

Estudo da reprodutibilidade e calibração dos TLD 600, TLD 700 e TLD 400

T. A. Cavalieri¹; V. A. Castro¹; P. T. D. Siqueira¹

¹ CEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN / Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, 05508-000, São Paulo-SP, Brasil

tassio.cavalieri@usp.br;

(Recebido em dia de mes de ano; aceito em dia de mes de ano)

Um novo método para a realização dos estudos de reprodutibilidade dos dosímetros termoluminescentes (TLDs) e posteriormente sua calibração foi estudado e comparado com o método anteriormente utilizado pelo grupo de pesquisas em BNCT do IPEN/CNEN. Neste novo método visou-se identificar as relações existentes entre a resposta individual de certo tipo de TLD com a resposta da média de todos os TLDs irradiados, e com isso foi observada uma relação aproximadamente constante mesmo em diferentes irradiações. A partir da observação destas relações foram realizadas as normalizações das respostas dos TLDs, e este método foi comparado com o método anteriormente utilizado pelo grupo de pesquisa em BNCT do IPEN/CNEN obtendo-se melhores respostas. Com este novo método foram feitas as calibrações destes TLDs para duas fontes gamas, de diferentes energias, ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs, para doses entre 20 mGy e 1 Gy, e foi possível observar a dependência energética da resposta destes TLDs.

Palavras-chave: Dosimetria Gama, LiF, CaF₂.

Reproducibility and calibration studies of TLD 600, TLD 700 and TLD 400

A new method to study of reproducibility of the thermoluminescent dosimeters (TLDs) and their calibration was carried on and compared with the method previously used by the BNCT research group of IPEN/CNEN. In this new method, aimed to identify the relations between the individual response of certain types of TLDs with their average response, it was observed a relation approximately constant even at different irradiations. From these relations, normalization of TLDs responses were made, and this method was compared with the method previously adopted by BNCT research group of IPEN/CNEN given better responses. With this new method, the dose response calibration were made for two gamma sources, with different energies, ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs, for doses ranging from 20 mGy to 1 Gy, and it has been possible to observe the response dependence of these TLDs on energy.

Keywords: Gamma dosimetry, LiF, CaF₂.

1. INTRODUÇÃO

O objeto do presente trabalho faz parte de um estudo cujo objetivo final é realizar e avaliar um novo procedimento de dosimetria de feixes misto para eventual substituição da metodologia utilizada na caracterização de feixes da instalação de pesquisa em BNCT do IPEN/CNEN. Porém a dosimetria de campos mistos é muito complexa, necessitando um estudo mais profundo de como os dosímetros respondem em diferentes situações.

Neste trabalho foi realizado primeiramente o estudo das respostas em fontes gama de três tipos diferentes de TLDs (TLD 600, TLD 700 e TLD 400) no qual o par TLD 600 / TLD 700 é comumente utilizado para a dosimetria de campos mistos, como recomenda a Comissão Internacional de Unidades e Medidas em Radiação (*International Commission on Radiation Units and Measurements*)¹ e utilizados em muitos trabalhos de dosimetria de feixes de BNCT^{2,3}, e o TLD 400 para a dosimetria gama.

Porém, antes dos TLDs serem utilizados como dosímetros, os TLDs passam por um estudo de reprodutibilidade no qual se visa obter um fator individual de resposta TL que possibilite a redução da incerteza associada às respostas obtidas pelos TLDs. Este fator foi obtido após uma série de irradiações em um campo de gama puro. Esta nova metodologia foi comparada com a metodologia anteriormente utilizada pelo grupo de pesquisas em BNCT do IPEN/CNEN, na qual se selecionava os TLDs que apresentavam respostas mais próximas, e apresentou melhores

resultados, tanto na obtenção de resultados mais precisos como na otimização dos TLDS, reduzindo o número de TLDs descartados.

