intensidade da radiação depois do absorvedor

I_0 - Intensidade da radiação antes do absorvedor

μ - coeficiente de absorção linear (em cm^2g)

Resolução em energia

$$R = \frac{\Delta E}{E} \quad (3)$$

R - Resolução energética, usualmente expressa em percentagem

ΔE - Largura a meia altura em unidades de energia

E - Energia do fotopico

Procedimento, resultados e análise de dados

Calibração

Tendo montado o equipamento de acordo com a Figura 1, procedeu-se à obtenção do espectro da fonte ^{137}Cs , seguida da fonte ^{60}Co . Ambas apresentam a forma de um cilindro de baixa altura.

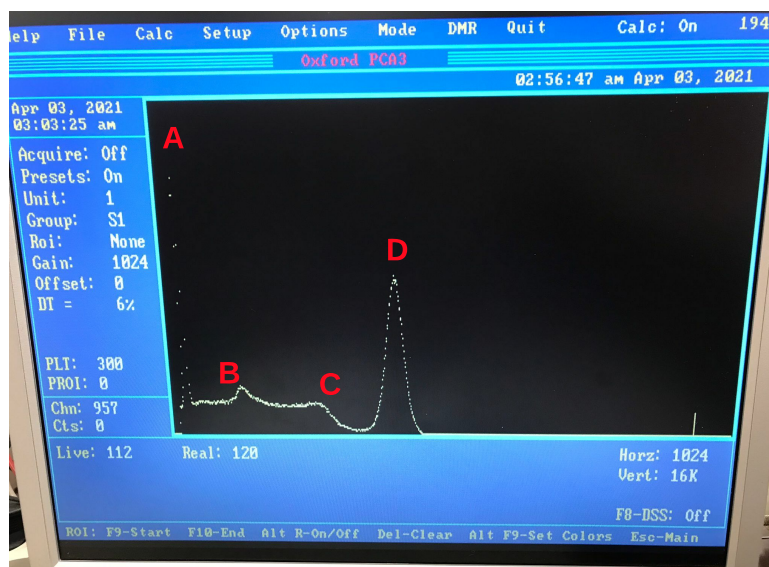
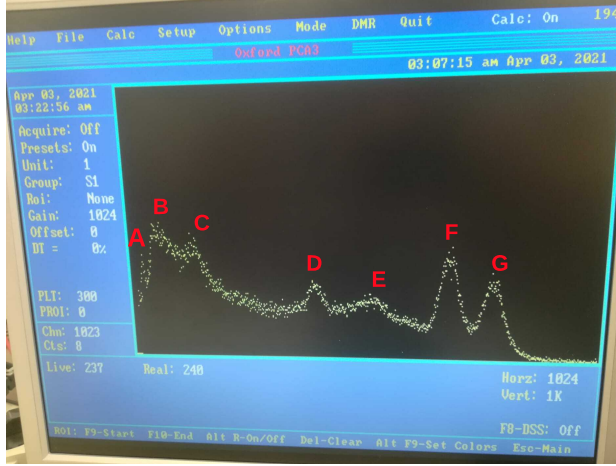
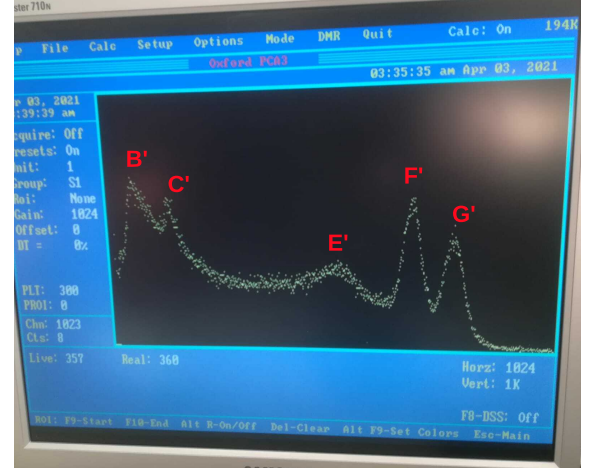


Figura 3: Espectro da fonte cézio-137 observado no analisador multi-canal, com os respectivos picos de energia assinalados.

Durante a obtenção dos resultados com uma das fontes, a outra deverá ser mantida na caixa, longe do alcance do detetor, de forma a não perturbar as medidas. Foi isso que sucedeu no 1º ensaio com a fonte de cobalto-60 (representado na Figura 4a, na qual é aparente o pico D, devido à presença próxima da fonte de célio-137). Desta forma, efetuaram-se 2 conjuntos de medições para a fonte de cobalto, apresentados em baixo, tendo-se, ao longo da análise de dados, usado os resultados do ensaio 2, no qual a perturbação do célio não é pronunciada.



