



## Comparação entre métodos de simulação física e matemática para calibração de detetor de cintilação, visando à determinação da radionuclídeos de alta energia no corpo humano

J.Q. Mello; A.L.A. Dantas; A.P.F. Almeida; J.G. Hunt; B.M. Dantas

*Divisão de Dosimetria/Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 22783-127, Rio de Janeiro-RJ, Brasil*

*jquince@bolsista.ird.gov.br*

---

### ABSTRACT

A monitoração *in vivo* de emissores de fótons requer calibração prévia dos detetores de forma a se obter fatores que relacionam a taxa de contagem obtida na medição do indivíduo com a atividade presente no corpo. Neste trabalho foram comparados dois métodos de calibração de um detetor de cintilação NaI(Tl)3x3 para determinação *in vivo* de  $^{40}\text{K}$ : (i) método experimental, utilizando um simulador físico-antropomórfico denominado BOMAB e (ii) método matemático, utilizando o software VMC (Visual Monte Carlo). Ambos os métodos têm como objetivo a simulação da geometria de distribuição do radionuclídeo no corpo humano e interação dos fótons com o detetor. Os resultados obtidos apresentam as semelhanças e limitações dos métodos avaliados, para as condições de medição utilizadas.

Palavras-chave: fator de calibração, simulador físico, radionuclídeos.

---

### 1. INTRODUCTION

A determinação de radionuclídeos emissores de fótons de alta energia no corpo humano, através de métodos de monitoração *in vivo* requer a aplicação de técnicas específicas de calibração dos detetores visando à obtenção de fatores de calibração. Tais fatores convertem a taxa de contagem dos fótons em atividade do radionuclídeo presente no corpo do indivíduo sendo monitorado. Os

fatores de calibração são obtidos experimentalmente com simuladores físicos antropomórficos contendo atividades certificadas dos radionuclídeos de interesse para a área de dosimetria interna ocupacional de rotina ou de acidentes (IAEA, 2004).

Um método alternativo para obter os fatores de calibração consiste na simulação matemática do simulador e da interação dos fótons com o detetor, utilizando o Método de Monte Carlo (Hunt et al, 2000).

Este trabalho tem como objetivo comparar os fatores de calibração para medida de  $^{40}\text{K}$  no corpo humano com detetor NaI(Tl)3x3, utilizando o método experimental e a simulação matemática.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação do simulador BOMAB. Para determinação do fator de calibração através do método experimental, foi utilizado um simulador BOMAB (HML, 1990; Kramer, 1995), preenchido com solução calibrada de  $^{40}\text{K}$ . Foram preparados, no Laboratório de Monitoração In Vivo do IRD (LABMIV), 80 litros de solução concentrada de cloreto de potássio comercial. Desta solução estoque, uma amostra de 1 litro foi transferida para um recipiente de polietileno e analisada no Laboratório de Bioanálises do IRD, tendo sido determinada a atividade de  $^{40}\text{K}$  de (2530 +/- 255) Bq/L.

Contagem do simulador. O simulador BOMAB foi então preenchido com 57,5 litros da solução estoque, perfazendo uma atividade total de 145475 Bq. O simulador foi então posicionado na sala de monitoração de alta atividade do LABMIV do IRD, na geometria de corpo inteiro para contagem com detetor NaI(Tl)3x3, conforme apresentado na Figura 1.

**Figura 1:** Simulador de corpo inteiro BOMAB posicionado para contagem



Foram realizadas seis séries de cinco contagens consecutivas de 30 minutos do simulador BOMAB em posições adjacentes ao longo do eixo longitudinal do simulador. As contagens foram iniciadas em um ponto localizado a 5,5 cm a partir do topo do recipiente que representa a cabeça do simulador BOMAB, movimentando-se o suporte do detetor horizontalmente 15 cm entre cada posição. Foi realizada também uma série de cinco contagens do BG (background da sala vazia), visando ao cálculo da taxa de contagem líquida na região de interesse do  $^{40}\text{K}$  [Canais: 488 a 548; Energia (keV): 1374,2 a 1547,4].

Cálculo do fator de calibração. Foi calculada a média de cada série de cinco contagens, e deste valor subtraído o BG médio. Os valores resultantes em cada posição foram divididos pelo tempo de contagem (1800 segundos), obtendo-se assim a taxa de contagem líquida, em cps. Os valores de cps foram divididos pela atividade de  $^{40}\text{K}$  contida no simulador, obtendo-se assim o fator de calibração, em cps/Bq, referente a cada posição. Este procedimento experimental consiste no método convencional para determinação do fator de calibração.

Simulação Matemática. Foi utilizado o software VMC, escrito em linguagem MS-Visual Basic (Hunt, 2000), para obtenção dos fatores de calibração através do método de simulação matemática. O software permite, entre outras funções, simular a distribuição homogênea de radionuclídeos de alta energia na geometria de corpo inteiro.

O software foi instalado em um Notebook Sony Vaio equipado com processador Intel Centrino-2 e memória RAM de 3 Gigabytes.

Foi realizada uma série de seis simulações com 50 milhões de histórias, variando-se a coordenada “x” (posição horizontal ao longo do eixo central do simulador matemático) e mantendo-se fixa a coordenada “z” em 34.9 cm (distância entre a face frontal do detetor NaI(Tl)3x3 e o plano base onde se apoia o simulador).

