



Determinação de Curvas e Eficiência para Detector HPGe e Valor Médio do Coeficiente de Absorção em Amostra Extensa

J. O. Arpiani¹, G. S. Zahn¹, F. A. Genezini¹ e
J. A. G. de Medeiros¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)

Av. Professor Lineu Prestes 2242

05508-000 São Paulo, SP, Brasil

² Escola de Engenharia

EE - Universidade Presbiteriana Mackenzie

Rua da Consolação, 930 - Prédio 6 Higienópolis

01302-907 - São Paulo, SP, Brasil

arpiani20@gmail.com

g Zahn@ipen.br

fredzini@ipen.br

medeiros.agostinho@alumni.usp.br

1. Introdução

A determinação de Curvas de Eficiência para Detector HPGe permite a análise quantitativa de espectros gama para a identificação e quantificação de radionuclídeos emissores gama em amostras diversas. A eficiência de contagem de um detector gama, apresenta uma dependência com a energia do fóton a ser contado e com a geometria de contagem e para isto utiliza-se fontes radioativas padrão na geometria apropriada. Diversos métodos experimentais e computacionais foram desenvolvidos para determinar a eficiência de detecção para fontes extensas. Um dos métodos desenvolvidos, utiliza fontes padrão de geometria diferente da amostra e consiste em determinar as eficiências destas fontes em uma grade de pontos no espaço acima e abaixo da amostra a ser medida. Este método não necessita de conhecimento prévio da composição química da amostra, parâmetros internos do detector ou da geometria de medida. O objetivo do trabalho é determinar a curva de Eficiência do detector HPGe para uma amostra extensa e composta de diferentes materiais, utilizando fontes padrão posicionadas abaixo e acima da amostra. O coeficiente de atenuação gama deve ser obtido utilizando o mesmo conjunto de fontes padrão.

2. Metodologia

As medidas foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada no Centro do Reator de Pesquisas (CERPq), utilizando um detector de HPGe e eletrônica associada. A amostra a ser medida é constituída de uma caixa metálica de dimensões 84x40x39 cm, que pode ser preenchida por materiais

de diferentes densidades. Em uma primeira etapa a caixa será preenchida com espuma de densidade 28 (0,028 g/cm³).

Fontes padrão de ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs serão posicionadas ao longo da lateral menor e maior, em intervalos de 10 cm para o lado maior e 5 cm para o lado menor. Estão previstas aproximadamente 40 medidas com a fonte posicionada entre o detector e a amostra e 40 medidas para a fonte posicionada após a amostra, para cada um dos lados.

A curva de eficiência será gerada para os dois lados medidos, utilizando ajustes lineares e exponenciais. Posteriormente será determinada a atividade de fontes padrão posicionadas no interior da caixa e os resultados serão comparados com os valores corrigidos, devido ao tempo de decaimentos, das atividades das fontes padrão. Posteriormente as medidas serão repetidas utilizando materiais com diferentes densidades preenchendo a caixa.

A determinação de Curvas de Eficiência para Detector HPGe [1] é um processo essencial para a análise quantitativa de espectros gama que permite a identificação e quantificação de radionuclídeos emissores gama em amostras diversas, sólidas líquidas e gasosas, sem a necessidade de preparo radioquímico prévio em diversas aplicações científicas, dentre os quais podemos citar: Análise por Ativação com Nêutrons (AAN) [2]; determinação da composição isotópica de rejeitos [3] e estudos de física nuclear para investigar as propriedades nucleares, como níveis de energia, estados excitados, transições nucleares e decaimentos radioativos [4].

A eficiência de contagem de um detector gama, apresenta uma dependência com a energia do fóton a ser contado e com a geometria de contagem (tamanho, posição e forma da amostra). A curva de eficiência para uma dada geometria de contagem é obtida experimentalmente utilizando fontes radioativas padrão na geometria apropriada [1].

Para determinar a eficiência do detector em diferentes energias, várias etapas são seguidas. Inicialmente, fontes padrão contendo isótopos radioativos bem caracterizados são utilizadas para adquirir espectros gama. Essas fontes emitem raios gama em energias conhecidas, permitindo a criação de pontos de referência para a curva de eficiência e o ajuste de uma curva matemática que represente esses pontos experimentais. É importante ressaltar que a Curva de Eficiência é específica para o detector HPGe em questão e para as condições experimentais em que foi determinada. Medidas realizadas com fontes de baixa atividade e dimensões pequenas quando comparadas com a distância fonte – detector, podendo ser consideradas fontes pontuais, não requerem correções e são relativamente simples de se obter. Em contrapartida, para medidas de caracterização de rejeitos radioativos e medidas ambientais, utilizam-se em geral de fontes extensas e distâncias fontes-detector que não permitem a suposição de fontes pontuais. Como consequência, efeitos como absorção no meio, auto-absorção na fonte, e alteração na geometria da fonte devem ser considerados.