(a) Ensaio 1 (perturbado)



(b) Ensaio 2

Figura 4: Espectro da fonte cobalto-60 observado no analisador multi-canal, com os respetivos picos de energia assinalados, para os ensaios com e sem presença do célio-137 próximo do detetor (Figuras 4a e 4b, respetivamente).

Pico	FWHM (Ch)	N_t (Cts)	N_s (Cts)	Centróide (Ch)	σ_C (Ch)	E_{teo} (keV)
A (Raios-X)	5.97	104 573 \pm 323	70 411 \pm 461	28.08	0.01	32
B (Retrodifusão)	21.20	92 407 \pm 304	12 751 \pm 798	130.82	0.09	184
C (Joelho de Compton)	23.81	76 180 \pm 276	7 388 \pm 784	271.38	0.12	478
D (Absorção Total)	33.39	307 154 \pm 554	243 029 \pm 1 032	413.29	0.03	662

Tabela 1: Medidas relativas aos picos do espectro da fonte de célio-137 (^{137}Cs) para um intervalo de tempo de contagem de $\Delta t = 120\text{s}$.

Nota: É designado como "pico" o Joelho de Compton, embora não possua uma forma gaussiana; aliás, nos vários ajustes feitos ao longo da atividade, estes "picos" acabaram por não ser utilizados, por essa razão.

Ensaio	Pico	FWHM (Ch)	N_t (Cts)	N_s (Cts)	Centróide (Ch)	σ_C (Ch)	E_{teo} (keV)
1	A (Sensibilidade)	5.70	3 741 \pm 61	478 \pm 98	27.85	-	-
	B (Retrodifusão)	13.20	17 512 \pm 132	1 602 \pm 340	57.81	-	-
	C (Retrodifusão)	18.08	18 955 \pm 138	2 042 \pm 386	151.62	-	-
	D (Pico de ^{137}Cs)	29.60	14 514 \pm 120	2 458 \pm 365	417.06	-	-
	E (Joelho de Compton)	4.48	13 650 \pm 117	525 \pm 389	540.00	-	-
	F (Absorção Total)	37.65	19 862 \pm 141	9 041 \pm 380	709.78	-	-
	G (Absorção Total)	33.39	13 601 \pm 117	4 614 \pm 315	801.07	-	-
2	B' (Retrodifusão)	16.26	28 158 \pm 168	2 973 \pm 466	61.40	0.13	210
	C' (Retrodifusão)	12.47	15 122 \pm 123	1 109 \pm 280	144.84	0.15	214
	E' (Joelho de Compton)	3.39	21 949 \pm 148	1 261 \pm 510	546.09	0.04	963
	F' (Absorção Total)	37.27	28 729 \pm 169	11 742 \pm 461	710.25	0.15	1173
	G' (Absorção Total)	37.35	20 761 \pm 144	8 283 \pm 379	802.20	0.17	1333

Tabela 2: Medidas relativas aos picos do espectro da fonte de cobalto-60 (^{60}Co) para um intervalo de tempo de contagem de $\Delta t = 240\text{s}$ (ensaios 1 e 2).

O valor de FWHM corresponde à largura a meia altura de cada pico. Por sua vez, os valores N_t e N_s correspondem, respetivamente, aos valores ROI Int e ROI Net, dados pelo analisador multi-canal. O erro do centróide é dado pela seguinte equação:

$$\sigma_C = \frac{FWHM}{2\sqrt{2N_s \ln 2}} \quad (4)$$

Ao realizar o ajuste linear com os pontos da Tabela 1 e do segundo ensaio da Tabela 2, verificou-se que os picos C, B', C' e E' produziam retas com um menor coeficiente de correlação linear R^2 , sendo que esses pontos ficavam, no geral, mais afastados da reta de ajuste. Desta forma, para obter a equação de calibração, utilizaram-se apenas os picos A, B, D, F' e G'. Faz sentido os outros picos produzirem ajustes menos bons, uma vez que eram aqueles que possuíam menor simetria, afastando-se mais da forma de um pico gaussiano. O ajuste linear apresentado abaixo foi realizado no Excel, tendo sido utilizado a ferramenta *linest* [3] para obter os erros dos parâmetros de ajuste.

