

Estudo da correção de espalhamento de nêutrons na calibração do monitor individual de albedo no LN

BM Freitas¹, AX da Silva¹, CLP Maurício², MM Martins²

¹ Programa de Engenharia Nuclear/COPPE/UFRJ; ² Instituto de Radioproteção e Dosimetria

E-mail: bfreitas@nuclear.ufrj.br

Resumo: O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) opera um serviço de monitoração individual de nêutrons com monitores tipo albedo e detectores termoluminescentes (TLD). A maioria dos trabalhadores expostos a nêutrons no Brasil trabalha em campos de ²⁴¹Am-Be. Portanto, um estudo da resposta deste monitor em função do espalhamento de nêutrons para esta fonte é importante para uma correta avaliação. Neste trabalho, foi avaliada a influência da correção de espalhamento no Laboratório de Baixa Espalhamento do Laboratório de Nêutrons do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes na calibração desse monitor nêutrons de albedo para a fonte de ²⁴¹Am-Be.

Palavras-chave: nêutron, monitoração individual, calibração, espalhamento, albedo.

Abstract: The *Instituto de Radioproteção e Dosimetria* (IRD) runs a neutron individual monitoring service with albedo type monitor and thermoluminescent detectors (TLD). Moreover the largest number of workers exposed to neutrons in Brazil is exposed to ²⁴¹Am-Be fields. Therefore a study of the response of albedo dosimeter due to neutron scattering from ²⁴¹Am-Be source is important for a proper calibration. In this work, it has been evaluated the influence of the scattering correction in two distances at the Low Scattering Laboratory of the Neutron Laboratory of the Brazilian National Laboratory (*Laboratório Nacional de Metrologia Brasileira de Radiações Ionizantes*) in the calibration of that albedo dosimeter for a ²⁴¹Am-Be source.

Keywords: neutron, individual monitoring, calibration, scattering, albedo.

1. INTRODUÇÃO

A calibração de um monitor individual tem como objetivo a determinação de uma relação entre a leitura do dispositivo e o valor verdadeiro convencional da grandeza de interesse (VANHAVERE *et al.*, 2001). Em geral a calibração acontece colocando o monitor num

ponto do campo de radiação aonde a grandeza a ser avaliada é muito bem conhecida.

Uma calibração ideal de um dispositivo sensível a nêutrons deveria ocorrer no espaço livre, ou seja, no vácuo e sem nenhum material próximo à fonte de nêutrons e o dispositivo, de modo a não acrescentar nenhuma influência externa na medição (EISENHAUER *et al.*, 1987). Porém, numa situação real de

calibração/irradiação, tem-se a presença do ar, de materiais que fazem parte do arranjo experimental como o suporte das fontes e dos detectores e do próprio laboratório (piso, teto e paredes). A interação entre os nêutrons e estes materiais pode causar espalhamento dos nêutrons, mudando sua direção e energia. Por causa do espalhamento de nêutrons, o espectro de nêutrons medido num ponto do laboratório de calibração, não é o mesmo espectro que é emitido pela fonte de nêutrons (KIM *et al.*, 2010). O espalhamento de nêutrons varia de ponto a ponto no laboratório de calibração e sua contribuição na leitura de um dispositivo sensível a nêutrons não é desprezível e deve ser corrigida (KIM *et al.*, 2010).

O Laboratório de Dosimetria Termoluminescente (LDT) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) opera mensalmente um serviço de monitoração individual de nêutrons desde 1983. O sistema atual de monitoração individual de nêutrons utiliza um monitor individual de albedo de duas componentes. Este monitor é capaz de medir nêutrons térmicos incidentes na face do monitor e nêutrons de albedo. Para medir cada uma dessas componentes do campo de nêutrons, este monitor faz uso de pares de TLD600 (Harshaw $^6\text{LiF:Mg,Ti}$) e TLD700 (Harshaw $^7\text{LiF:Mg,Ti}$). Entre estes pares é empregada uma blindagem de nêutrons feita de carbeto de boro (B_4C). Na figura 1 pode ser vista um corte transversal esquemático deste monitor (Martins *et al.*, 2010).