Diversos métodos experimentais e computacionais foram desenvolvidos para determinar a eficiência de detecção para fontes extensas. Um dos métodos desenvolvidos, utiliza fontes padrão de geometria diferente da amostra e consiste em determinar as eficiências destas fontes em uma grade de pontos no espaço acima e abaixo da amostra a ser medida [5]. Este método não necessita de conhecimento prévio da composição química da amostra, parâmetros internos do detector ou da geometria de medida. A eficiência da fonte extensa pode ser obtida utilizando-se a média geométrica das eficiências acima e abaixo da amostra:

$$\varepsilon_{Extensa}(E) = \sqrt{\varepsilon_{Acima}(E) + \varepsilon_{Abaixo}(E)} \quad (1)$$

Considerando que o detector esteja posicionado abaixo da amostra, temos:

$$\varepsilon_{Abaixo}(E) = \sum_i A_i e^{-a_i E} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{Acima}(E) = \left(\sum_i B_i e^{-b_i E} \right) e^{-\mu(E)\Delta x} \quad (3)$$

Em que:

A_i, a_i, B_i, b_i são parâmetros ajustáveis;

μ é o coeficiente de atenuação;

Δx é a espessura de atenuação.

O valor de μ pode ser obtido experimentalmente utilizando a fonte padrão através da lei de atenuação exponencial:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (4)$$

Em que:

I é a intensidade da radiação após atravessar o material,

I_0 é a intensidade inicial da radiação,

μ é o coeficiente de atenuação linear do material (também conhecido como coeficiente de atenuação),

x é a espessura do material.

3. Resultados e Discussão

Com as medidas obtidas realizamos ajustes lineares e exponenciais para as curvas de eficiência de cada medida como na Fig. 1, comparando dados obtidos de um programa python e do programa Origin 8.

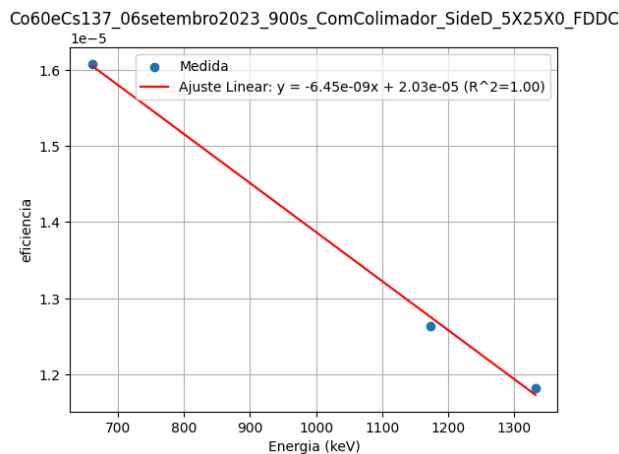


Figura 1: Exemplo de ajuste linear feito em python da eficiência sobre a energia (keV) de uma medida feita com as fontes padrão na face D (traseira) da caixa metálica preenchida com espuma.

A função exponencial média das funções ajustadas é:

$$y = 1,59 \times 10^{-2} \cdot \exp(1,00 \cdot (x - x_{min})) \quad (5)$$

Em que x_{min} é o valor mínimo de x nos dados.

Dessa maneira, o método consiste na composição das eficiências em cada uma das configurações para sua média geométrica, o que não necessita de conhecimento prévio da composição química da amostra, parâmetros internos do detector ou da geometria de medida, sendo uma alternativa quando refere-se a eficiência de detecção para fontes extensas.

4. Conclusão

A determinação das curvas de eficiência para o detector HPGe e do valor médio do coeficiente de absorção em amostras extensas é de suma importância na análise quantitativa de espectros gama para a identificação e quantificação de radionuclídeos emissores gama em amostras diversas, tendo aplicabilidade vasta nas áreas da física nuclear. O método utilizado facilita tal determinação da curva de eficiência e permite comparações das eficiências nas diversas disposições das fontes de maneira didática. As medidas do coeficiente de atenuação gama estão em andamento e na próxima etapa a curva de eficiência final será ajustada, permitindo a determinação das atividades das fontes posicionadas no interior da amostra.

Referências

- [1] G. F. Knoll, *Detecção e Medição de Radiação*, John Wiley & Sons, Nova York & Estados Unidos da América, 4ª Edição (2010).
- [2] R. R. Greenberg, P. Bode, & E. A. De Nadai Fernandes, Análise por Ativação com Nêutrons: Um Método Primário de Medição, *Spectrochimica Acta Part B, Espectroscopia Atômica*, vol. 66, no. 3-4, pp. 193-241, (2011).
- [3] B. Pérot et al., "A caracterização de resíduos radioativos: uma revisão crítica de técnicas implementadas ou em desenvolvimento no CEA, França," *EPJ Nuclear Sci. Technol.*, vol. 4, no. 3 (2018).
- [4] J. A. G. de Medeiros, "Correlação Angular Direcional Gama-Gama no Núcleo sup(72)Ge," Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, São Paulo (2000). Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10797>. Acesso em: 27-Jul-2023.
- [5] R. M. dos Santos, "Desenvolvimento de um Método para Obtenção da Eficiência de Detecção para Detectores HPGe em Medidas com Fontes Extensas," Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo (2012). doi:10.11606/D.85.2012.tde-24082012-162508. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10104>. Acesso em: 27-Jul-2023.