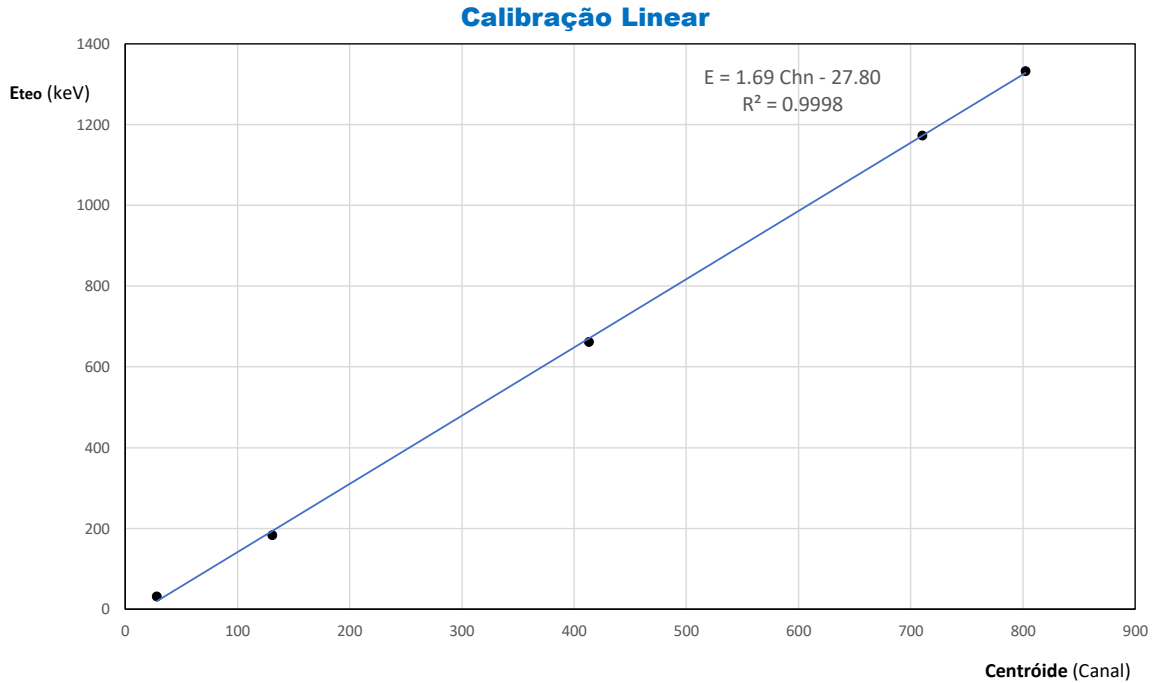


Figura 5: Calibração do detetor - reta de regressão linear.

a (keV/Ch)	b (keV)	R^2	χ^2/n_d
1.69 ± 0.02	-27.8 ± 8.0	0.9998	2.8

Tabela 3: Coeficientes de regressão linear e valores de R^2 e χ^2/n_d obtidos para a calibração.

Uma vez que χ^2/n_d (sendo n_d o número de graus de liberdade) é bastante próximo de 1 (possuem a mesma ordem de grandeza), pode afirmar-se que a hipótese linear se verifica, tendo-se obtido um ajuste bom, o que também é corroborado pelo valor de R^2 , também muito próximo de 1. Por outro lado, obteve-se um valor de b negativo, de módulo bastante elevado, o que indica que o eixo horizontal do analisador multi-canal possui alguns canais iniciais nos quais não se registarão quaisquer eventos (corresponderiam a energias negativas), especificamente, até ao canal dado por $-b/a \approx 16.4$.

Ao longo das próximas secções do presente *logbook*, ao se obter um valor de energia a partir do valor do centróide de um pico, com a equação $E = a \cdot \text{Centróide} + b$ (5), utilizar-se-á a relação $\sigma_E = \sqrt{(\sigma_a \cdot \text{Centróide})^2 + (a \cdot \sigma_{\text{Centróide}})^2 + \sigma_b^2}$ (6) para o respetivo erro.

Estudo de uma fonte desconhecida

Para além do césio e do cobalto, também foi analisado o espectro de uma fonte de radiação gama desconhecida. Fez-se uma recolha de dados num processo análogo ao dos elementos anteriores, com a fonte a cerca de 1 cm do detetor, mas desta vez durante um tempo de aquisição de 360 segundos, sendo que os resultados se podem ver na Figura 6.

