



Irradiador de nêutrons para calibração de detectores TLD-600

E. B. Souto^a; M. K. Elbern^a; V. Borges^b; F. T. Van der Laan^b

^a Pro-Rad Consultores em Radioproteção S/S Ltda, 94.910-001, Cachoeirinha-RS, Brasil

^b GENuc – Grupo de Estudos Nucleares, Escola de Engenharia, UFRGS, 90.046-900, Porto Alegre-RS, Brasil

ebsouto@prorad.com.br

RESUMO

Pares de detectores termoluminescentes TLD-600/TLD-700 são comumente utilizados para dosimetria de nêutrons. Os TLD-600 são sensíveis à nêutrons térmicos e radiação gama, enquanto que os TLD-700 são servem para discriminar a contribuição da radiação gama na resposta dos TLD-600. A calibração de um sistema de dosimetria termoluminescente está condicionada, dentre outras, à sensibilidade dos detectores utilizados. Variações na concentração de impurezas e dopantes implicam na resposta dos detectores TLD-600 a nêutrons. A exposição a doses elevadas de nêutrons térmicos também pode reduzir a sensibilidade. Por estas razões é necessário calibrar todos os detectores antes de colocá-los em uso. Este trabalho teve por objetivo construir um arranjo experimental denominado Irradiador de Nêutrons para calibração de detectores TLD-600 em função de sua sensibilidade a nêutrons. Foram utilizados uma fonte de ²⁴¹Am-Be do GENuc/UFRGS e detectores termoluminescentes fornecidos pelo Laboratório de Dosimetria da PRO-RAD. Devido ao espectro energético da fonte de ²⁴¹Am-Be, seriam necessários longos tempos de irradiação para obter respostas suficientes nos TLD-600. Construiu-se um irradiador cilíndrico, de polietileno, no centro do qual é inserida a fonte para irradiar detectores dispostos na superfície do mesmo. O aumento da fluência de nêutrons térmicos propicia maior resposta dos TLD-600 com tempos de exposição substancialmente menores. Após irradiação dos detectores foi determinado o fator de sensibilidade a nêutrons normalizando as respostas pela média das mesmas. Outras irradiações foram feitas, aplicando-se os fatores de sensibilidade nas respostas, comprovando-se a aplicabilidade deste Irradiador de Nêutrons.

Palavras-chave:

Calibração, TLD, Nêutrons

1. INTRODUÇÃO

O uso de pares de detectores TLD-600/TLD-700 para dosimetria de nêutrons é uma técnica consagrada [1]. Atualmente é comumente utilizada tanto em laboratórios de dosimetria pessoal [2, 3] quanto em outras aplicações [4]. Os TLD-600 e TLD-700 são cristais termoluminescentes de LiF:Mg,Ti enriquecidos com ^6Li e ^7Li , respectivamente. Pequenas variações na concentração destes isótopos ou de impurezas durante o processo de fabricação implicam significativamente na resposta a nêutrons. A própria exposição a doses elevadas de nêutrons térmicos também reduz a sensibilidade dos detectores [5, 6]. Por estas razões é necessário calibrar todos os detectores antes de colocá-los em uso.

A calibração de instrumentos e detectores de nêutrons pode ser realizada com fontes isotópicas, reatores e aceleradores [7]. A primeira opção é a mais vantajosa para laboratórios de dosimetria termoluminescente devido à massa e dimensões reduzidas das fontes e praticidade no uso.

Este trabalho teve por objetivo construir um arranjo experimental com uma fonte isotópica de nêutrons, para calibração de detectores TLD-600 em função de sua sensibilidade a nêutrons. Este arranjo experimental foi denominado Irradiador de Nêutrons.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados uma fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ do GENuc – Grupo de Estudos Nucleares do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola da Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e detectores termoluminescentes fornecidos pelo Laboratório de Dosimetria da PRO-RAD Consultores em Radioproteção S/S Ltda.