Após a obtenção deste fator, os TLDs puderam ter suas respostas normalizadas e assim foi realizada a calibração destes TLDs para duas fontes gama diferentes, na qual foi possível observar certa dependência energética dos TLDs devido às diferentes energias dos raios gama provenientes das diferentes fontes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados três tipos de TLDs, sendo dois do tipo LiF:

- TLD 600: LiF:Mg,Ti enriquecido com o isótopo ^6Li (95,62%), e devido a alta seção de choque deste isótopo para nêutrons térmicos este TLD é considerado sensível a radiação gama e a nêutrons térmicos;
 - TLD 700: LiF:Mg,Ti enriquecido com o isótopo ^7Li (99,99%) e assim apresenta baixa sensibilidade a nêutrons térmicos sendo considerado sensível a radiação gama;
- e um do tipo CaF_2 ,
- TLD 400: $\text{CaF}_2:\text{Tm}$, é sensível apenas a radiação gama e apresenta uma sensibilidade maior que a sensibilidade dos LiF fornecidos pela Harshaw⁴ no formato de blocos (*chips*) de $3,1 \times 3,1 \times 0,9 \text{ mm}^3$.

Para as irradiações foram utilizadas uma fonte de ^{60}Co , com emissão de fótons de 1,17 e 1,33 MeV, e uma fonte de ^{137}Cs , com emissão de fótons de 0,66 MeV .

Os TLDs foram agrupados em 3 grupos de 30 TLDs cada, sendo que cada grupo correspondeu a um dos tipos de TLD estudados neste trabalho. Todos os TLDs destes grupos foram submetidos aos mesmos procedimentos de tratamento, irradiação e leitura.

Todos os TLDs dos 3 grupos foram irradiados simultaneamente em quinze irradiações distintas na fonte de ^{60}Co com uma dose fixa de 20 mGy. Em cada irradiação, a resposta TL de cada TLD foi analisada juntamente com a distribuição das respostas dos TLDs de mesmo tipo. Este procedimento visou a obtenção de um fator que corrigisse a diferença na eficiência de cada TLD. Este fator, atribuído individualmente a cada TLD, foi obtido através da razão da resposta média dos TLDs em certa irradiação pela resposta individual deste TLD nesta irradiação.

Posteriormente foi avaliada a dependência da resposta dos diferentes TLDs utilizados neste trabalho com a energia média do feixe. Para tanto, os diferentes tipos de TLDs foram irradiados em campos entre 20 mGy e 1 Gy de kerma no ar, obtidos por fontes de ^{60}Co e de ^{137}Cs possibilitando a análise das dependências energéticas dos diferentes TLDs para estas duas fontes. Para cada valor de dose, a resposta obtida foi representada pelo valor médio da resposta de 6 TLDs.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo da reprodutibilidade dos TLDs foram realizadas quinze irradiações em uma fonte de ^{60}Co onde em todas as irradiações foram fornecidos uma dose equivalente a 20 mGy de kerma no ar. Neste estudo foi possível observar que mesmo os TLDs de mesmo tipo apresentavam uma distribuição nas respostas em uma certa irradiação, Figura 1, o que mostrava que mesmo TLDs de mesmo tipo não apresentavam a mesma sensibilidade.

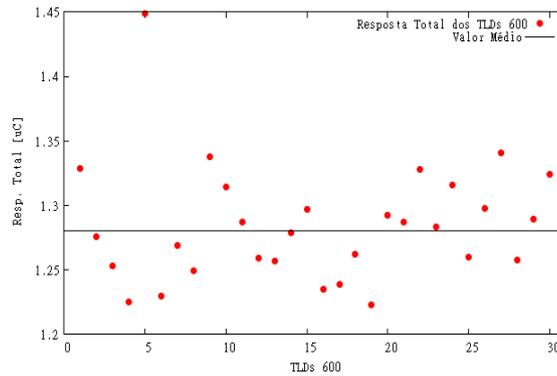


Figura 1: Respostas individuais dos TLDs 600 em certa irradiação na fonte de ^{60}Co .

Repetindo-se as irradiações, foi observado que mesmo nas diferentes irradiações as sensibilidades dos TLDs se mantinham aproximadamente constantes, ao comparar as respostas individuais de cada TLD com a resposta da média, mesmo com a resposta da média variando nas diferentes irradiações. Este padrão pode ser visto na Figura 2 que apresenta a resposta individual de cada TLD 600 em 6 diferentes irradiações. Este padrão apresentado na Figura 2 foi semelhante aos padrões vistos nas irradiações dos TLDs 700 e TLDs 400.

