

## **DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE UM DETECTOR USANDO MÉTODO DE MONTE CARLO.**

**M. P. C. Medeiros**<sup>1,2</sup> – eng.cavaliere@ime.eb.br

**W. F. Rebello**<sup>2,3</sup> – rebello@ime.eb.br

**J. M. Lopes**<sup>1</sup> – marqueslopez@yahoo.com.br

**A. X. Silva**<sup>1</sup> - ademir@nuclear.ufrj.br

<sup>1</sup> Programa de Engenharia Nuclear - COPPE/UFRJ;  
Cidade Universitária, Bloco G, sala 101 – Ilha do Fundão 21945-970  
Rio de Janeiro, RJ

<sup>2</sup> Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear;  
Praça Gen Tibúrcio, 80 22290-270  
Rio de Janeiro, RJ

<sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Departamento de Estruturas e Fundações;  
Rua São Francisco Xavier, 524 sala 5031E, 20550-900  
Rio de Janeiro, RJ

**Resumo.** Detectores de germânio são ferramentas obrigatórias para espectrometria em função de sua excelente resolução. A eficiência desses equipamentos, informada na lista de especificações dos fabricantes, frequentemente refere-se à eficiência relativa do pico de energia total, quando comparada àquela que seria obtida em um detector cintilador de iodeto de sódio dopado com tálio – NaI(Tl), medindo 7.6 cm x 7.6 cm (diâmetro x altura do cilindro), para o pico de 1.33 MeV de uma fonte pontual de <sup>60</sup>Co a 25 cm do detector. Neste trabalho, utilizou-se o código MCNPX, para simular um detector HPGe (modelo GC3020 – Canberra) do Laboratório de Neutronografia em Tempo Real da UFRJ e levantar o espectro de uma fonte de <sup>60</sup>Co posicionada a 25 cm, a fim de calcular e confirmar a eficiência declarada pelo fabricante. O resultado do modelo apresentou satisfatória concordância com os dados medidos e informados pelo fabricante. O modelo desenvolvido será utilizado para cálculo e comparação da curva de calibração do detector com a obtida através do software Genie2000.

**Palavras-chave:** HPGe, MCNPX, Detecção de radiação, Genie2K

## **1. INTRODUÇÃO**

A espectrometria gama é uma técnica direta de análise de radionuclídeos, capaz de identificar e quantificar emissores gama presentes em amostras, sem a necessidade de algum tratamento químico prévio (Rodrigues, 2011). A versatilidade do método permite que esta

técnica seja aplicada em diversos campos de estudo como indústrias, centros de pesquisa, monitoramento de área, entre outras (Britton, 2015). Uma das principais vantagens desse método é a quantidade de informações obtidas em uma única análise. Além disso, é um procedimento de análise rápida, multielementar e não destrutiva.

Para o uso da espectrometria gama, os detectores mais utilizados são do tipo inorgânico sólidos e os semicondutores. Esses detectores permitem obter informações e tirar conclusões sobre os níveis de radiação ionizante presentes na matéria. Com as medidas realizadas por esses detectores, é possível calcular as concentrações dos radionuclídeos presentes em uma amostra, estimando os parâmetros de radioproteção responsáveis pela garantia do princípio ALARA que estabelece as condições necessárias para proteger o homem dos efeitos causados pelas radiações ionizantes (Cember, 1996).

Entre os parâmetros essenciais para garantir um bom desempenho dos detectores e um aumento na confiabilidade dos resultados, podemos citar a necessidade de uma boa calibração do sistema de medidas, alta resolução do sistema por fotopico, baixo limite de detecção, padrões emissores gama certificados e a eficiência de contagem por energia do fóton (Júnior, 2009).

A eficiência de contagem, no seu sentido amplo, é uma medida da capacidade de um detector de registrar uma emissão radioativa. É usual classificar a eficiência como total ou de pico, ambas podendo, ainda, ser subdivididas em eficiência intrínseca, absoluta ou relativa. A eficiência absoluta total é a probabilidade de que um gama emitido por uma fonte específica seja registrado pelo detector. A eficiência relativa toma como referência de comparação àquela obtida em um detector de NaI(Tl), em condições padronizadas (Tsoulfanidis, 2010). A eficiência de contagem de um detector gama, seja ele um cintilador ou um detector do estado sólido, depende da energia do fóton a ser contado, da geometria do sistema fonte-detector e das características físicas do detector. A Figura 1 mostra uma típica curva de eficiência para um detector de germânio hiperpuro (HPGe).

