

## Determinação da Radiação Espalhada no Projeto de um Laboratório de Calibração com Nêutrons

Tallyson S. Alvarenga<sup>1</sup>, Lucio P. Neves<sup>1</sup>, Ana P. Perini<sup>1</sup>, Matias P. Sanches<sup>1</sup>,  
Claudio A. Federico<sup>2</sup> e Linda V.E. Caldas<sup>1</sup>

*1 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN), São Paulo, Brasil.*

*2 Instituto de Estudos Avançados, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA/IEAv), São Paulo, Brasil.*

**Resumo.** Nos últimos anos, no Brasil houve um crescimento considerável no número de detectores para radiação de nêutrons, principalmente devido ao aumento do uso de técnicas na indústria, área médica, prospecção de petróleo e na pesquisa científica que utilizam fontes emissoras de nêutrons. Conseqüentemente, há um concomitante aumento na demanda pela calibração dos instrumentos de medição, em conformidade com a norma NE 3.02 da CNEN. Para atender a esta demanda crescente, no Brasil só há um laboratório de calibração de detectores de radiação de nêutrons, localizado no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, com uma demanda muito grande de serviços com este tipo de radiação. Neste contexto, o Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN/CNEN-SP, que já oferece serviços de calibração de detectores de radiação, projetou um novo laboratório de calibração para detectores de nêutrons. Como parte do processo de caracterização das futuras instalações do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN, neste trabalho foi avaliada a influência da radiação espalhada pelos componentes estruturais da sala: piso, teto, paredes, portas, solo e ar que circundam a sala. Para esta avaliação, foram empregadas simulações de Monte Carlo utilizando o código MCNP5. Foram avaliados oito pontos de medição, em relação à posição da fonte de <sup>241</sup>AmBe. Esta avaliação foi realizada para os valores de equivalente de dose ambiental, H\*(10), e fluxo de nêutrons. Os resultados mostram uma contribuição de 19,4% para o H\*(10) e de 40,3% para o fluxo de nêutrons, sendo que estes valores estão de acordo com os resultados de outros laboratórios de calibração de nêutrons.

**Palavras-chave:** proteção radiológica, calibração de detectores de nêutrons, instrumentação, simulação de Monte Carlo.

### ***Determination of the scattered radiation on the project of a neutron calibration laboratory***

**Abstract.** During the last years, there was a considerable growth in the number of neutron radiation detectors in Brazil, mainly due to the increase of the techniques involving neutron radiation in industry, medicine, oil prospection and scientific research. Consequently, there was an increase on the calibration services of neutron radiation detectors in accordance with the Brazilian NE 3.03 CNEN standard. To supply this high demand, in Brazil there is only one calibration laboratory for calibrating this type of detectors, located at Rio de Janeiro, which has a high demand of calibration services. In this context, the Calibration Laboratory of the IPEN, São Paulo, that already offers calibration services for other radiation detectors, has projected a new Calibration Laboratory for Neutron Detectors. As part of the characterization process of its near future installations, in this work the influence of the scattered radiation by the building compounds was evaluated: floor, roof, walls, doors and surrounding components as soil and air, employing Monte Carlo simulations (MCNP5 code). Eight measuring positions were evaluated, in relation to the <sup>241</sup>AmBe radioactive source. During this evaluation the values of ambient dose equivalent, H\*(10), and neutron flux were studied. The results showed a contribution of 19.4% for the H\*(10) values and of 40.3% for the neutron flux. These values are in agreement with those from the literature.

**Keywords:** radiation protection, calibration of neutron detectors, instrumentation, Monte Carlo simulation.

### **1. Introdução**

Os campos neurônicos estão presentes nas instalações nucleares tais como reatores de pesquisa ou de potência e nas unidades de tratamento de combustível nuclear. Também estão presentes na radiação cósmica, nas proximidades de aceleradores de partículas, em algumas

aplicações médicas e em algumas aplicações industriais.