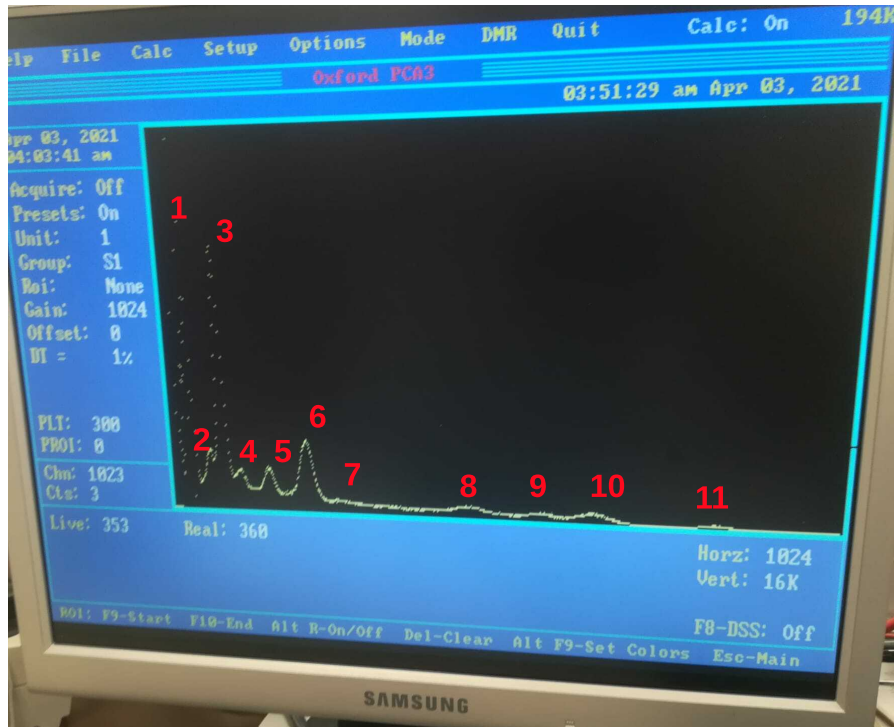


Figura 6: Espectro da fonte desconhecida observado no analisador multi-canal, com os respetivos picos de energia assinalados.

De seguida, foi recolhida a informação referente a cada um dos picos observados, estando a informação compilada na Tabela 4.

Pico	FWHM (Ch)	N_t (Cts)	N_s (Cts)	Centróide (Ch)
1	6.49	$212\,864 \pm 461$	$135\,152 \pm 638$	34.25
2	10.11	$46\,798 \pm 216$	$7\,465 \pm 429$	64.23
3	10.42	$158\,892 \pm 399$	$92\,391 \pm 643$	86.28
4	8.39	$26\,174 \pm 162$	$2\,482 \pm 292$	115.33
5	15.74	$50\,639 \pm 225$	$16\,648 \pm 499$	162.26
6	22.57	$100\,091 \pm 316$	$55\,801 \pm 701$	223.93
7	—	$11\,669 \pm 108$	320 ± 218	—
8	31.12	$26\,310 \pm 162$	$5\,988 \pm 461$	484.10
9	17.64	$14\,450 \pm 120$	$2\,002 \pm 322$	598.96
10	17.20	$14\,535 \pm 121$	$1\,690 \pm 299$	668.81
11	32.80	$9\,184 \pm 96$	$3\,054 \pm 267$	843.89

Tabela 4: Medidas relativas aos picos do espectro da fonte desconhecida para um intervalo de tempo de contagem de $\Delta t = 360$ s.

É de apontar que, por falta de resolução, o *software* não apresentou alguns dados relativos ao sétimo pico (no qual, para uma maior ampliação, era aparente uma forma relativamente próxima à de uma gaussiana). Para resolver este problema, poderia ter sido aumentado o tempo de recolha de dados. No entanto, não se considerou que fosse necessário para o propósito desta secção, como se poderá perceber mais à frente.

Para determinar o elemento constituinte da fonte, utilizaram-se os picos de absorção total, identificados devido à sua elevada energia, isto é, os picos 10 e 11. Utilizando a equação 5, procedeu-se ao cálculo da energia dos picos mencionados.

Pico	Centróide (Ch)	σ_C (Ch)	FWHM (Ch)	N_s (Cts)	E (keV)	σ_E (keV)
10	668.81	0.08	17.2	9100	1102.5	15.6
11	843.89	0.13	32.8	11494	1398.4	18.7

Tabela 5: Medidas relativas aos picos 10 e 11 do espectro da fonte desconhecida.

Os valores anteriores foram inseridos num *website* [4] com uma tabela Lund-Berkeley, com o intuito de descobrir a fonte da radiação γ . Devido ao elevado número de possibilidades, foi necessário restringir a procura, limitando as opções a isótopos com tempos de semi-vida entre 0.5 e 15 anos, os quais parecem razoáveis tendo em conta a relação atividade/manutenção da fonte. Felizmente, não foi necessário adicionar mais restrições, como se pode ver nas tabelas seguintes, nas quais são apresentadas possíveis fontes devido às respetivas energias num dos seus picos (foram omitidos os isótopos que não emitiam γ s com os dois valores de energia, e selecionados os picos com maior probabilidade de emitirem gamas dentro do intervalo de incerteza):

Isótopo	Energia (keV)	Probabilidade (%)
$^{110}_{47}\text{Ag}$	1085.447	0.073
$^{152}_{63}\text{Eu}$	1112.076	13.67
$^{154}_{63}\text{Eu}$	1118.27	0.113

Tabela 6: Isótpos possíveis tendo em conta o pico 10.