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência do espalhamento de nêutrons na resposta do monitor individual de albedo, no Laboratório de Baixo Espalhamento (LBE) do Laboratório de Nêutrons (LN), irradiados com uma fonte de $^{241}\text{Am-Be}$. Sendo assim, foi realizada a calibração do monitor na grandeza equivalente de dose individual, $H_p(10,0^\circ)$, levando-se em conta a correção do espalhamento e sem levar.

A maioria dos trabalhadores expostos a nêutrons no Brasil trabalha em campos espalhados e moderados de $^{241}\text{Am-Be}$. Portanto, um estudo da resposta deste monitor em função do espalhamento de nêutrons a partir da fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ é muito importante para uma correta avaliação da dose.

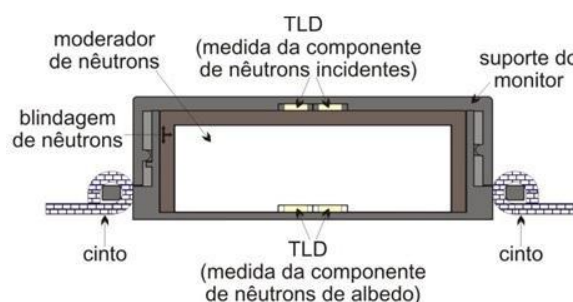


Figura 1: Corte transversal do monitor individual tipo albedo do IRD.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A fonte utilizada de $^{241}\text{Am-Be}$ possui uma taxa de emissão de $1,06 \times 10^7$ n/s e foi calibrada no sistema da padronização primária Banho de Sulfato Manganês (BSM) do LN. O LN é um dos laboratórios integrantes do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI).

Para a medição do espectro desta fonte e do valor verdadeiro convencional de $H_p(10,0^\circ)$, foi utilizado o espectrômetro de multiesferas de Bonner (EMB). O EMB utilizado é composto de um detector cintilador de $^6\text{Li(Eu)}$, moderado por esferas de polietileno de alta densidade de diâmetros de 5,08 (2"), 7,62 (3"), 10,16 (5"), 17,78 (8"), 25,54 (10") e 30,48 (12") cm. Foram realizadas medições com o detector de $^6\text{Li(Eu)}$ moderado por cada uma dessas esferas e também sem moderação nenhuma para duas distâncias fonte-detector: 1,00 e 2,25 m.

Para o desdobramento dos espectros, o software Bonner sphere Unfolding Made Simple

(BUMS) foi utilizado (Sweezy *et al.*, 2002). O software BUMS tem uma interface em HTML e é construído sobre a estrutura do código BUNKI desenvolvido por Johnson e Lowry no Laboratório de Pesquisa Naval (Lowry *et al.*, 1984). Este software além de fornecer o espectro a partir das medições das EMB, também calcula o valor da grandeza operacional $H_p(10,0^\circ)$, utilizando os coeficientes de conversão de fluência para equivalente dose pessoal publicados na ISO 12789-2 (2008).

O método do cone de sombra foi aplicado para avaliação da correção do espalhamento de nêutrons (Freitas *et al.*, 2014). Após a obtenção dos espectros, com e sem o cone de sombra, os fatores de correção relativos ao espalhamento de nêutrons foi calculado.

Para a obtenção dos fatores de calibração do monitor individual de albedo do IRD, estes foram irradiados nos mesmos pontos em que os espectros e as taxas de $H_p(10,0^\circ)$ foram medidas, em um simulador de água da ISO (*ISO slab phantom*). O ponto de referência é o centro da face frontal deste simulador. Foram irradiados 4 monitores de cada vez, fixados na face frontal do simulador, posicionados em um círculo de 15 cm de diâmetro em torno do ponto de referência, conforme recomendado na ISO 8529-3 (2008). A figura 2 mostra a configuração de irradiação. O tempo de irradiação foi ajustado de modo que o valor de $H_p(10,0^\circ)$ fosse da ordem de 2 mSv.