Atualmente, com aumento do uso de técnicas na indústria, área médica (aceleradores lineares para produção de radiofármacos), pesquisa científica, prospecção de petróleo que utilizam radiação de nêutrons, é crescente o número de trabalhadores potencialmente expostos a esta radiação,

umentando o número de trabalhadores que necessitam de monitoração individual.

A medição confiável da radiação de nêutrons é uma tarefa muito difícil devido ao grande intervalo de energia de nêutrons, seus mecanismos de interação com a matéria complexos e dependentes da energia e, conseqüentemente, a resposta imperfeita da maioria dos instrumentos de medição de radiação de nêutrons disponíveis comercialmente. Para que os instrumentos tenham suas medições confiáveis, eles precisam ser caracterizados e calibrados periodicamente [1].

A calibração consiste num conjunto de operações que estabelece a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores obtidos por um sistema padrão. De acordo com a norma NE 3.02 da CNEN [2] é obrigatória a calibração dos instrumentos de medição por entidades autorizadas, em conformidade com as normas específicas, para garantir que o instrumento esteja trabalhando devidamente [3]. Os laboratórios de calibração devem ser muito bem caracterizados, e as condições de calibração muito bem controladas.

No Brasil só há um laboratório de calibração de detectores de radiação de nêutrons, localizado no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD-CNEN, Rio de Janeiro), com uma demanda muito grande de serviços com este tipo de radiação. Assim, tendo em vista que no IPEN existem muitos equipamentos detectores de radiação de nêutrons, utilizados pelos trabalhadores dos dois reatores nucleares e dois cíclotrons, além de muitas fontes radioativas, há necessidade da montagem de um segundo laboratório de calibração com nêutrons, no IPEN. Este laboratório pretende atender à demanda interna e externa de calibração de detectores para nêutrons.

Como parte do processo de caracterização das futuras instalações do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN, neste trabalho foi avaliada a influência da radiação espalhada pelos componentes estruturais da sala: piso, teto, paredes, portas, solo e ar que circundam a sala.

A radiação espalhada por estes elementos estruturais do laboratório pode contribuir significativamente para o campo de radiação num certo ponto, e, portanto, influenciar a leitura de um instrumento a ser calibrado. Apesar do processo de calibração ser realizado pelo método de substituição [4], em que a radiação espalhada irá influenciar o dosímetro padrão e o dosímetro a ser calibrado da mesma forma, é necessário o conhecimento da intensidade desta componente, a fim de montar o sistema de calibração na posição em que a radiação espalhada tenha a menor influência.

O estudo proposto tem como objetivo caracterizar os nêutrons espalhados pela fonte de calibração de  $^{241}\text{AmBe}$  em diferentes posições de calibração. Para esta avaliação, foram empregadas simulações de Monte Carlo, pois

estas permitem a avaliação das posições de calibração em situações que não podem ser avaliadas de forma experimental.

## 2. Material e Métodos

A simulação do laboratório de nêutrons do IPEN foi realizada com o código de Monte Carlo MCNP5 [5]. Este código foi desenvolvido e é mantido pelo Laboratório Nacional de Los Alamos (EUA), e é um código multipropósito que pode ser utilizado para transporte (ou transporte acoplado) de nêutrons, fótons e elétrons.

Uma das principais vantagens deste código reside no fato de que arranjos geométricos complexos podem ser descritos.

Foram simuladas  $2 \times 10^9$  histórias, com o *tally* F4, com o objetivo de obter resultados com incertezas menores. A geometria utilizada foi baseada nas plantas baixas do laboratório, disponíveis no IPEN, bem como medições no local, para garantir que todas as dimensões utilizadas na simulação estejam em concordância com as do laboratório.

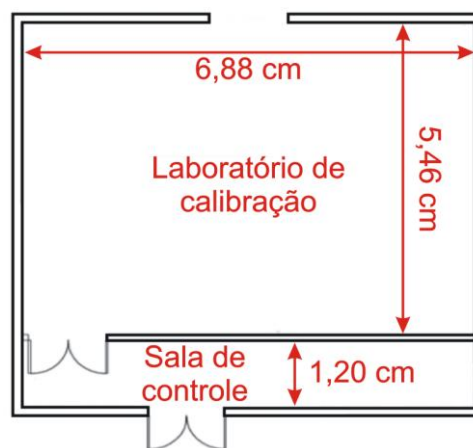


Figura 1. Planta baixa das futuras instalações do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN/CNEN-SP.