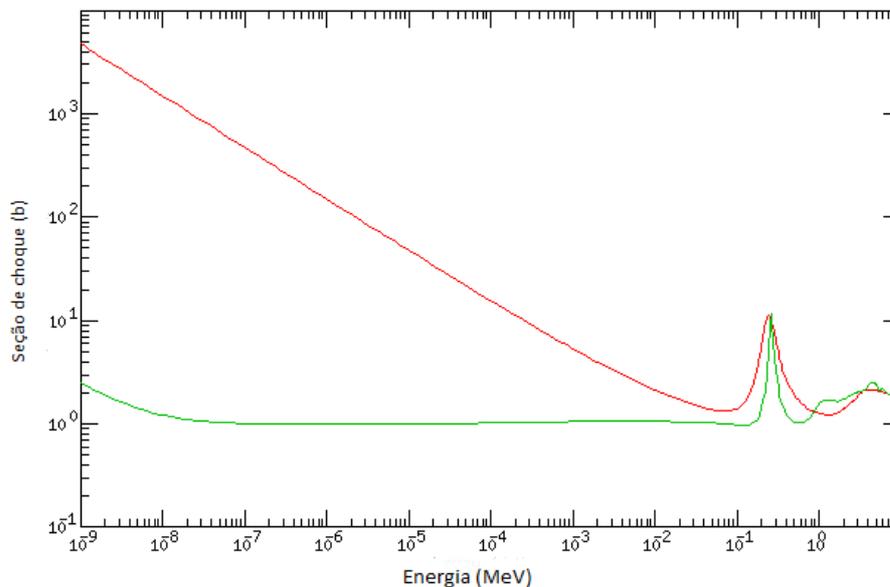
A fonte possui formato cilíndrico, com diâmetro de 3,3 cm e altura de 10,5 cm. É munida de um anel na base superior, onde foi amarrado um fio de nylon que permite içá-la da embalagem de transporte para realizar irradiações.

As irradiações ocorreram no laboratório do GENuc e os detectores foram lidos no Laboratório de Dosimetria da PRO-RAD.

2.1. Dependência Energética

Os detectores de LiF possuem em sua composição os dois isótopos naturais do Lítio (${}^6\text{Li}$ e ${}^7\text{Li}$) e são sensíveis à nêutrons e radiação gama [1]. O TLD-600 é enriquecido com ${}^6\text{Li}$, enquanto que o TLD-700 é enriquecido com ${}^7\text{Li}$. Como pode ser observado na Fig. 1, o ${}^6\text{Li}$ possui alta seção de choque para nêutrons de baixa energia, conferindo ao TLD-600 avantajada sensibilidade a nêutrons térmicos em relação ao TLD-700. A sensibilidade do TLD-700 é tão baixa que é possível considerá-lo insensível a nêutrons térmicos. Devido a esta característica, o TLD-700 é utilizado para discriminar a contribuição da radiação gama na resposta do TLD-600 em campos mistos.

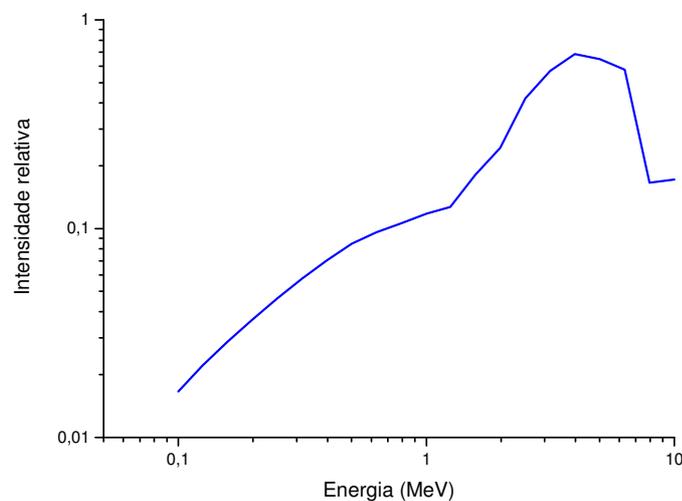
Figura 1: Seção de choque total do ${}^6\text{Li}$ (vermelho) e do ${}^7\text{Li}$ (verde) para nêutrons [8]



Fonte: <http://atom.kaeri.re.kr> [8]

A Fig. 2 apresenta o espectro energético dos nêutrons emitidos por fontes de $^{241}\text{Am-Be}$. Para esta faixa de energia a seção de choque do ^6Li equipara-se com a do ^7Li , além de ser extremamente baixa. Encontra-se aqui um grande problema para calibrar os TLD-600: seriam necessários longos tempos de irradiação no ar para obter respostas suficientes nos detectores. Ademais, seria muito difícil segregar a resposta à radiação gama.