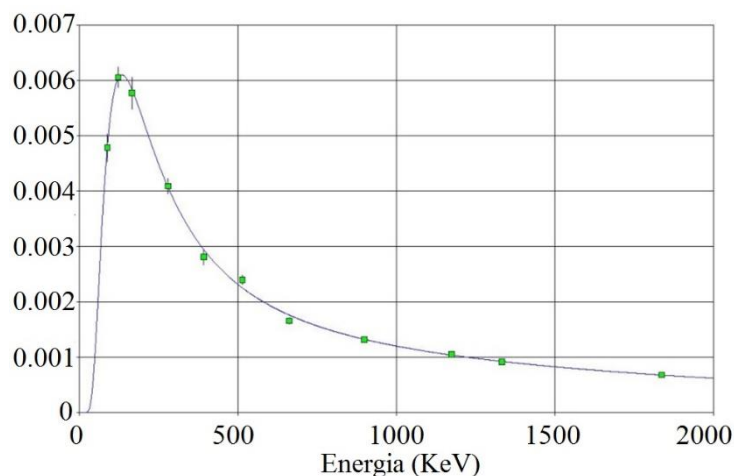


Figura 1: Típica curva de eficiência para um HPGe obtida com software Genie 2K

A eficiência declarada pelos fabricantes de detectores HPGe é uma eficiência relativa, obtida pela razão entre a eficiência absoluta do pico de energia total para o pico de 1.33 MeV de uma fonte pontual de  $^{60}\text{Co}$  posicionada a 25 cm do detector de germânio, e a sua eficiência

absoluta correspondente obtida em um detector cintilador de iodeto de sódio dopado com tálio – NaI(Tl), medindo 7.6 cm x 7.6 cm (diâmetro x altura do cilindro), nas mesmas condições. A eficiência absoluta ( $E_f A_b$ ) do pico de energia total é definida pela equação 1 (Tsoulfanidis, 2010):

$$E_f A_b = \frac{\text{Número total de contagens sob o pico}}{\text{Número total de fótons emitidos pela fonte}} \quad (1)$$

O objetivo principal deste trabalho foi utilizar um código baseado no método de Monte Carlo -MCNPX- para reproduzir as condições necessárias ao cálculo da eficiência relativa de um detector HPGe e comparar o valor de eficiência declarada no manual do fabricante com o obtido por intermédio do modelo computacional. Posteriormente, pretende-se utilizar a mesma modelagem para obter curvas de eficiência dentro de um ambiente virtual.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Detector HPGe

O detector objeto deste trabalho foi um HPGe Camberra®, modelo GC3020 com 30% de eficiência relativa declarada pelo fabricante, pertencente ao Laboratório de Neutronografia em Tempo Real (LNRTR) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Seus principais parâmetros estão disponíveis no manual do fabricante que acompanha o produto, e considerou-se que estes sejam uma representação fiel das reais dimensões do aparelho. A Figura 2 mostra algumas das dimensões disponibilizadas pelo fabricante e utilizadas neste trabalho para criação do modelagem computacional do detector. Algumas medidas não declaradas no manual foram estimadas. Não estão disponíveis dados relativos à eletrônica interna do detector.

