

Anisotropia de Fontes de Nêutrons do Laboratório de Metrologia de Nêutrons

Silva, A.C.F.^{1,2}, F.S.Silva¹, Creazolla, P.G¹, K.C.S.Patrão, E.S.da Fonseca¹, W.W.Pereira¹.

¹ National Metrology Laboratory of Ionizing Radiation LNMRI/IRD. Av. Salvador Allende, s/n, RJ, Brasil.

² Fundação Técnico Educacional Souza Marques – FTESM. Av. Ernani Cardoso, 335, RJ, Brasil.

E-mail: alexander.camargo@oi.com.br

Resumo: As medidas de anisotropia têm como objetivo principal definir a emissão da radiação por diferentes ângulos de uma fonte de nêutrons encapsulada. As medidas foram realizadas usando um detector do tipo *Precision Long Counter* (PLC) no Laboratório de Baixo Espalhamento do LNMRI/IRD. No desenvolvimento do estudo, foram utilizadas fontes de $^{241}\text{AmBe}$ (α, n) 5,92 GBq e $^{238}\text{PuBe}$ (α, n) 1,85 TBq. Os valores encontrados para a anisotropia das fontes são de 8,65% para $^{241}\text{AmBe}$ e 4,36% para $^{238}\text{PuBe}$ à variações no encapsulamento e na geometria de construção da fonte. Os resultados incidirão principalmente na área de radioproteção e em estudos que aperfeiçoarão o processo de medições de rotina em laboratórios e calibrações de instrumentos.

Palavras-chave: metrologia de nêutrons, anisotropia e fonte de nêutrons.

Abstract: The anisotropy measurements have as main objective to define the emission of the radiation by different angles of an encapsulated neutron source. Measurements were performed using a Precision Long Counter (PLC) detector in the *Laboratório de Baixo Espalhamento* of the LNMRI / IRD. In this study were used an $^{241}\text{AmBe}$ (α, n) 5.92 GBq and a $^{238}\text{PuBe}$ (α, n) 1.85 TBq. The anisotropy factor was 8.65% to $^{241}\text{AmBe}$ and 4.36% to $^{238}\text{PuBe}$, due to variations in the source encapsulation. The results in this work will focus mainly on the area of radiation protection and studies that will improve the process of routine measurements in laboratories and instrument calibrations.

Keywords: neutron metrology, anisotropy and neutron source.

1. INTRODUÇÃO

A metrologia de nêutrons ao atuar na calibração de monitores de área necessita utilizar uma fonte de nêutrons padronizada em um sistema absoluto, tal

como o Banho de Sulfato de Manganês (BSM), ou uma fonte que seja calibrada em sistema secundário. Estes dois sistemas permitem, sob condições específicas, a determinação da taxa de emissão da fonte de nêutrons e a estimativa de

incertezas que serão conhecimentos característicos iniciais para a calibração dos monitores de nêutrons⁽¹⁾.

Uma correção a ser considerada para o sistema de calibração que está ligada à fabricação das fontes de nêutrons é a anisotropia. Quando a taxa de emissão de uma fonte de nêutrons se dá de forma isotrópica, não é necessária nenhuma correção. Entretanto, o material radioativo presente em fontes de nêutrons é distribuído e encapsulado em geometrias cilíndricas que levam a pequenas variações na espessura do aço e na distribuição do material radioativo. Isto causa efeitos de anisotropia na emissão de nêutrons, devido à diferenças na taxa de emissão de nêutrons em relação ao eixo axial da fonte^(1,2).

Sendo assim, um procedimento de medição que leve em consideração o fator de anisotropia de fontes de nêutrons contribuirá para a solução de alguns problemas, particularmente com relação à grandes incertezas, associadas a dosimetria de nêutrons para radioproteção. Beneficiando assim, tanto os profissionais da área de radioproteção quanto aqueles que estão expostos a campos de nêutrons, além de servir para ampliar os padrões de nêutrons no Laboratório de Metrologia de Nêutrons (LN) por meio da criação de novas linhas de CMC (*Calibration and Measurement Capability*)^(1,2).