Isótopo	Energia (keV)	Probabilidade (%)
$^{110}_{47}\text{Ag}$	1384.2931	25.1
$^{152}_{63}\text{Eu}$	1408.013	20.87
$^{154}_{63}\text{Eu}$	1408.28	0.0247

Tabela 7: Isótpos possíveis tendo em conta o pico 11.

Observando as duas tabelas, chega-se à conclusão de que a fonte desconhecida poderá ser constituída por Prata, mais concretamente o isótopo $^{110m}_{47}\text{Ag}$ (aqui, o m significa que o isótopo é um estado metaestável do elemento em questão [2][5]) ou por Európio. Refletindo na probabilidade de decaimento tabelada e na quantidade de contagens recolhidas em laboratório para ambos os picos, consideramos ser bastante provável que a fonte desconhecida seja composta por Európio, especificamente $^{152}_{63}\text{Eu}$.

Este isótopo tem um período de semi-vida de 13.537 anos, o que, ao contrário da Prata (249.95 dias), torna este isótopo uma boa escolha para manter num laboratório, visto que poderá ser utilizado por vários anos com uma atividade estável.

Estudo da atenuação. Determinação do coeficiente de absorção

Quando a radiação γ interage com os absorvedores de chumbo é, em parte, absorvida, dependendo esta absorção do coeficiente de absorção do material (chumbo). A diminuição da intensidade do feixe de radiação que se propaga na matéria é dada pela equação 2, na qual ' μ ' corresponde ao coeficiente de absorção linear e ' x ' à densidade de espessura do material (em $g \cdot cm^{-2}$).

Para estudar a atenuação da radiação γ na matéria, foram colocados absorvedores de chumbo de diferentes densidades de espessura entre a fonte de cézio e o detetor, sendo que a distância entre estes se manteve constante (e igual a 1 cm) durante todo o procedimento. Para executar a análise dos dados, utilizou-se a seguinte relação entre a intensidade da radiação e o número de

contagens:

$$I_{rel} = \frac{I}{I_0} = \frac{N}{N_0} \quad (7)$$

Sendo a respetiva fórmula de erro dada por

$$\sigma_{\ln I_{rel}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{N_0}}{N_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_N}{N}\right)^2} \quad (8)$$

A qual se obtém a partir das relações $\sigma_{I_{rel}} = \frac{1}{N_0} \sqrt{\sigma_N^2 + \left(\frac{N}{N_0}\right) \sigma_{N_0}^2}$ e $\sigma_{\ln I_{rel}} = \frac{\sigma_{I_{rel}}}{I_{rel}}$.

Nas equações 7 e 8, I_0 e N_0 correspondem, respetivamente, à intensidade da radiação e ao número de contagens sem a presença de absorvedor. Por sua vez, I_{rel} diz respeito a uma intensidade relativa.

Absorvedor	a	b	c	d	e
x ($g \cdot cm^{-2}$)	0.9477	1.8091	2.0147	4.465	7.042

Tabela 8: Espessuras em $g \cdot cm^{-2}$ dos absorvedores de chumbo utilizados

Absorvedor	Pico	FWHM (Ch)	N_t (Cts)	N_s (Cts)	Centróide (Ch)
a	0 (Sensibilidade)	4.51	7 067 ± 84	645 ± 141	25.85
	A	13.08	28 043 ± 167	4 922 ± 384	57.80
	B	20.83	33 713 ± 184	4 319 ± 458	132.81
	C	6.54	21 881 ± 148	1 328 ± 394	275.16
	D	34.17	98 705 ± 314	79 280 ± 584	416.36
b	A	9.10	20 624 ± 144	3 138 ± 286	58.01
	B	15.46	25 705 ± 160	3 133 ± 357	131.57
	C	2.29	14 172 ± 119	485 ± 267	262.25
	D	33.85	91 431 ± 302	71 137 ± 576	416.15
c	A	10.40	21 838 ± 132	4 044 ± 300	57.64
	B	9.58	19 664 ± 140	1 503 ± 288	131.48
	C	11.89	20 181 ± 142	1 526 ± 376	279.17
	D	33.27	87 997 ± 297	65 351 ± 584	416.59
d	A	8.11	21 610 ± 147	3 698 ± 310	57.92
	B	18.05	24 232 ± 156	3 142 ± 360	132.26
	C	5.55	14 775 ± 122	665 ± 296	267.61
	D	29.07	64 225 ± 253	37 610 ± 543	416.00
e	A	10.99	17 398 ± 132	2 325 ± 274	59.33
	B	13.06	16 798 ± 130	1 346 ± 276	129.96
	C	13.51	18 560 ± 136	1 565 ± 397	275.93
	D	33.05	54 661 ± 234	38 347 ± 487	415.81
Nenhum	A	5.63	36 438 ± 191	24 907 ± 266	28.13
	B	13.38	29 821 ± 173	2 315 ± 403	133.09
	C	11.22	14 666 ± 121	1 183 ± 266	270.56
	D	34.15	108 962 ± 330	88 950 ± 599	416.59