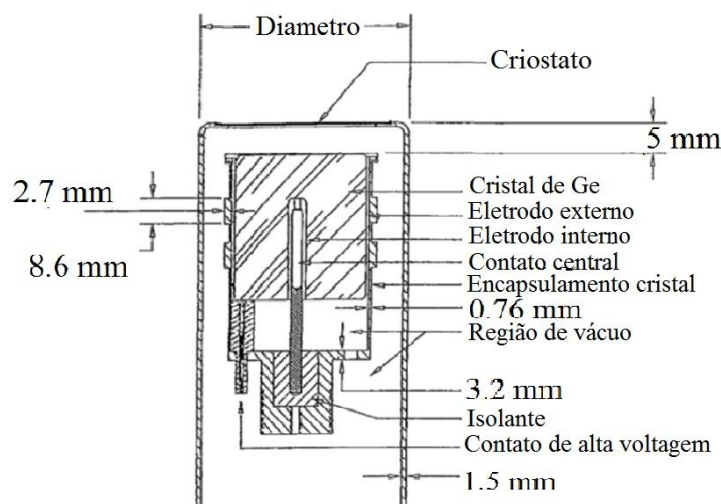


Figura 2. Geometria interna do detector HPGe. Figura obtida no manual do fabricante.

## 2.2 Simulação no MCNPX

Utilizou-se o código MCNPX (Pelowitz, 2005) como ferramenta para criação do modelo computacional deste trabalho. Os dados referentes à geometria e aos materiais presentes no detector foram obtidos no manual do fabricante. As composições químicas dos materiais presentes no modelo foram obtidas da literatura (McConn, 2011). A Figura 3 apresenta uma imagem em 3D e uma vista em corte do sistema gerado pelo software de interface Vised (Schwarz, 2007), que acompanha o código MCNPX, podendo-se identificar o cristal de germânio (volume ativo), e os principais componentes internos. Por se tratar de um equipamento razoavelmente novo, mantido constantemente em baixas temperaturas, assumiu-se que não houve variação da camada morta original informada pelo fabricante.

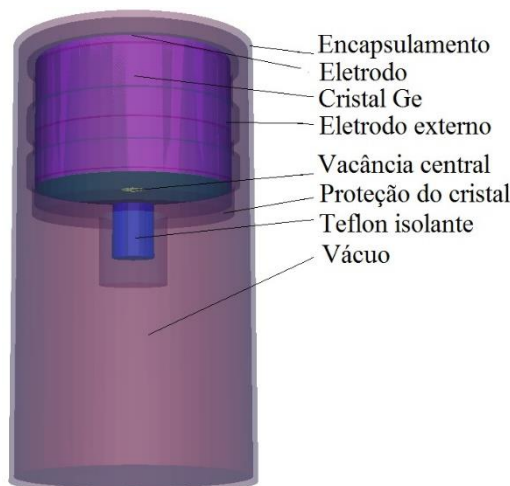


Figura 3. Imagem tridimensional do detector modelado (Schwarz, 2007).

Utilizou-se o *tally f8* para obtenção do espectro apresentado na Figura 4. Foram utilizados 8186 canais divididos de forma a reproduzir a metodologia padrão para espectrometria usada no LNRTR, que utiliza o software Genie 2K. Utilizou-se ainda no modelo computacional a função GEB (*Gaussian Energy Broadening*) que permite modificar os pulsos obtidos por canal através da aplicação de uma função gaussiana, a fim de reproduzir no modelo computacional a resolução experimental do detector.

