

25 - 29 SEPTEMBER, 2017

CONVENTION CENTER  
GOIÂNIA, BRAZIL

*Sharing Experiences*



# Procedimento para medição do fator de anisotropia de fontes de nêutrons

P. G. Creazolla<sup>a</sup>; A. Camargo; A. Astuto; F. Silva; W.W. Pereira

<sup>a</sup>LNMRI/LN, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 22780160, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

*prycyllacreazolla@gmail.com*

---

## RESUMO

As fontes radioisotópicas de nêutrons permitem a produção de campos de referência para calibração de dispositivos de medição de nêutrons para fins de radioproteção e análises. Quando a taxa de emissão dessas fontes se dá de forma isotrópica, não é necessária nenhuma correção. Entretanto, variações no material da cápsula da fonte e variações na concentração do material emissor podem produzir diferenças em sua taxa de emissão de nêutrons em relação ao eixo da fonte, este efeito é denominado anisotropia. Nesse trabalho será apresentada uma proposta de procedimento para medição do fator de anisotropia das fontes pertencentes ao Laboratório de Metrologia de Nêutrons LNMRI/LN utilizando um detector *Precision Long Counter* (PLC).

Palavras-chave: Anisotropia; Fontes de Nêutrons; Emissão de Nêutrons;

---

## 1. INTRODUÇÃO

Conhecendo-se o espectro em energia de uma fonte de nêutrons e a taxa de emissão dessa fonte, pode-se construir um modelo simples em que, num espaço amplo e livre de obstáculos, estejam posicionados a fonte de nêutrons e o monitor de área a ser calibrado. Entretanto, uma correção a ser considerada para este modelo é em relação a construção das fontes de nêutrons. Os fabricantes

fazem as fontes de nêutrons baseadas em radionuclídeos com encapsulamentos em aço e em geometrias cilíndricas que seguem rigorosas regras para garantir a sua integridade. Porém, é necessário levar em conta que pode haver pequenas diferenças nessa distribuição e na espessura de aço ao redor do material radioativo. Isto causa efeitos de anisotropia na emissão de nêutrons, devido às diferenças produzidas na taxa de emissão de nêutrons em relação ao eixo axial da fonte.

## 2. MÉTODO DE CÁLCULO DE ANISOTROPIA

Na ausência de qualquer meio de dispersão, a taxa de fluência de nêutrons,  $\phi$ , em um ângulo  $\theta$ , medido em relação ao eixo do cilindro a um determinado ponto de calibração numa distancia  $L$  do centro da fonte, cuja taxa de emissão total absoluta é  $B$  e  $F(\theta)$  é o fator de anisotropia, é representada pela expressão (1). Sua unidade é dada em  $(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$  (3,4):

$$\phi(L, \theta) = \frac{B F_1(\theta)}{4\pi L^2} \quad (1)$$

Se a emissão de nêutrons de uma fonte cilíndrica depender somente do ângulo  $\theta$ , uma vez que a emissão varia menos para a direção perpendicular ao eixo ( $\theta=90^\circ$ ), aplica-se então a expressão (2), sendo experimentalmente determinada com um detector do tipo PLC (3,5).

$$F_1(\theta) = \frac{2\phi(L, \theta)}{\int_{\theta=0}^{\pi} \phi(L, \theta) \sin\theta d\theta} \quad (2)$$

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

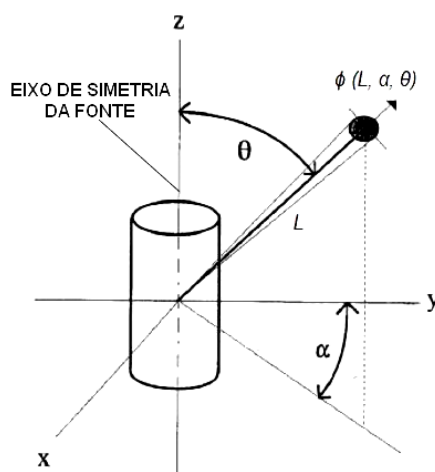
$$F_1(\theta_i) = \frac{2C(L, \theta_i)}{\sum_{i=1}^n C(L, \theta_i) \times \left[ \cos\left(\frac{\theta_{i-1} - \theta_i}{2}\right) - \cos\left(\frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2}\right) \right]} \quad (3)$$

### 3. PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DE ANISOTROPIA

O laboratório de baixo Espalhamento (LBE) do LNMRI/LN possui dimensões laterais de 7,8 m x 15,05 m por 6 m de altura do piso ao teto. Para minimizar o espalhamento, O LBE é constituído de materiais com número atômico baixo, e por isso não foi usado o cone de sombra. O piso é feito de concreto e as paredes de placas de isopor e de alumínio. O teto é de telha de alumínio com forro de isopor. O sistema fonte-detector fica posicionado em uma plataforma elevada a 1,86 m do solo.