Tabela 9: Medidas relativas aos picos do espectro da fonte de cézio-137 (^{137}Cs) para um intervalo de tempo de contagem de $\Delta t = 300\text{s}$ e com (ou sem) os absorvedores de diferentes espessuras mássicas.

Nas tabelas 8 e 9 acima são apresentados, respetivamente, os valores das espessuras dos absorvedores utilizados e os dados obtidos para esta secção. É de apontar que, embora no *kit* dos absorvedores do laboratório, estes estivessem designados por letras maiúsculas, decidiram-se utilizar letras minúsculas de forma a distingui-los das identificações dos picos. Estes picos,

correspondentes à fonte de césio-137, são os mesmos dos representados na Figura 3, na primeira parte da experiência, à exceção do pico 0, um pico de muito baixa energia que foi detetado apenas com o absorvedor 'a' e que se deverá à sensibilidade do detetor.

Foi analisada a atenuação da radiação para o pico de energia teórica de 662 keV (pico D), correspondente à absorção total, uma vez que é o pico que mais se equipara a uma gaussiana.

Absorvedor	$x \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-2}\text{)}$	$\ln(N_t/N_0)$	$\ln(N_s/N_0)$
a	0.9477	-0.0989 ± 0.0044	-0.1150 ± 0.0049
b	1.8091	-0.1754 ± 0.0045	-0.2234 ± 0.0050
c	2.0147	-0.2137 ± 0.0045	-0.3083 ± 0.0052
d	4.465	-0.5286 ± 0.0050	-0.8608 ± 0.0062
e	7.042	-0.6898 ± 0.0052	-0.8414 ± 0.0061

Tabela 10: Dados utilizados para efetuar a regressão linear dada pela equação 9

Realizou-se um ajuste linear aos dados da tabela 10 utilizando a equação seguinte:

$$\ln(N/N_0) = -a \cdot x + b \quad (9)$$

Onde 'a' corresponde ao coeficiente de absorção do chumbo.

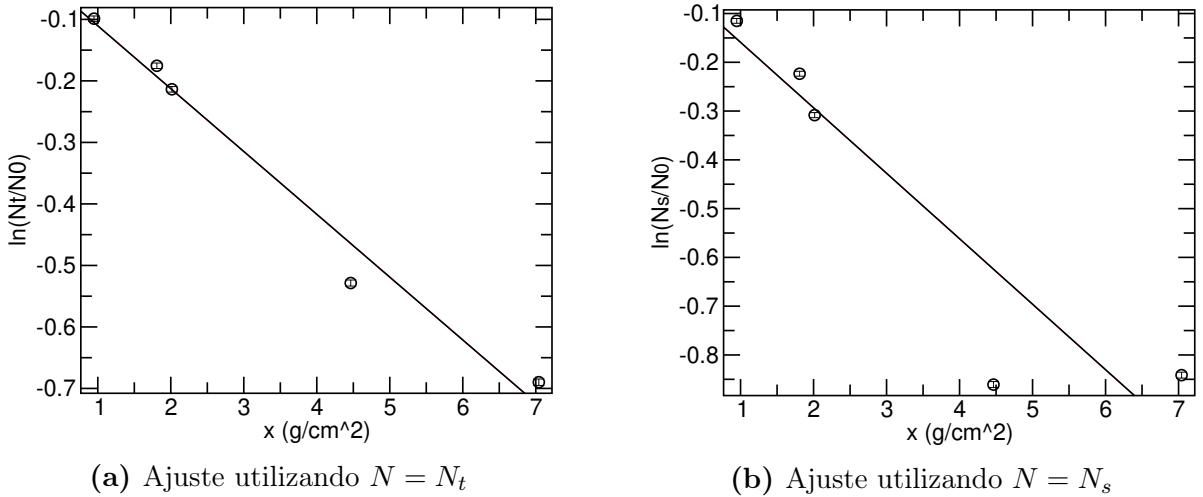


Figura 7: Ajustes lineares aos dados presentes na Tabela 10

Foram realizados dois ajustes, utilizando $N = N_t$ e $N = N_s$. No entanto, pela análise dos gráficos da Figura 7, verifica-se que a reta não se ajusta bem aos dados no caso de $N = N_s$. Por esse motivo, apenas foi aprofundada a análise do ajuste em que foi usado N_t , sendo os resultados obtidos apresentados abaixo.