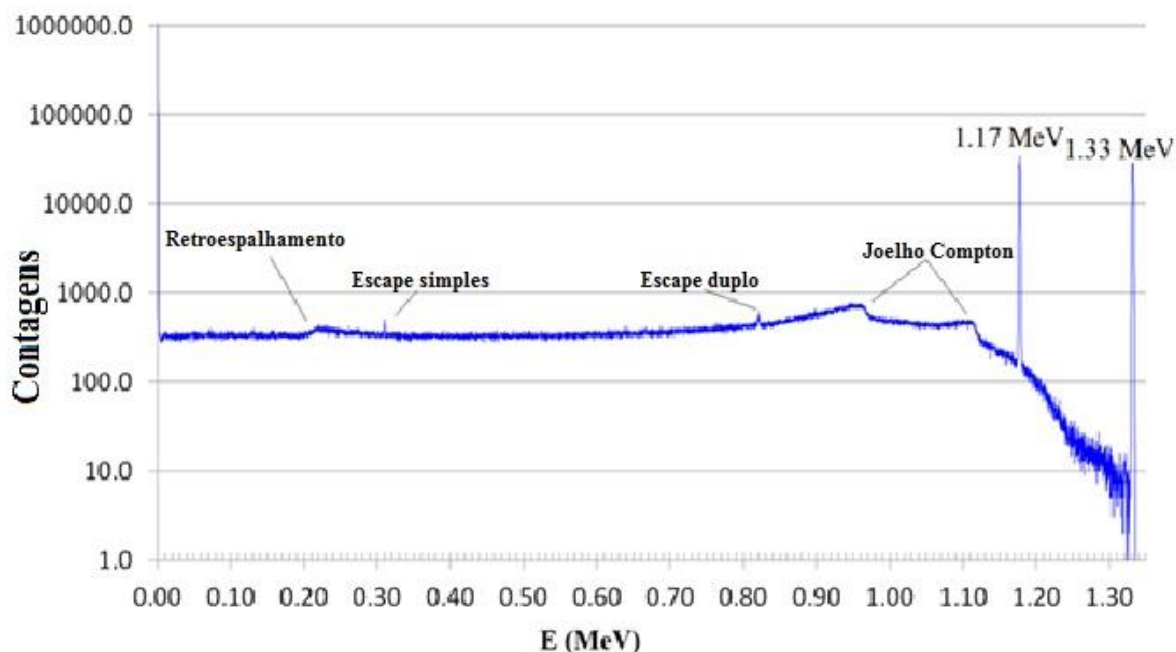


Figura 4. Espectro obtido em ambiente computacional utilizando o código MCNPX.

A função GEB é definida pela equação (2):

$$FWHM = a + b\sqrt{E} + cE^2 \quad (2)$$

Na equação 2, FWHM é a largura a meia altura de um determinado fotopico de energia E (MeV). Os parâmetros a, b e c foram obtidos numericamente a partir da equação 2 e dos valores experimentais informados no manual do fabricante, conforme tabela 1. O valor de FWHM para 1.17 MeV foi obtido por interpolação linear.

Tabela1. Valores de FWHM do detector HPGe e os parâmetros da função GEB calculados numericamente para presente trabalho.

Energia (KeV)	FWHM (KeV)	Parâmetros da função GEB
122	1.066	a = 9.893. 10 <sup>-4</sup>
1173	1.7105	b = 4.815. 10 <sup>-5</sup>
1332	1.808	c = 162.203

Finalmente, modelou-se uma fonte puntiforme de <sup>60</sup>Co posicionada a 25 cm do detector, centrada no eixo de simetria. Foram simulados 1,6x10<sup>9</sup> emissões de fótons pela fonte, obtendo-se incertezas menores que 5% em todos os canais. Todas as simulações foram feitas em um computador Intel core 2 Duo com 3.2 GHz e 64 Bits.

### 3. RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O espectro obtido em ambiente computacional é apresentado na Figura 4, onde pode-se notar boa concordância com os espectros disponíveis na literatura (Knoll, 1989). A partir desse espectro calculou-se a eficiência absoluta do pico de energia total do fotopico de 1,33 MeV do  $^{60}\text{Co}$  utilizando-se a equação 1. A correspondente eficiência absoluta para o fotopico de 1,33 MeV que seria obtida em um detector de NaI(Tl), nas mesmas condições, foi obtida a partir de dados da literatura (Tsoufanidis, 2010). A razão calculada entre a eficiência do modelo computacional e a do valor de referência foi 34.85%, que corresponde à eficiência calculada para o detector HPGe em questão. A resolução obtida experimentalmente e declarada no manual é de 32.2%. Os resultados são mostrados na tabela 2.

Tabela2. Resultados da eficiência calculada

Eficiência absoluta calculada	Eficiência absoluta do NaI(Tl) (Tsoufanidis, 2010)	Eficiência relativa	Eficiência do manual	Desvio
$4,182 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$	34,85%	32,2%	8,2%

A diferença entre o resultado declarado pelo fabricante e o obtido no modelo computacional deste trabalho pode estar relacionada a diversos fatores tais como às aproximações feitas na modelagem do detector. O espaçamento dos eletrodos, a ausência da geometria de circuito interno na modelagem, a hipótese da espessura original da camada morta no detector modelado são exemplos de incertezas que podem interferir no resultado.