O projeto do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN é apresentado na Figura 1. A instalação fica em um Bunker (local semi-enterrado), que possui diversas salas com fontes de radiação gama. A sala que irá abrigar o Laboratório de Nêutrons possui dimensões de 6 m x 6 m e paredes de concreto com espessura de 15 cm, revestidas com *drywall* (tipo de calcário) com 2,5 cm de espessura. A sala possui uma altura de 2,8 m, sendo o teto de concreto, com 15 cm de espessura, e o piso de granito, com 5 cm de espessura.

Os materiais que compõem o Laboratório de Calibração de Nêutrons são ar atmosférico, *drywall*, concreto, madeira, solo e granito. A constituição destes materiais seguiu a descrição da construção do laboratório, e sua inserção no código MCNP5 foi feita com base nos dados do relatório PNNL-15870 [6].

Para a avaliação da influência da radiação espalhada devido à interação dos nêutrons com os elementos estruturas do laboratório, foram

realizadas simulações com a sala completa e sem a presença dos elementos estruturais (utilizando apenas o ar que preenche a sala de calibração). Os elementos avaliados foram: paredes, cobertura de *drywall*, portas, piso, teto, terra e ar circundantes à sala. Foram avaliados oito pontos de medição, em relação à posição da fonte de  $^{241}\text{AmBe}$ : 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm e 300 cm. Estes pontos de medição são esferas de 1,0 cm de raio e preenchidas com o mesmo material que preenche a sala (ar atmosférico).

A fonte radioativa e todos os pontos de avaliação estão a uma altura de 140 cm do piso, que é a altura a ser utilizada nos procedimentos de calibração. O espectro da fonte radioativa, utilizado durante as simulações, foi obtido da Norma ISO 8529-1 [4].

### 3. Resultados

As posições de medição, bem como a geometria da sala, utilizadas no código MCNP5 são mostradas na Figura 2.

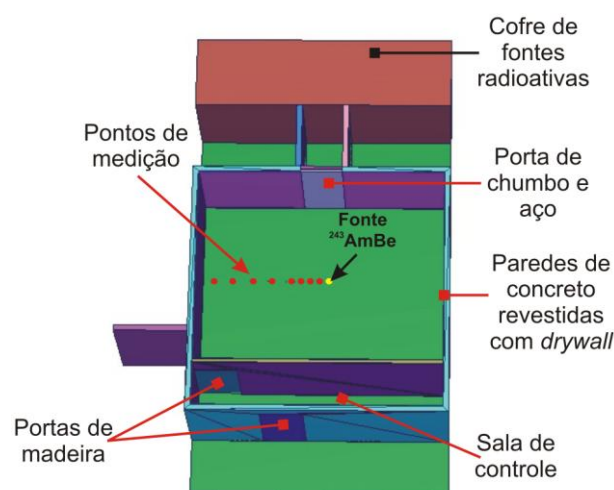


Figura 2. Geometria das instalações do Laboratório de Calibração de Nêutrons, utilizada nas simulações de Monte Carlo com o código MCNP5.

Em cada um dos oito pontos de medição foi determinado o espectro de nêutrons na sala com todos os seus componentes e na sala sem os componentes estruturais. Para evitar incertezas advindas da mudança da geometria no código de Monte Carlo, todas as superfícies e células foram mantidas, mas a densidade dos materiais foi considerada nula.

O espectro determinado nos pontos de medição foi convertido em equivalente de dose ambiente,  $H^*(10)$ , utilizando os coeficientes de conversão da ICRP 74 [7]. Os valores do fluxo de nêutrons foram obtidos diretamente do código MCNP5.