A figura 2 representa a simulação da medição de um corpo humano contendo  $^{40}\text{K}$  distribuído uniformemente, usando detetor NaI(Tl)3x3.

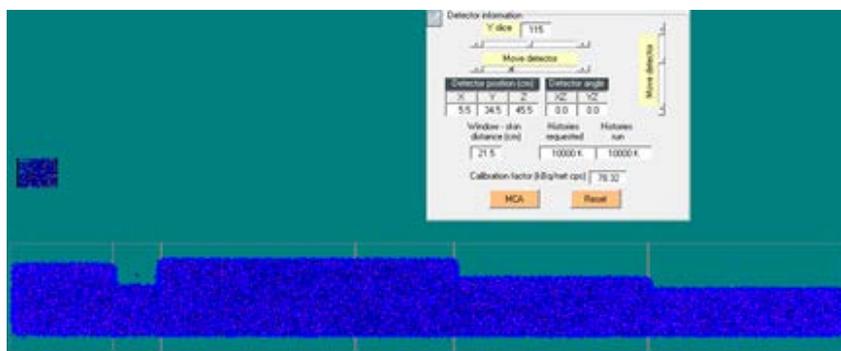


Figura 2. Simulação da medição do simulador BOMAB contendo  $^{40}\text{K}$  uniformemente distribuído. Os pontos amarelos representam as interações dos fótons por efeito fotoelétrico e os azuis o efeito Compton

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 apresenta a os fatores de calibração obtidos pelo método experimental com auxílio do simulador BOMAB e pelo matemático utilizando-se o software VMC.

Tabela 2. . Fatores de calibração do detetor NaI(Tl)3x3 para medição de  $^{40}\text{K}$  no corpo inteiro, obtidos pelo método experimental e por simulação matemática.

Posição	FC (cps/Bq) x 10 <sup>-5</sup>		R (VMC/BOMAB)
	BOMAB	VMC	
1	1.04	1.55	1.48
2	1.42	2.45	1.73
3	2.13	3.12	1.46
<b>4</b>	<b>2.55</b>	<b>3.64</b>	<b>1.43</b>
5	2.74	4.05	1.48
6	2.61	3.88	1.49

Entre os valores apresentados na tabela 2, destaca-se a posição 4, correspondente ao centro do simulador, onde o valor de FC, gerado por simulação matemática com o software VMC mais se aproximam do valor experimental de referência obtido com o BOMAB.

De acordo com o critério de avaliação de desempenho de ensaios, sugerido pela ANSI (1996), observa-se que, apesar das diferenças observadas entre os valores obtidos pelo método experimental e por simulação computacional, excetuando-se o FC da posição 2, todos os demais se encontram no intervalo de aceitação ( $0,75 < R < 1,5$ ).

### 4. CONCLUSÕES

As discrepâncias observadas entre os valores experimentais e teóricos sugerem a necessidade de ajustes no formato do simulador matemático gerado pelo software VMC em relação às sessões do simulador BOMAB assim como das características físicas do detetor, o que possivelmente irá proporcionar uma maior aproximação entre os resultados experimentais e teóricos. Tais diferenças são mais críticas, quanto mais próximo é posicionado o detetor em relação ao simulador, resultando em sensíveis diferenças nos valores de FC nestas condições de medição e simulação.

Observa-se também que a taxa de contagem na região de interesse devido ao  $^{40}\text{K}$  presente no ambiente pode variar dependendo da posição de medição ao longo do eixo horizontal do

simulador. Esta flutuação pode variar pendendo do volume de líquido presente da seção do BOMAB que funciona como blindagem entre o solo e o detetor. Assim, supõe-se que a radiação de fundo deve ser melhor caracterizada nas diferentes posições de medição, de forma a se obter valores mais consistentes de taxa de contagem líquidas a serem usadas no cálculo dos fatores de calibração em cada posição do eixo horizontal do BOMAB.

Acredita-se que o aprimoramento da simulação matemática de técnicas de monitoração *in vivo* permitirá, em um futuro próximo, a obtenção de fatores de calibração aplicáveis a uma grande variedade de radionuclídeos e em diferentes geometrias e detetores. Este tipo de avanço poderá disponibilizar um método de baixo custo e fácil utilização, tanto em monitoração ocupacional de rotina quanto em situações de acidentes envolvendo a exposição interna a radionuclídeos emissores gama.

## REFERÊNCIAS

ANSI - American National Standards Institute. **Performance Criteria for Radiobioassay**, ANSIN 13.30, New York. 1996.

HUNT, J. G; Malátová, I.; Fontánova, S.; Dantas, B. M. Calibration of In Vivo Measurement Systems Using a Voxel Phantom and the Monte Carlo Technique. **Radiation Protection Dosimetry** . , v.89, p.283 - 286, 2000.

IAEA - International Atomic Energy Agency. **Methods for Assessing Occupational Radiation Doses due to Intakes of Radionuclides**. IAEA Safety Reports Series No. 37. 2004.

Kramer G. H. The Canadian Whole Body Counting Intercomparison Program: A Summary Report for 1989-1993. **Health Physics**, 69(4) p.560-565, 1995

**Human Monitoring Laboratory. Phantoms. Technical Document**. HMLTD-90-I, Ottawa, Canada, 1990