Conclui-se, entretanto, que apesar da incerteza mencionada houve boa concordância entre o resultado obtido computacionalmente e o dado experimental declarado pelo fabricante. Para ajustar ainda mais a eficiência calculada computacionalmente e os dados experimentais pode-se, por exemplo, modificar a espessura da camada morta até que a aproximação seja considerada suficiente (Corrêa, 2013). A camada morta do detector diminui o volume ativo do cristal de germânio e sua espessura tende a aumentar com o passar do tempo, necessitando ser recalculada periodicamente.

Em uma próxima etapa, pretende-se estudar o ajuste das curvas de eficiência total utilizando três metodologias diferentes: eficiência total a partir do modelo padrão fornecido pelo IRD, eficiência total a partir do software matemático LabSOCS fornecido pela Camberra e eficiência a partir de um modelo simulado em MCNPX. No futuro pretende-se tornar possível aproximar com uma boa confiabilidade o cálculo de atividade para geometrias complexas, inviáveis de construir para um modelo padrão e indisponíveis em softwares matemáticos, a partir da eficiência calculada por simulação em Monte Carlo.



### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, processo nº E-26/112.087/2012) e ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento) pelo suporte financeiro, sem o qual a realização deste trabalho seria inviável.

### **REFERENCIAS**

- Britton, R; Davies, A. V; *Characterisation of a SAGe well detector using GEANT4 and LabSOCS. Nucl Instrum Meth A*, 2015.
- Cember, H; Johnson, T. M; *Introduction to Health Physics*. 3 ed. **McGraw-Hill, New York**, 1996.
- Corrêa, G. J. S; *Simulação de detecção de fótons em sistema espectrométrico de alta pureza usando o código MCNPX*. Dissertação M.Sc. **IEN/CNEN**, 2013.
- Júnior, J. A. S; Amaral, R. S.; Silva, C. M; Menezes, R. S. C; Bezerra, J. D; *Estudo comparativo entre os detectores HPGe e NaI(Tl) na determinação de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  em amostras de solo*. **Scientia Plena**, 2009.
- Knoll, G. F; *Radiation detection and measurement*, 2 ed, **John Wiley & Sons**, 1989.
- McConn, R. J, Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, Rev 1, **Pacific Northwest National Laboratory**, United States of America, 2011.
- Pelowitz, D.B. (Ed.); *MCNPX User's Manual*. Version 2.5.0. **Los Alamos National Laboratory report LA-CP-05-0369**, 2005.
- Rodrigues, J. L; Kastner, G. F; Ferreira, A. V; *Determinação de curvas de eficiência para detector HPGe em diferentes geometrias de contagem*. **International Nuclear Atlantic Conference**, 2011.
- Schwarz, R; *MCNPX visual editor manual*, 2007.
- Tsoufanidis, N; Landsberger, S; *Measurement and Detection of Radiation*, 3ª Edition, **CRC Press**, 2010.

## DETERMINATION OF RELATIVE EFFICIENCY OF A DETECTOR USING MONTE CARLO METHOD.

**Abstract:** *High-purity germanium detectors (HPGe) are mandatory tools for spectrometry because of their excellent energy resolution. The efficiency of such detectors, quoted in the list of specifications by the manufacturer, frequently refers to the relative full-energy peak efficiency, related to the absolute full-energy peak efficiency of a 7.6 cm x 7.6 cm (diameter x height) NaI(Tl) crystal, based on the 1.33 MeV peak of a  $^{60}\text{Co}$  source positioned 25 cm from the detector. In this study, we used MCNPX code to simulate an HPGe detector (Canberra GC3020), from Real-Time Neutronography Laboratory of UFRJ, to survey the spectrum of a  $^{60}\text{Co}$  source located 25 cm from the detector in order to calculate and confirm the efficiency declared by the manufacturer. Agreement between experimental and simulated data was achieved. The model under development will be used for calculating and comparison purposes with the detector calibration curve from software Genie2000™, also serving as a reference for future studies.*

**Keywords:** *HPGe, MCNPX, radiation detection, Genie2K*