2. METODOLOGIA

2.1. Cálculo de anisotropia

Na ausência de qualquer meio de dispersão, a taxa de fluência de nêutrons, ϕ , em um ângulo θ , medido em relação ao eixo axial do cilindro a um determinado ponto de calibração numa distancia L do centro da fonte, cuja taxa de emissão total absoluta B e $F(\theta)$ é o fator de anisotropia, é

representada pela expressão (1) e sua unidade é dada em $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ^(3,4):

$$\phi(L, \theta) = \frac{BF_i(\theta)}{4\pi L^2} \quad (1)$$

Se a emissão de nêutrons de uma fonte cilíndrica não depender do ângulo azimutal α , mas somente sobre o ângulo θ , uma vez que a emissão de nêutrons varia menos para a direção perpendicular ao eixo ($\theta = 90^\circ$), aplica-se então a expressão (2) em qualquer prática de calibração⁽⁵⁾:

$$B = 2\pi L^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \phi(L, \theta) \sin \theta d\theta \quad (2)$$

Experimentalmente, isso pode ser determinado usando um detector do tipo PLC numa distância de 2 metros do centro da fonte^(3,5). O fator de anisotropia $F(\theta)$ é definido a partir da substituição da expressão (1) na expressão (2) que resultará na equação (3). As medições devem ser realizadas com variações de no máximo 10° .

$$F_i(\theta) = \frac{2\phi(L, \theta)}{\int_{\theta=0}^{\pi} \phi(L, \theta) \sin \theta d\theta} \quad (3)$$

A integral pode ser substituída pela soma dos fatores de anisotropia $F(\theta_\alpha)$, pois ambas as funções na integração apresentam-se contínuas dentro dos limites de integração. Para cada ângulo de medição θ_α , onde $C(L, \theta_i)$ é a taxa de contagem no ângulo θ_i , corrigida para os efeitos de tempo morto numa distancia L e aplicado para todos os ângulos entre $(\theta_{i-1} + \theta_i)/2$ e $(\theta_i + \theta_{i+1})/2$ ^(5,6). Sendo assim, modificando a equação (3) para a equação (4), pode-se avaliar os coeficientes de anisotropia num ângulo Θ_α a partir do eixo da fonte.

$$F_i(\theta_\alpha) = \frac{2C(L, \theta_\alpha)}{\sum_{i=1}^n C(L, \theta_i) \left[\cos \frac{\theta_{i-1} - \theta_i}{2} - \cos \frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2} \right]} \quad (4)$$

Onde:

Θ_α : ângulo de interesse para cada medição;

θ_i : ângulo para cada medição “i”, que varia de 1 a 19, assumindo valores a partir de $\theta_i = (i - 1) \times 10^\circ$;

$F(\theta_\alpha)$: Coeficiente de anisotropia da fonte num ângulo α ;

$C(L, \theta_i)$: Taxa de contagem obtida numa distancia L a partir do PLC;

$C(L, \theta_\alpha)$: Taxa de fluência de nêutrons em uma posição (L, θ) em relação ao centro da fonte para a mesma distância L de uma fonte isotrópica pontual com a mesma taxa de emissão total.

A determinação do fator de anisotropia no ângulo de 90° em relação ao eixo cilíndrico da fonte tem uma importância maior por ser a direção mais usada para a calibração do detector e ter uma variação mínima de emissão com o ângulo⁽⁷⁾.

2.2. Sistema mecânico de movimentação de fontes

A mesa utilizada no sistema de rotação mecânico possui um canal que posiciona a fonte de nêutrons em seu eixo axial, permitindo que possam ser realizadas medições com variações angulares em relação ao detector do tipo PLC de 0° até 360° .

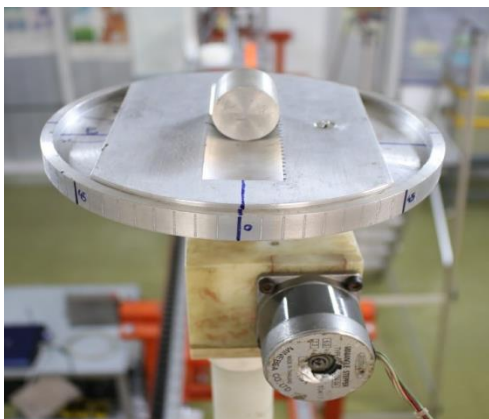


Figura 1: Sistema mecânico de movimentação de fontes.

Acoplado a base utilizada no posicionamento da fonte de nêutrons, encontra-se o sistema de movimentação, utilizado para girar a base e mudar

o ângulo da fonte. O controle deste motor é realizado por meio de uma placa ARDUINO. Isso evita a proximidade do pesquisador e diminui o tempo de exposição à fonte.

A fonte de nêutrons tem um encapsulamento reforçado para conter o elemento radioativo, nem sempre esse encapsulamento é igual em todos os ângulos, gerando assim uma perda de emissão da fonte em certas posições.

As medições são feitas em uma sala de baixo espalhamento no LN, permitindo total eficácia e confiabilidade no experimento.