A medição da emissão de nêutrons é em função do ângulo polar  $\theta$  entre a direção do detector e o eixo da fonte (Figura 1). Sendo assim, a medição de anisotropia foi realizada a partir do alinhamento horizontal da fonte com o detector a uma distância de 2 metros. A fonte utilizada na medição foi a de Amerício-Berílio-241(241Am-Be).

Figura 1. Sistema de coordenadas de uma fonte cilíndrica com emissão anisotrópica<sup>(5)</sup>



Um sistema mecânico de rotação de fontes controlado eletronicamente foi utilizado para evitar repetidas aproximações do operador com a fonte em cada medição. Esse sistema é composto por um motor de passo de quatro fases (NEMA 17), com 200 passos por volta, acoplado a uma caixa de redução (redução aproximada de 25:1). Para o controle do motor foi utilizada uma placa controladora (driver) e uma placa do ARDUINO, que proporciona a interface computador/motor. E um programa específico do ARDUINO foi desenvolvido para a movimentação do motor.

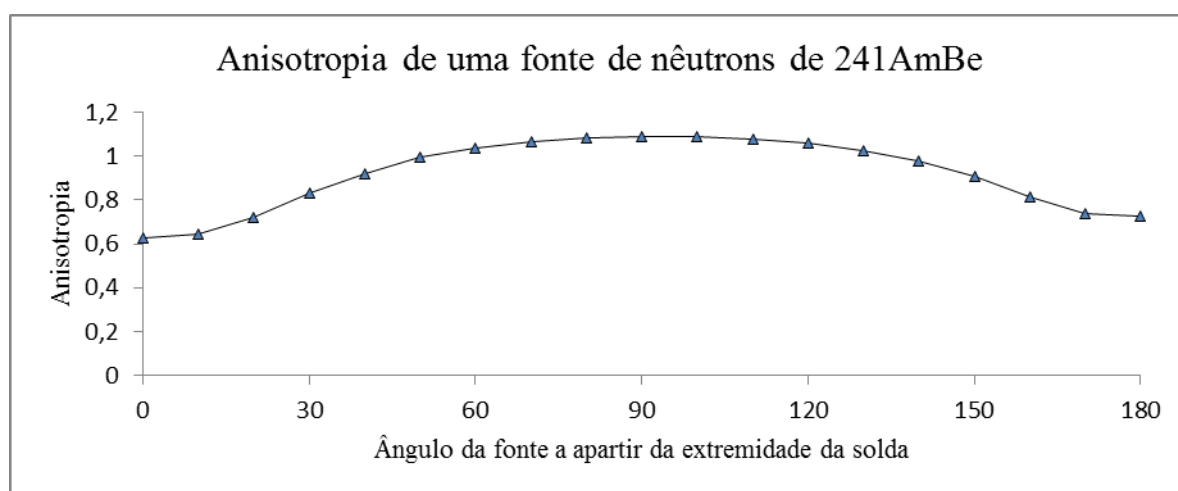
O eixo da fonte foi orientado de forma que pudesse estar alinhado ao detector e a fonte foi posicionada no sistema mecânico de rotação, o que permitiu que a fonte pudesse ser girada a partir

do ângulo de 0° até 180°. Foram realizadas 19 medições durante 900 segundo cada, variando em ângulos de 10° e também, realizadas 5 medições na posição de 90° em relação ao eixo cilíndrico da fonte sem alterar o intervalo de tempo.

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

De acordo com a equação de anisotropia (3) foi obtido os coeficientes de anisotropia nos respectivos ângulos. Pode-se observar através do gráfico abaixo (figura 2) os resultados das medições para uma fonte de  $^{241}\text{Am-Be}$ .

Figura 2: A anisotropia mediada experimentalmente



Os resultados mostraram pouca variação de anisotropia com o ângulo, mesmo assim, ela não é considerada como sendo uma fonte pontual, pois deveria apresentar o valor de 1 em cada ângulo de medição. O maior valor alcançado para o fator de anisotropia foi de 1,08 no ângulo de 90°, significando que esta fonte tem 8% de fator de anisotropia em determinado ângulo.

Considerando que as fontes de radionuclídeos são amplamente utilizadas para calibrar dispositivos sensíveis a nêutrons. Em tais situações, a falta de conhecimento da anisotropia da emissão de origem em função do ângulo pode representar de longe a maior contribuição para a incerteza na fluência em um dispositivo.

## REFERÊNCIAS

1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Reference neutron radiation-part 1, characteristics and methods of production*. ISO 8529-1 (Geneva: 150) (2001)
2. 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)
3. 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)
4. 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)
5. BARDELL, A. G., BURKE, M., HUNT, J. B., TAGZIRIA, H. e THOMAS, D. J., *Anisotropy of Emission from Radionuclide Neutron Sources*, NPL Report CIRM 24, December (1998)