A influência da radiação espalhada foi determinada como sendo a razão entre os valores de  $H^*(10)$  da sala sem os componentes estruturais e os valores de  $H^*(10)$  da sala completa. O mesmo procedimento foi adotado para a avaliação

da influência sobre o fluxo de nêutrons. Os resultados da influência da radiação espalhada nos valores de  $H^*(10)$  e do fluxo de nêutrons dos oito pontos de medição são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Influência da radiação espalhada na determinação da  $H^*(10)$  e do fluxo de nêutrons nos oito pontos de medição.

Distância da fonte de $^{241}\text{AmBe}$ (cm)	Influência (%)	
	$H^*(10)$	Fluxo de nêutrons
25	0,0	0,0
50	6,7	14,9
75	13,3	28,2
100	19,4	40,3
150	36,5	59,0
200	47,6	70,5
250	56,8	78,9
300	61,8	83,3

### 4. Discussão e Conclusões

Com base nos resultados listados na Tabela 1 pode-se verificar que as posições de calibração entre 25,0 cm a 1,0 m apresentam uma influência da radiação espalhada de até 19,4% nos valores de  $H^*(10)$  e de 40,3% nos valores de fluxo. Esta influência é devido à degradação do espectro de nêutrons por causa do espalhamento ocasionado pelos componentes estruturais do laboratório, principalmente o piso e as paredes. Para distâncias de calibração maiores do que 1,0 m, a influência torna-se muito maior.

A calibração dos dosímetros em campos de nêutrons será realizada a distâncias de até 1,0 m da fonte radioativa, tanto para os valores de  $H^*(10)$  quanto para o fluxo de nêutrons.

Com base em resultados obtidos na literatura, como os Laboratórios de Calibração Monju e OEC no Japão [8], que possuem salas e fontes radioativas compatíveis com a estrutura do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN, observa-se que a influência da radiação espalhada a 1,0 m da fonte de radiação é de aproximadamente 40,0%. Este valor só é consideravelmente menor para laboratórios considerados "sem espalhamento", como o Laboratório de Tokai [8]. Neste caso, o chão é revestido com placas dopadas com Boro e paredes de concreto especial. Além disso, este laboratório possui dimensões de 13,0 m x 12,5 m.

Desta forma, pode-se concluir que a estrutura da futura instalação do Laboratório de Calibração de Nêutrons do IPEN está em concordância com os resultados obtidos por outros laboratórios que oferecem o mesmo tipo de serviço.

### Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, FAPESP, CNPq, CNEN e ao Ministério da Ciência e Tecnologia, com o projeto INCT – Metrologia das Radiações na Medicina, pelo apoio financeiro.

### Referências

1. Alberts WG, Dietz E, Guldbakke S. Aspects of combining albedo and track etched techniques for use in individual neutron monitoring, *Radiat Prot Dosim* 1993; 46 (1): 31-6.
2. ISO, International Organization for Standardization. Reference Neutron Radiations- Part 1: Characteristics and Methods of Production, ISO 8529-1, (2000).
3. CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Diretrizes Básicas de Radioproteção, NN-3.01/004, Rio de Janeiro (2011).
4. ISO, International Organization for Standardization, Reference Neutron Radiations – Part2: Characteristics and Methods of Production, ISO 8529-2, (2001).
5. MCNP — A general Monte Carlo N-particle transport code, Version 5. LA-UR-03-1987. 2008. Los Alamos National Laboratory.
6. McConn Jr RJ, Gesh CJ, Pagh RT, Rucker RA, Williams RG. Radiation portal monitor project. Compendium of material composition data for radiation transport modeling. PNNL-15870, Rev. 1, Pacific Northwest National Laboratory, (2011).
7. ICRP 74, International Commission on Radiological Protection, 1996, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, Pergamon Press, Oxford.
8. Takada C, Yoshida T, Saitoh K, Tsujimura N, Mikami S, editors. Calibration of neutron measuring devices in differently sized rooms with different-structural irradiation apparatuses. Proceedings of the IRPA 11. International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, (2011).

**Contato:**

Tallyson S. Alvarenga

[talvarenga@ipen.br](mailto:talvarenga@ipen.br)