3. RESULTADOS

O fator de anisotropia para a fonte de $^{241}\text{AmBe}$ 5,92 GBq foi de 8,65%, devido à variações na estrutura do material radioativo e maior razão entre a altura e o raio de seu encapsulamento cilíndrico.

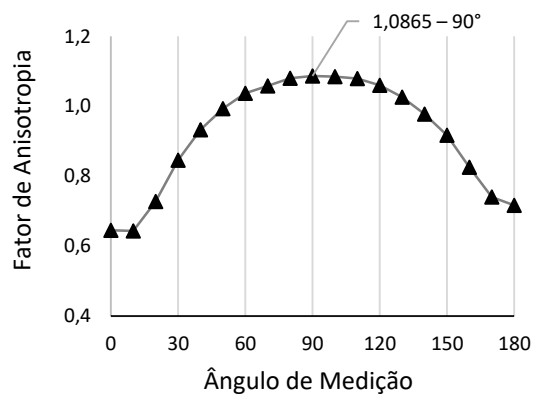


Figura 2: Curva de anisotropia para a fonte de $^{241}\text{AmBe}$.

Para a fonte de $^{238}\text{PuBe}$, o fator de anisotropia encontrado foi 4,36%. Seu fator de anisotropia é

menor devido à sua razão altura vs. raio ser mais próximo de 1, se comparada à fonte de $^{241}\text{AmBe}$.

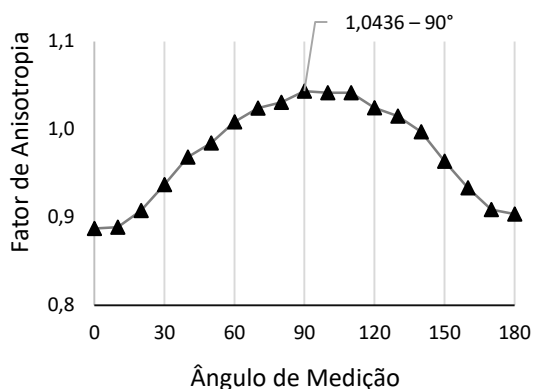


Figura 3: Curva de anisotropia para a fonte $^{238}\text{PuBe}$.

4. CONCLUSÃO

A anisotropia da fonte não depende da atividade da fonte, o que determina é a maneira como o material é disposto em relação ao seu encapsulamento. Considerando o amplo uso de fontes de nêutrons na área nuclear, este trabalho demonstra a importância de se conhecer a anisotropia, permitindo assim, uma redução na incerteza relacionada ao uso de fontes radioisotópicas de nêutrons. Este trabalho beneficiará principalmente a área de radioproteção, melhorando a qualidade dos cálculos para uma blindagem mais segura, diminuindo os riscos nas áreas públicas e em estudos visem melhorar o processo de medições e calibrações em laboratórios.

5. REFERÊNCIAS

1. (Astuto, 2014) A. Astuto, A.P. Salgado, S.P. Leite, K.C.S. Patrão, E.S. Fonseca, W.W. Pereira, and R.T. Lopes. Thermal neutron calibration channel at LNMRI/IRD Radiat

- Prot Dosimetry (2014) 161 (1-4): 185-189 first published online March 13, 2014 doi:10.1093/rpd/ncu040
2. (Pereira, 2005), PEREIRA, W. W. ; FONSECA, E. S. ; LEITE, J. O. ; PATRAO, K. C. S. . Metrologia de Nêutrons no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 7, p. 113-119, 2005
3. (ISO, 2001), “Characteristics and Methods of Production”, International Organization for Standardization, ISO-8529-1. Neutron Reference Radiation - Part 1, Switzerland.
4. International Organization for Standardization. Reference neutron radiation-part 1, characteristics and methods of production. ISO 8529-1 (Geneva: 150) (2001)
5. British Nuclear Energy Society. Radiation dose management in the nuclear industry. 2nd International Conference on Remote Techniques for Nuclear Plants, Stratford-upon-Avon (United Kingdom). Pag. 71 -73 (260p) (1995)
6. Eisenhauer, C. M., Hunt, J. B. and Schwartz, R. B. Calibration techniques for neutron personal dosimetry. Radiat. Prot. Dosim. Vol.10 n°.1-4. Pag.43-57 (1958)
7. Kowatari, M., ONUMA, I., TANIMURA, Y., KAWASAKI K., SAEGUSA, J. e YOSHIZAWA, M. Determination of the Anisotropic Emission Factor for Neutrons from $^{241}\text{Am-Be}$ Source. Radioisotopes. Vol. 57. N°9. 559-569(2008)