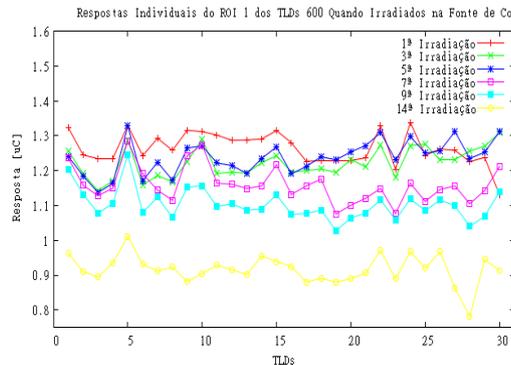


Figura 2: Respostas individuais dos TLDs 600 em diferentes irradiações

A observação da Figura 2 permite atribuir a existência de um fator de eficiência individual que responda pelo fato de alguns TLDs sempre apresentarem uma resposta sempre acima da média e outros sempre abaixo da média. Este fator de eficiência individual responde por grande parte da dispersão das respostas observadas em cada irradiação. Propôs-se portanto a adoção de um outro fator, inversamente proporcional à eficiência da resposta TL, intrínseco a cada TLD, que reduz a dispersão nas respostas TL obtidas. Este processo substitui a necessidade de adoção do processo de selecionamento e permite separar as incertezas devido à eficiência intrínseca do TLD do processo de tratamento, irradiação e leitura.

Foram realizadas análises que visavam identificar qual a dispersão do Fator de Normalização para cada TLD. Na Figura 3 está apresentado um histograma que mostra a quantidade de cada tipo de TLD para cada valor de incerteza de seus Fatores de Normalização. É possível notar que os TLDs de LiF apresentam uma maior reprodutibilidade de seus TLDs frente ao TLD 400, sendo que o TLD 700 foi o que apresentou melhores valores. Porém, mesmo o TLD 400 apresentando valores de incerteza maiores, este ainda apresenta valores satisfatórios quando se trata do uso de TLDs.

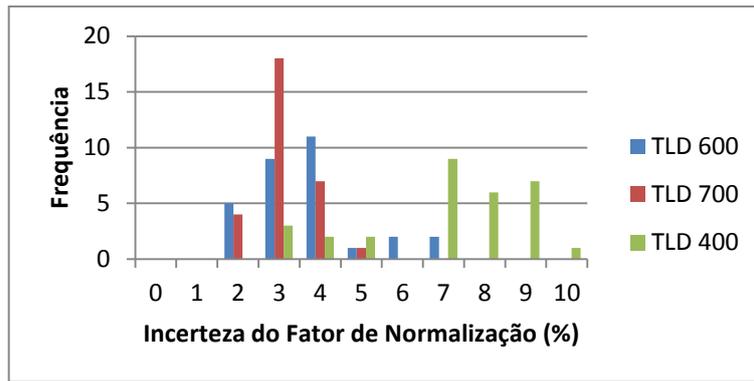


Figura 3: Histograma com a dispersão dos valores de incertezas dos TLDs

Portanto para a nova metodologia proposta, as respostas individuais de cada TLD são multiplicadas pelo Fator de Normalização obtido a partir do estudo de reprodutibilidade.

Outro ponto observado foi que a incerteza dos Fatores de Normalização são menores que as próprias dispersões das respostas dos TLDs em uma mesma irradiação. E a comparação desta nova metodologia que utiliza este fator para normalizar as respostas dos TLDs com a metodologia anteriormente utilizada, na qual era selecionados os TLDs que respondiam de forma mais semelhante, mostrou que esta nova metodologia é mais precisa que a anterior. Sendo que em irradiações em fonte gama utilizando a nova metodologia se obteve uma incerteza de 4% na resposta, enquanto a metodologia anterior apresentou uma incerteza de 6%.