$a \text{ (g}^{-1}\text{cm}^2\text{)}$	b	χ^2/n_d
0.102 ± 0.001	-0.008 ± 0.004	78.8

Tabela 11: Valores dos parâmetros obtidos no ajuste linear apresentado na Figura 7a

Foi obtido um coeficiente de absorção linear do chumbo $\mu = a = (0.102 \pm 0.001) \text{ g}^{-1}\text{cm}^2$ com um erro de 2.9% relativamente ao valor tabelado $\mu_{tab} = 0.105 \text{ g}^{-1}\text{cm}^2$.

Apesar de se ter obtido um erro baixo, o valor de χ^2/n_d é bastante superior a 1. Isto deve-se ao baixo valor das incertezas calculadas a partir da equação 8. No gráfico da Figura 7 é possível

notar que as barras de erro dos últimos dois pontos não interseam a linha de ajuste o que significa que terão existido erros que não foram tidos em conta ou que o modelo não se adequará bem aos resultados para maiores valores da densidade de espessura. De notar que o centróide (Tabela 9) se manteve constante independentemente da densidade de espessura do absorvedor, o que indica que a energia da radiação que atravessa as placas não depende da mesma, como seria de esperar.

Resolução em energia

Foi realizado um estudo da resolução em energia dos espectros observados. Para tal, foi utilizada a equação 3 e foram selecionados os picos que mais se assemelhavam a gaussianas, estando os mesmos discriminados na tabela abaixo.

Os valores de E e de ΔE foram obtidos, respetivamente, recorrendo às equações 7 e 8.

$$E = a \times Centroid \quad (10)$$

$$\Delta E = a \times FWHM \quad (11)$$

Em que $Centroid$ é o número do canal correspondente ao centroide do pico, a é o coeficiente de calibração que, no caso das fontes de ^{137}Cs , ^{60}Co e da fonte desconhecida, foram obtidos com os resultados da sessão laboratorial de 8/10/2021 (consultar tabela 3) e, no caso da fonte ambiente, com os resultados do dia 1/10/2021 ($a = 1.42$); e $FWHM$ é a largura total do pico a metade do seu máximo descrita em canais de energia.

Fonte	Pico	E (keV)	ΔE (keV)	R (%)
^{137}Cs	A	47.4 ± 0.4	10.1 ± 0.1	21.3 ± 0.2
	B	221.1 ± 2.2	35.8 ± 0.4	16.2 ± 0.2
	D	698.4 ± 6.7	56.4 ± 0.5	8.1 ± 0.1
^{60}Co	A	103.8 ± 1.2	27.5 ± 0.3	26.5 ± 0.3
	E	1200.3 ± 11.3	63.0 ± 0.6	5.2 ± 0.1
	F	1355.7 ± 12.5	63.1 ± 0.6	4.7 ± 0.1
F. Desconhecida	E	274.2 ± 2.6	26.6 ± 0.3	9.7 ± 0.1
	I	1012.2 ± 9.6	29.8 ± 0.3	2.95 ± 0.03
	J	1130.3 ± 10.7	29.1 ± 10.7	2.57 ± 0.02
Ambiente	A	98.6 ± 1.2	5.0 ± 1.2	5.09 ± 0.08

Tabela 12: Energias, larguras a meia altura em unidades de energia e resoluções para os picos selecionados

Assumindo que a ionização que ocorre nos dínodos do fotomultiplicador tem uma distribuição de Poisson, obtém-se a expressão 12 para a resolução energética [1]:

$$R \approx 2.35 \sqrt{\frac{\omega}{E}} \quad (12)$$

Em que ω representa a energia média de ionização do detetor. Utilizando esta equação, poder-se-ia então realizar um ajuste dos dados experimentais de forma a obter o valor de ω . A equação 12, porém, foi modelada de modo a descrever melhor os dados experimentais adquiridos. Assim, foi utilizada a equação 13 para realizar o ajuste dos dados.

$$R \approx 2.35 \sqrt{\frac{\omega}{E - E_0}} \quad (13)$$

A Figura 8 ilustra os ajustes realizados para as três fontes. Uma vez que apenas recolhemos dados relativos a um pico aquando das medições sem fonte, não foi realizado ajuste para a fonte ambiente.