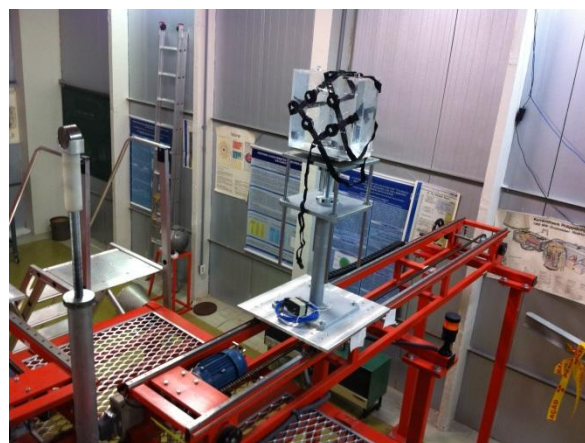


Figura 2: Irradiação dos monitores individuais no LBE/LN/LNMRI, fixados no ISO slab phantom

3. RESULTADOS

Na figura 3 e 4 são mostrados os espectros dos feixes direto, espalhado e total da fonte de $^{241}\text{AmBe}$ empregada neste trabalho.

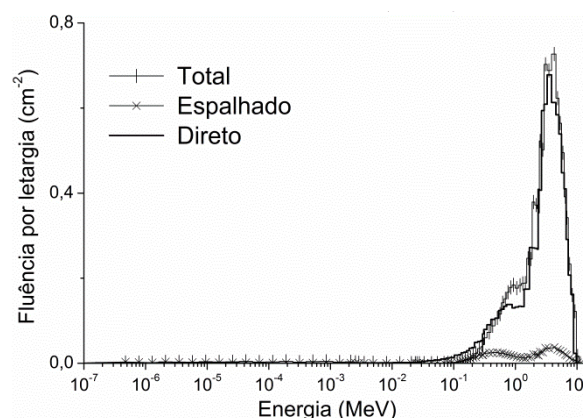


Figura 3: Espectros da fonte $^{241}\text{Am-Be}$ medidos no LBE/LN/LNMRI, para a distância fonte-detector de 100 cm

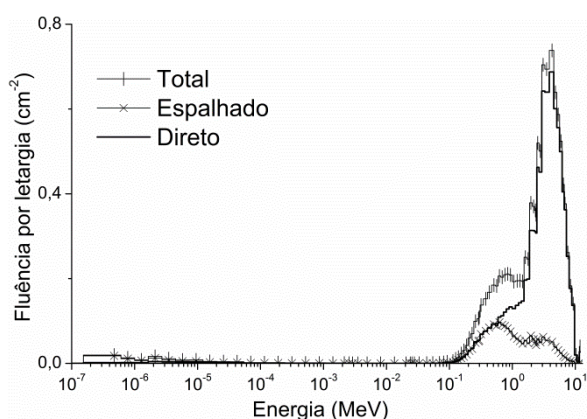


Figura 4: Espectros da fonte $^{241}\text{AmBe}$ medidos no LBE/LN/LNMRI, para a distância fonte-detector de 225 cm

Na tabela 1 são apresentados os valores das taxas teóricas de $H_p(10,0^\circ)$, sem a correção do espalhamento e os valores reais, com correção do espalhamento, para as distâncias de 100 e 225 cm no LBE/LN/LNMRI. Na tabela 2 é apresentado os fatores de calibração (FC) do monitor individual de albedo do IRD, calculados usando os valores verdadeiros convencionados teóricos e reais da grandeza $H_p(10,0^\circ)$.

Tabela 1: Taxas teóricas de $H_p(10,0^\circ)$, sem correção do espalhamento e taxa real, com correção de espalhamento

Distância (cm)	Taxa teórica de $H_p(10,0^\circ)$ ($\mu\text{Sv/h}$)	Taxa real de $H_p(10,0^\circ)$ ($\mu\text{Sv/h}$)
100	124 ± 10	133 ± 11
225	24 ± 2	28 ± 2

Tabela 2: Fatores de calibração (FC) do monitor individual de albedo do IRD para a fonte $^{241}\text{Am-Be}$ nas distâncias de 100 e 225 cm

Distância (cm)	FC sem correção (mSv/mGy)	FC com correção (mSv/mGy)	Diferença (%)
100	$1,65 \pm 0,33$	$1,77 \pm 0,35$	7%
225	$1,43 \pm 0,27$	$1,70 \pm 0,32$	19%

Como pode ser visto na figura 3, o espectro do feixe direto e do feixe espalhado para a distância de 100 cm não apresentam diferenças significantes. Mostrando que para esta distância a contribuição do espalhamento é baixa e assim o fator de calibração do monitor individual permanece o mesmo, com e sem correção do espalhamento, apresentando uma diferença de apenas 7%.

