



## Estudo da eficiência de detecção de um detector de NaI(Tl) para diferentes geometrias de fontes radioativas utilizando o código MCNP6

A. G. M. Santos<sup>1</sup>, R. S. F. Dam<sup>1,2</sup>, W. L. Salgado<sup>1,2</sup> e C. M. Salgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*alessandragalvao@poli.ufrj.br; otero@ien.gov.br, Instituto de Engenharia Nuclear – (IEN)  
Rua Hélio de Almeida 75*

*21941-906 Cidade Universitária, RJ, Brasil*

<sup>2</sup>*rdam@coppe.ufrj.br; william.otero@coppe.ufrj.br, Universidade Federal do Rio de Janeiro – (UFRJ)  
Programa de Engenharia Nuclear – (PEN/COPPE)*

*Avenida Horácio de Macedo 2030, G – 206  
21941-914 Cidade Universitária, RJ, Brasil*

### 1. Introdução

Detectores são dispositivos capazes de indicar a presença de um campo de radiação, normalmente constituídos por elementos ou materiais sensíveis à radiação, incluídos de um sistema que reconheça o sinal de entrada e retorne um valor relacionado à grandeza de medição da radiação emitida [1]. Dentre os detectores de radiação, os cintiladores de NaI(Tl) se destacam, pois podem ser operados à temperatura ambiente e possuem baixo custo. Além disso, sistemas de detecção baseados nesses detectores possuem alta eficiência de contagem, devido ao elevado número atômico do Iodo ( $Z = 53$ ) e à densidade do cristal [2].

A eficiência de um detector está relacionada com a capacidade de converter a radiação recebida em sinais de medição, sendo definida de duas formas: eficiência intrínseca e eficiência absoluta. A intrínseca é influenciada diretamente pelo detector, como por exemplo, seu material sensível e características físico-químicas dos materiais constituintes. Já a absoluta, além das características do detector, também se dá por fatores relacionados à fonte de emissão de radiação, como o tipo de feixe e a geometria de irradiação (distância fonte de radiação-detector).

A Eq. (1) e Eq. (2) descrevem, respectivamente, as eficiências intrínseca e absoluta [1,3].

$$\varepsilon_{int} = \frac{\text{número de sinais registrados}}{\text{número de radiações incidentes no detector}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{abs} = \frac{\text{número de sinais registrados}}{\text{número de radiações emitidas pela fonte}} \quad (2)$$

Portanto, o objetivo do presente estudo consiste em analisar a eficiência absoluta de um detector de NaI(Tl) para fontes de radiação com diferentes formatos e materiais de encapsulamento. O estudo foi realizado para energias de 50 a 1500 keV. As simulações foram realizadas utilizando o método de Monte Carlo por meio do código MCNP6 [4].

## 2. Metodologia

O sistema de detecção é composto por um detector NaI(Tl) 1 ¼" x ¾" e fontes radioativas de feixe isotrópico:  $^{241}\text{Am}$  (59,541 keV),  $^{133}\text{Ba}$  (80,998 keV, 302,856 keV e 356,013 keV),  $^{198}\text{Au}$  (411,802 keV),  $^{137}\text{Cs}$  (661,657 keV) e  $^{60}\text{Co}$  (1173,228 keV e 1332,492 keV). O modelo do detector utilizado na simulação foi previamente validado com o uso de fontes de calibração em trabalho anterior [5]. Cada uma das fontes foi simulada de cinco formas diferentes:

- i) pontual;
- ii) plana com 4 mm<sup>2</sup>;
- iii) plana com 24 mm<sup>2</sup>;
- iv) volumétrica cilíndrica de raio 12,7 mm encapsulada com acrílico (*lucite*,  $d = 1,1900 \text{ g/cm}^3$ );
- v) volumétrica cilíndrica de raio 12,7 mm encapsulada com ácido polilático (PLA) ( $d = 1,108 \text{ g/cm}^3$  [6]).

A distância fonte-detector é fixada em 32 mm. Uma representação gráfica dos sistemas com cada tipo de fonte pode ser visualizada na Fig. 1. A geometria de medição deste trabalho foi simulada com o código MCNP6 [4].

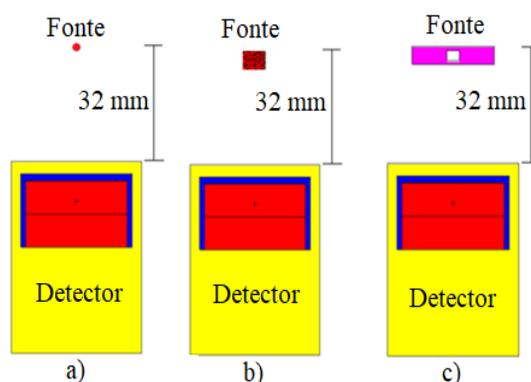


Figura 1: Geometrias simuladas com as fontes: a) pontual; b) plana; c) volumétrica cilíndrica.

Além das simulações realizadas com as energias dos radioisótopos citados, uma curva de eficiência foi construída para cada formato de fonte (pontual, plana e volumétrica) em um intervalo de energia de 50 a 1500 keV.

## 3. Resultados e Discussão

Os resultados da eficiência absoluta de detecção para os radioisótopos ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ ) nos cinco formatos de fontes estudados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Eficiência de detecção para as fontes de radiação simuladas com o código MCNP6.