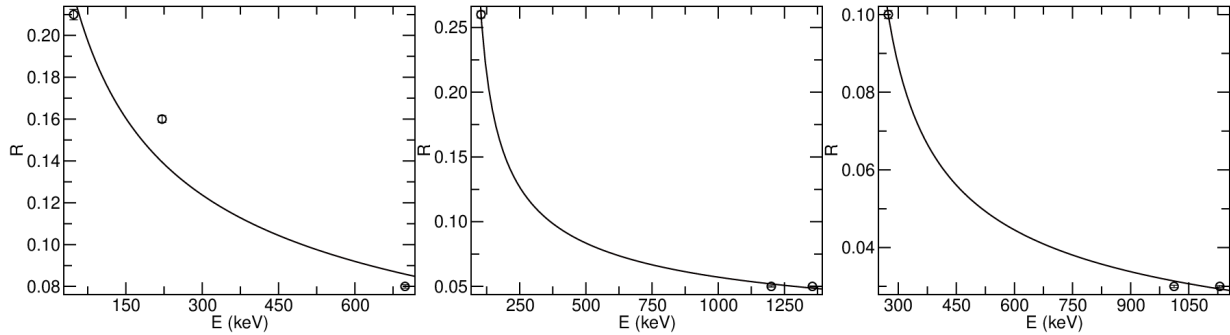


Figura 8: Ajuste da equação 13 aos pontos experimentais. Os gráficos descrevem (da esquerda para a direita) o ajuste dos dados experimentais da fonte de ^{137}Cs , da fonte de ^{60}Co e da fonte desconhecida.

Fonte	ω (keV)	E_0 (keV)	χ^2/n_d
^{137}Cs	1.02 ± 0.02	-70.2 ± 3.8	232.5
^{60}Co	0.555 ± 0.007	58.2 ± 1.1	25.1
Fonte Desconhecida	0.145 ± 0.002	193.4 ± 2.0	32.2

Tabela 13: Parâmetros obtidos após os ajustes dos dados à equação 13

Para a fonte de ^{137}Cs , o valor de χ^2/n_d obtido foi em 2 ordens de grandeza superior à unidade, enquanto que para a fonte de ^{60}Co e para a fonte desconhecida o valor obtido foi em 1 ordem de grandeza superior. Isto pode indicar que os erros foram significativamente subestimados ou mesmo que o modelo descrito pela equação 13 não é uma boa aproximação da realidade. Para além disto, os picos selecionados, que foram os que mais se assemelhavam a gaussianas, podem não ter sido os mais indicados.

O valor obtido para a energia de ionização média do ^{137}Cs é uma ordem de grandeza acima do esperado, o que pode estar também relacionado com as considerações anteriormente enunciadas, nomeadamente com os picos escolhidos para esta fonte. Por outro lado, as ordens de grandeza dos resultados para as fonte de ^{60}Co e ambiente encontram-se dentro do esperado. Assim, os ajustes para a fonte de ^{60}Co e para a fonte ambiente parecem enquadrar-se melhor nos dados obtidos.

Conclusão

Começou-se por obter a equação de ajuste que descreve a calibração linear do detetor, tendo-se utilizado esta equação, ao longo da análise, para obter valores de energia de picos observados.

Estudou-se uma fonte desconhecida, tendo-se chegado à provável conclusão que se tratara de uma fonte de um isótopo de európio, embora um isótopo da prata também fosse uma possível boa hipótese. Relativamente ao estudo da atenuação da radiação γ na matéria, verificou-se que a Lei de Lambert se adequou bem aos dados experimentais, tendo-se obtido um desvio de 2.9% do coeficiente de absorção linear do chumbo face ao valor tabelado.

Para a resolução energética, o modelo proposto não descreveu de forma muito fiel os resultados observados no caso da fonte de ^{137}Cs , onde o valor de χ^2/n_d obtido foi duas ordens de grandeza

superior à unidade e o valor da energia média de ionização se encontrou fora da ordem de grandeza esperada, o que nos fez questionar a validade do mesmo. Contudo, para a fonte de ^{60}Co e para a fonte desconhecida, os valores das energias de ionização obtidos encontram-se na ordem de grandeza esperada e o valor de χ^2/n_d foi apenas uma ordem de grandeza superior à unidade.

Referências

- [1] Guia experimental e slides disponibilizados na página da cadeira.
- [2] Nuclear isomer. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_isomer.
- [3] Excel's Linest.
<https://pages.mtu.edu/~fmorriso/cm3215/UncertaintySlopeInterceptOfLeastSquaresFit.pdf>.
- [4] Decay Radiation Search. <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indxdec.jsp>.
- [5] Isotopes of Silver. https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_silver.