Figura 2: Espectro energético dos nêutrons emitidos por fontes de $^{241}\text{Am-Be}$



Fonte: adaptado de IAEA – TRS 403 [9]

A solução para este infortúnio é aumentar o fluxo de nêutrons térmicos utilizando um material moderador entre a fonte e os detectores. Materiais moderadores são utilizados para reduzir a energia dos nêutrons até energias térmicas ($< 1 \text{ eV}$), processo conhecido por termalização. Materiais hidrogenados são ótimos moderadores de nêutrons, pois possuem alta seção de choque de espalhamento e baixa seção de choque de absorção.

Interpondo um moderador entre um determinado ponto e uma fonte de nêutrons rápidos, cria-se neste ponto um fluxo de nêutrons térmicos. Este fluxo aumenta com o aumento da espessura deste material até que começa a haver absorção dos nêutrons termalizados e consequente redução

neste fluxo de nêutrons térmicos. Esta espessura de material é a ideal para otimizar o tempo de exposição.

2.2. Concepção do Irradiador de Nêutrons

Devido ao formato da fonte, a geometria para irradiar homoganeamente diversos detectores ao mesmo tempo é elementar. Consiste em distribuir os detectores na periferia de um círculo e dispor a fonte no centro. Fundamentado nesta geometria idealizou-se um arranjo experimental cilíndrico, composto de material moderador, vazado no eixo central para encaixe da fonte.

O polietileno foi o material moderador escolhido por ser de fácil aquisição no mercado sob a forma de tarugos cilíndricos. Além disso, é resistente a desgastes por atrito durante a inserção ou retirada da fonte ou mesmo por manuseio.

Dentre as opções disponíveis comercialmente à época, optou-se por um tarugo de 20 cm de diâmetro. Como o eixo central seria usinado também em formato cilíndrico, com 3,5 cm de diâmetro, para hospedagem da fonte de nêutrons, restaria 8,2 cm de material moderador. Esta espessura foi considerada razoável por ter mesma ordem de grandeza daquela determinada experimentalmente por Madi Filho [10] para a parafina, cuja composição química é semelhante à do polietileno.

A altura do cilindro de polietileno é de 24 cm. O eixo central foi vazado em 17 cm para que a fonte fique posicionada no centro do Irradiador. Segundo Cavalieri [4], esta geometria confere maior homogeneidade de doses do que a geometria anteriormente utilizada por Souto [6].

A Fig. 3 apresenta o Irradiador de Nêutrons desenvolvido.

Figura 3: Irradiador de Nêutrons desenvolvido

Fonte: arquivo dos autores

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS

Em carácter experimental foram irradiados, em posições aleatórias no irradiador, vinte TLD-600 acompanhados de vinte TLD-700, todos previamente calibrados com radiação gama. À leitura de cada TLD-600 foi descontada a média das leituras dos TLD-700 para obter a resposta a nêutrons, conforme Equação (1).

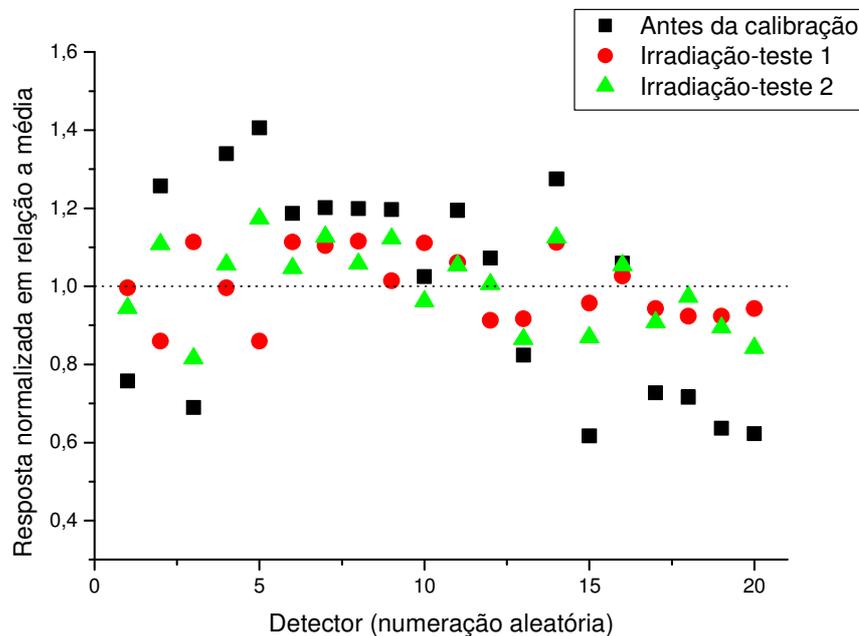
$$R_N = L_{TLD-600} \cdot f_\delta - \overline{L_{TLD-700} \cdot f_\delta} \quad (1)$$