Já para a distância de 225 cm, como mostrado na figura 4, a diferença entre o espectro do feixe direto e do feixe espalhado é significativa. Mostrando que para esta distância a contribuição do espalhamento é considerável e assim o fator de calibração do monitor individual muda, com e sem correção do espalhamento, apresentando uma diferença de 19%.

Porem, na comparação do fator de calibração corrigido para ambas as distâncias, pode-se observar que os mesmos são estatisticamente iguais, dentro das suas incertezas. Mostrando que a não correção do espalhamento na distância de 225 cm fornece uma falsa impressão de que a resposta do monitor individual sofre uma modificação significativa devido à influência do espalhamento nesta distância.

4. CONCLUSÕES

Com bases nos dados apresentados é possível observar a importância de uma correta avaliação dos valores verdadeiros convencionados da grandeza $H_p(10,0^\circ)$. Isso se torna mais evidente para a distância de 225 cm, visto que o espalhamento cresce com o aumento da distância.

Para a distância de 100 cm, a não correção do espalhamento não implica numa alteração do fator de calibração significativa, mostrando que a 100 cm a mudança do espectro não é tão abrupta a ponto de causar uma mudança na resposta do monitor. Porém para a distância de 225 cm, o espectro já é significativamente alterado pelo espalhamento, e assim a não correção do

espalhamento fornece uma falsa impressão da modificação da resposta do monitor individual. Sendo assim, é recomendado que para calibrações com distância maiores de 100 cm, sejam realizadas correções da influência do espalhamento. Atualmente estão sendo estudada a influência do espalhamento para outras distâncias.

O LN/LNMRI tem aplicado grandes esforços para a quantificação do espalhamento para todos os espectros disponíveis neste laboratório e para várias geometrias de irradiação/calibração. Incluindo trabalhos de iniciação científica, mestrado e doutorado. Investindo também em trabalhos na área de simulação com método de Monte Carlo.

7. REFERÊNCIAS

Eisenhauer, Schwartz, R. B., McCall, R. C., Effect of air scatter on calibration of instruments for detecting neutrons, 1987, Radiat. Prot. Dosim., v. 19, pp. 77-84.

Freitas, B.M., Pereira, W.W., Patrão, K.C.S., da Fonseca, E.S e Maurício, C.L.P., Study of neutron scattering contribution on $H_p(10)$ and $H^*(10)$ calibration in the Brazilian National low scattering laboratory, 2014, Radiat. Prot. Dosim., Advance Access published July 1. DOI: 10.1093/rpd/ncu195.

International Organization for Standardization. Reference Neutron Radiations — Calibration of area and personal dosimeters and determination of their response as a function of neutron energy and angle of incidence, 1998, ISO 8529-3, Geneva.

International Organization for Standardization. Reference Radiation Fields — Simulated workplace neutron fields. Calibration fundamentals related to the basis quantities, ISO 12789-2, 2008, ISO 8529-2, Geneva.

Kim, J.H., Park, H., Choi, K.-O., Calibration of neutron personal dosimeters in a realistically simulated neutron irradiation room, 2010, Radiation Measurements, v. 45, pp. 1544-1547.

Lowry, A. K. and Johnson, L. T. Modifications to recursion unfolding algorithms to find more appropriate neutron spectra, 1984, Health Phys. 47, 587-593.

Martins, M.M., Mauricio, C.L.P., da Fonseca, E.S. e da Silva, A. X., Brazilian two-component TLD albedo neutron individual monitoring system, 2010, Radiat. Meas., 45, pp.1509-1512.

Martins, M.M., Mauricio, C.L.P., Pereira, W.W. e da Silva, A. X., Characterization of a two-component thermoluminescent albedo dosimeter according to ISO 21909, 2011, Radiat. Meas., 46, pp.555-560.

Sweezy, J., Hertel, N. e Veinot, K., BUMS - Bonner sphere unfolding made simple: an HTML based multisphere neutron spectrometer unfolding package, 2002, Nucl. Instrum. Meth. A, 476, pp.263-269.

Vanhavere, F., Coeck, M., Vermeersch, F., Procedures for Neutron Scattering Corrections in a Calibration Facility with a Non-Symmetric Set-Up, 2001, Radiat. Prot. Dosim., v. 93, pp. 5-10.