Foram obtidas então as curvas de calibração para os três tipos de TLDs para as duas fontes gamas utilizadas neste trabalho. E para estas curvas foram utilizados os Fatores de Normalização nas respostas de cada TLD.

Para os TLDs 600 foi observado uma certa dependência energética, na qual as respostas obtidas na fonte de ^{60}Co são aproximadamente 20% superiores as respostas obtidas para a fonte de ^{137}Cs . Estas duas curvas de calibração do TLD 600 podem ser vistas na Figura 4 e na Tabela 1 estão os valores do coeficiente linear e angular destas curvas.

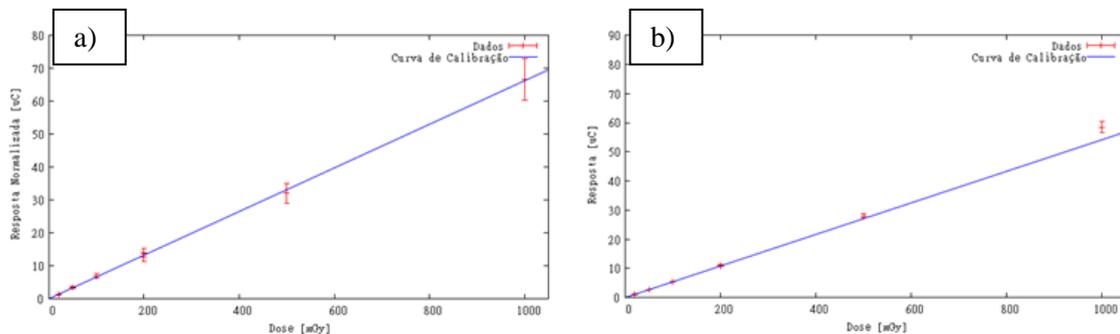


Figura 4: Curvas de calibração do TLD 600: a) fonte de ^{60}Co ; b) fonte de ^{137}Cs

Tabela 1: Coeficientes das curvas de calibração para o TLD 600.

Coeficientes	Fontes	
	^{60}Co	^{137}Cs
Linear [uC]	$0,076 \pm 0,063$	$0,018 \pm 0,062$
Angular [uC/mGy]	$0,066 \pm 0,001$	$0,0541 \pm 0,0008$

Para os TLDs 700 as duas curvas de calibração não apresentaram tantas diferenças, sugerindo que a dependência energética deste TLD é menor. As curvas de calibração estão representadas na Figura 5 e a Tabela 2 apresenta os coeficientes destas curvas.

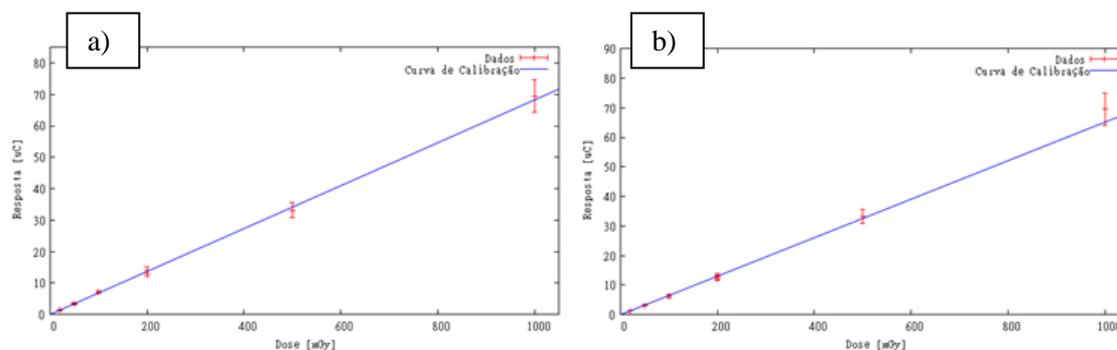


Figura 5: Curvas de calibração do TLD 700: a) fonte de ^{60}Co ; b) fonte de ^{137}Cs

Tabela 2: Coeficientes das curvas de calibração para o TLD 700.