Onde L é a leitura do detector TLD-600 ou TLD-700, e f_δ é o fator de sensibilidade à radiação gama do detector avaliado. O coeficiente de variação dos valores de R_N avaliados foi de 27%.

O fator de sensibilidade a nêutrons, f_N , de cada detector foi determinado normalizando cada R_N pela média dos vinte R_N .

Para confirmar se os fatores de sensibilidade determinados são confiáveis, realizaram-se duas irradiações-teste com os mesmos detectores, também dispostos aleatoriamente no irradiador. Para cada R_N aplicou-se o respectivo f_N determinado na etapa anterior (calibração). Os coeficientes de variação do produto $R_N \cdot f_N$ foram de 9% e 11%.

Figura 4: Distribuição das respostas dos TLD-600 em relação à média das respostas



Fonte: arquivo dos autores

4. DISCUSSÃO

A influência de nêutrons retro espalhados no ambiente na resposta dos TLD-600, bem como a dependência da posição dos detectores no Irradiador de Nêutrons deverá ser estudada.

5. CONCLUSÃO

Com a redução de, aproximadamente, $2/3$ no coeficiente de variação, o resultado do experimento foi considerado satisfatório. Conforme pode ser observado graficamente na Fig. 4, as respostas a nêutrons dos detectores TLD-600 mostraram-se mais homogêneas após a calibração. Comprova-se, assim, a aplicabilidade do Irradiador de Nêutrons desenvolvido.

REFERÊNCIAS

1. OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. **Applied Thermoluminescence Dosimetry**, Bristol: Adam Hilger, 1981.
2. MARTINS, M.M.; MAURÍCIO, C.L.P.; PEREIRA, W.W.; DA SILVA, A.X. Characterization of a two-component thermoluminescent albedo dosimeter according to ISO 21909. **Radiation Measurements**, v. 46, p. 555-560, 2011.
3. SOUTO, E.B.; CAMPOS, L.L. Development of a Brazilian gamma-neutron dosimeter. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, v. 266, p. 3174-3177, 2008.
4. CAVALIERI, T.A. Emprego do MCNP no estudo dos TLD-600 e 700 visando a implementação da caracterização do feixe de radiação na instalação de BNCT do IEA-R1. Dissertação de mestrado apresentada no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP, 2013.
5. GAMBARINI, G.; KLAMERT, V.; AGOSTEO, S.; BIRATTI, C.; GAY, S.; ROSSI, G.; SCOLARI, L. Study of a method based on TLD detectors for in-phantom dosimetry in BNCT. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 100 (1-4), p. 631-636, 2004.
6. SOUTO, E.B. Projeto, construção e caracterização de um dosímetro para radiação de nêutrons. Dissertação de mestrado apresentada no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP, 2007.
7. IAEA – International Atomic Energy Agency. **Calibration of radiation protection monitoring instruments. IAEA SRS 16**, Viena: IAEA, 2000.
8. Cross Section Plotter. Disponível em <<http://atom.kaeri.re.kr>>. Último acesso: 31 Out. 2014.
9. IAEA – International Atomic Energy Agency. **Compendium of neutrons spectra and detector responses for radiation protection purposes. IAEA TRS 403**, Viena: IAEA, 2001.
10. MADI FILHO, T. Desenvolvimento de um detector de nêutrons usando sensor tipo barreira de superfície com conversor (n, p) e conversor (n, α). Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP, 1999.