Radionuclídeo	Energia (keV)	Eficiência de detecção (%)				
		Pontual	Plana 4 mm <sup>2</sup>	Plana 24 mm <sup>2</sup>	Volumétrica Acrílico	Volumétrica PLA
$^{241}\text{Am}$	59,541	1,16	0,56	0,57	1,28	1,28
	80,998	1,60	0,77	0,79	1,67	1,67
$^{133}\text{Ba}$	302,856	0,59	0,30	0,31	0,63	0,63
	356,013	0,45	0,22	0,23	0,47	0,47
$^{198}\text{Au}$	411,802	0,35	0,17	0,17	0,35	0,35

$^{137}\text{Cs}$	661,657	0,15	0,07	0,07	0,15	0,15
$^{60}\text{Co}$	1173,228	0,07	0,03	0,03	0,06	0,06
	1332,492	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05

Em seguida, foram construídas as curvas de eficiência no intervalo de energia de 50 a 1500 keV, conforme mostrado na Fig. 2. Dentro das curvas de eficiência, foram incluídos os resultados obtidos na Tabela 1.

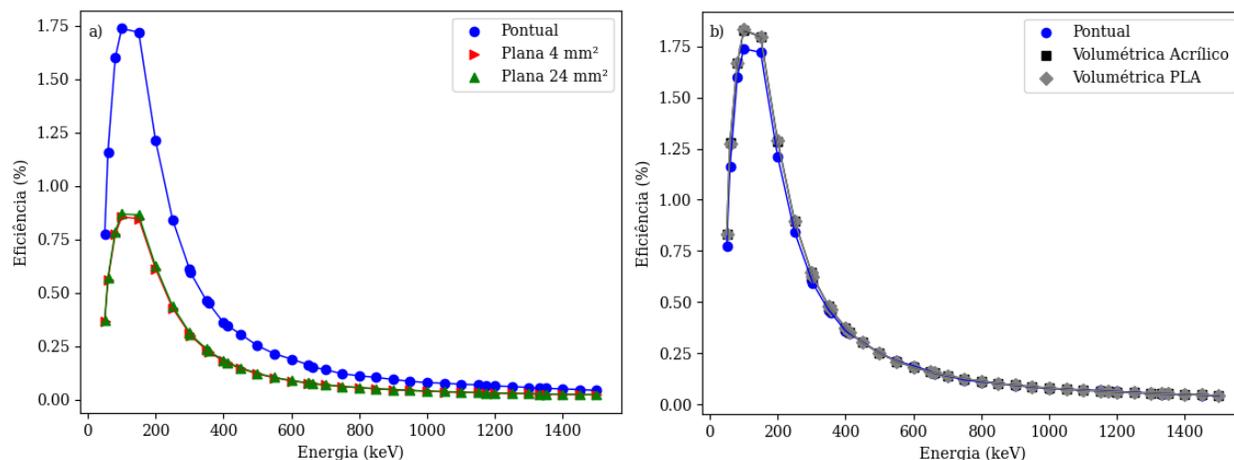


Figura 2: Curvas de eficiência absoluta em um intervalo de energia de 50 a 1500 keV: a) fontes pontual e planas; b) fontes pontual e volumétricas.

A partir da Fig. 2a, observa-se que a fonte pontual possui maior percentagem de eficiência se comparada com as fontes planas. No entanto, essa diferença reduz a medida que a energia da radiação aumenta. Na Fig. 2b, verifica-se que, para as dimensões de fontes estudadas, o valor de eficiência para fontes volumétricas difere do valor para fonte pontual em baixas energias. Desta forma, ao considerar uma fonte volumétrica como fonte pontual pode-se obter um erro de até 10% para a energia do  $^{241}\text{Am}$ , o que pode se tornar pior considerando uma fonte volumétrica com dimensões maiores do que a investigada neste estudo.

#### 4. Conclusões

Foi realizado um estudo sobre a eficiência absoluta de um detector de NaI(Tl) utilizando diferentes formatos de fontes de radiação em um intervalo de energia de 50 a 1500 keV. Todas as simulações foram realizadas com o código MCNP6. Os resultados mostraram que as fontes planas possuem baixa eficiência em relação aos outros formatos de fonte estudados. Além disso, observou-se que é possível cometer um erro de até 10% ao se considerar uma fonte volumétrica, mesmo para pequenos volumes, como fonte pontual em baixas energias.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, e ao Instituto de Engenharia Nuclear (IEN).

## Referências

- [1] L., Tauhata, I., Salati, P. A., R., Di Prinzio, M. A. R. R., Di Prinzio, *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*, IRD/CNEN, Rio de Janeiro & Brasil (2014).
- [2] N., Tsouflanis, *Measurement and Detection of Radiation*, McGraw-Hill, New York & USA (1983).
- [3] R.S.F., Dam, T.P., Teixeira, W.L., Salgado, C.M., Salgado, “A new application of radioactive particle tracking using MCNPX code and artificial neural network”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 149, pp. 38 - 47 (2019).
- [4] D.B., Pelowitz, *MCNP6 TM User's Manual*, Version 1.0, LA-CP-13-00634, Rev. 0, Los Alamos National Laboratory (2013).
- [5] C. M., Salgado, L. E. B., Brandão, R., Schirru, C. M. N. A., Pereira, C. C, Conti, “Validation of a NaI(Tl) detector's model developed with MCNP-X code”, *Progress in Nuclear Energy*, vol. 59, pp. 19 - 25 (2012).
- [6] A.G.M., Santos, R.S.F., Dam, W.L., Salgado, R., Schirru, C.M., Salgado, “Determination of mass attenuation coefficient of polylactic acid using gamma densitometry in 50-1000 keV energy range”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 177, pp. 109097 (2020).