Coeficientes	Fontes	
	^{60}Co	^{137}Cs
Linear [uC]	$-0,32 \pm 0,06$	$-0,014 \pm 0,059$
Angular [uC/mGy]	$0,0682 \pm 0,0012$	$0,065 \pm 0,001$

Já para as curvas de calibração dos TLDs 400 foram as que apresentaram maior diferença, com as respostas devido a fonte de ^{60}Co , cerca de 25% superior às respostas devido à fonte de ^{137}Cs , e conseqüentemente indica uma maior dependência energética deste tipo de TLD. A Figura 6 apresenta as curvas de calibração para o TLD 400 e a Tabela 3 apresenta os valores dos coeficientes.

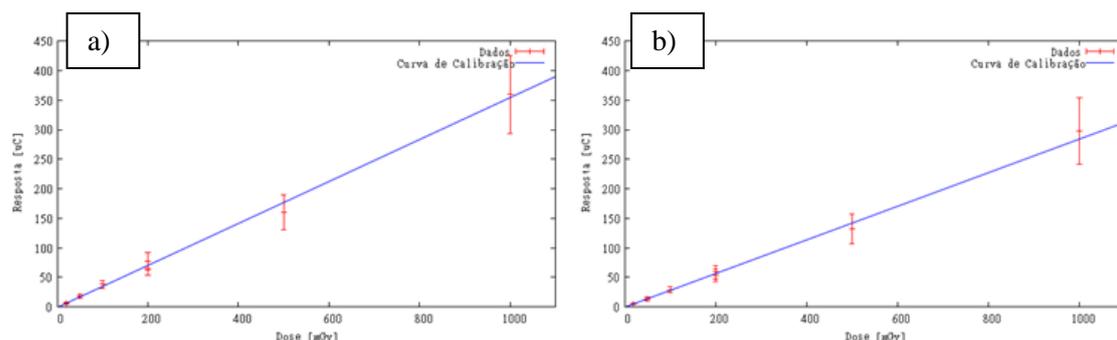


Figura 6: Curvas de calibração do TLD 400: a) fonte de ^{60}Co ; b) fonte de ^{137}Cs

Tabela 2: Coeficientes das curvas de calibração para o TLD 400.

Coeficientes	Fontes	
	^{60}Co	^{137}Cs
Linear [uC]	$-0,70 \pm 0,65$	$-0,33 \pm 0,32$
Angular [uC/mGy]	$0,355 \pm 0,015$	$0,284 \pm 0,007$

4. CONCLUSÃO

A nova metodologia proposta apresentou resultados mais precisos do que aqueles apresentados pela metodologia anteriormente utilizada pelo grupo de BNCT do IPEN/CNEN.

A partir desta nova metodologia foi possível obter um melhor conhecimento de cada TLD individualmente, e assim isolar as fontes de erros coletivos provenientes do tratamento térmico, irradiação ou leitura.

Portanto este trabalho sugere o uso do TLD 700 para a dosimetria gama, visto que este TLD apresenta uma menor dispersão de seus valores frente ao TLD 400.

Este trabalho também demonstrou as dependências energéticas que estes TLDs apresentam para diferentes fontes de gama puro. Portanto, para não haver erros de dosimetria por conta desta dependência, os TLDs devem ser calibrados nas mesmas energias nas quais serão utilizados para a dosimetria.

Este trabalho consolida uma primeira etapa no processo de avaliação da metodologia de uso do par TLD 600/TLD 700 na caracterização de campos mistos pelo grupo de pesquisas em BNCT do IPEN.

-
1. International Commission on Radiation Units and Measurements. Neutron dosimetry for biology and medicine. 1984. ICRU Report 26
 2. Hsu FY, Chiu MC, Chang YL, Yu CC, Liu HM. Estimation of photon and neutron dose distributions in the THOR BNCT treatment room using dual TLD method. *Radiation Measurements* 2008; 43: 1089-94.
 3. Nagels S, Hampel G, Kratz JV, Aguilar AL, Minouchehr S, Otto G, et al. Determination of the irradiation field at the research reactor TRIGA Mainz for BNCT. *Applied Radiation and Isotope* 2009; 67: S242-46.
 4. Harshaw TLD. Materials and Assemblies for Thermoluminescence Dosimetry.