

Estudo da homogeneidade e desvanecimento de dosímetros termoluminescentes

Study of homogeneity and fading of thermoluminescent dosimeters

Antonio Cezar de Souza¹, Vinicius da Silva Barbosa², Danielle Filipov Pereira³

RESUMO

O uso dos dosímetros termoluminescentes de LiF:Mg,Ti (MTS) e LiF:Mg,Cu,P (MCP) nos serviços de radiodiagnóstico justifica a necessidade da caracterização quanto as suas propriedades. Sendo assim, o presente estudo procurou analisar as características de homogeneidade e desvanecimento dos dosímetros MTS e MCP. Para a homogeneidade, eles inicialmente foram expostos a uma fonte de ⁵⁷Co por 40 horas. Seguidamente, foram lidos e o intervalo de homogeneidade foi determinado, entre a média das medidas subtraída do desvio padrão e a média somada ao desvio padrão; os dosímetros com valores dentro deste intervalo foram selecionados e irradiados para o teste de desvanecimento. Após serem irradiados, os dosímetros foram lidos em diferentes intervalos de tempo e o fator de desvanecimento foi calculado. Percebeu-se, quanto à homogeneidade, que 30% de todos os dosímetros apresentaram resposta luminescente similar e, quanto ao desvanecimento, houve uma perda de sinal de 68% para o MTS e de 29,8% para o MPC após 6 meses do dia em que foram irradiados. A taxa de desvanecimento recomendada como sendo <10%/mês não foi observada, pois houve uma instabilidade da leitora. Portanto, para este equipamento empregado, sugere-se que a leitura seja feita logo após a exposição, para não haver perda significativa de sinal

PALAVRAS-CHAVE: desvanecimento; dosímetros termoluminescentes; homogeneidade; radiodiagnóstico.

ABSTRACT

The use of thermoluminescent dosimeters LiF:Mg,Ti (MTS) and LiF:Mg,Cu,P (MCP) in radiodiagnostic services justifies the need to characterize their properties. Therefore, the present study sought to analyze the homogeneity and fading characteristics of the MTS and MCP dosimeters. For homogeneity, they were initially exposed to a ⁵⁷Co source for 40 hours. They were then read and the homogeneity interval was determined, between the mean of the measurements subtracted from the standard deviation and the mean added to the standard deviation; dosimeters with values within this range were selected and irradiated for the fading test. After being irradiated, the dosimeters were read at different time intervals and the fading factor was calculated. It was noticed, in terms of homogeneity, that 30% of all dosimeters showed a similar luminescent response and, in terms of fading, there was a loss of signal of 68% for the MTS and 29.8% for the MPC after 6 months of the day in which they were irradiated. The recommended fading rate of <10%/month was not observed, as the reader was unstable. Therefore, for this equipment used, it is suggested that the reading be taken immediately after exposure, to avoid significant loss of signal.

KEYWORDS: dosimeters thermoluminescent; fading; homogeneity; radiodiagnosis.

¹ Bolsista do CNPQ. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: vegquarks@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5488051602766404>.

² Graduado do curso de Tecnologia em Radiologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: barbosavinicius1998@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5670904092410700>.

³ Docente no Curso Superior de Tecnologia em Radiologia/Departamento de Física/Programa. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: dfilipov@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8016402520749990>.

INTRODUÇÃO

Devido ao risco causado pela exposição à radiação ionizante, torna-se de extrema importância o estudo de adequadas técnicas de exposição e controle de doses recebidas pelos pacientes, técnicos, tecnólogos, físicos e indivíduos envolvidos por meio da dosimetria, que comumente utilizam-se materiais termoluminescentes que se caracterizam pelo fenômeno que, quando absorvida, a radiação ionizante guarda parte dessa energia adquirida em estados metaestáveis, explicada pelo modelo de bandas para os níveis de energia dos elétrons nos sólidos. A princípio, o material possui a banda de valência, a qual deve estar repleta de elétrons, e a banda de condução, a qual deve conter lacunas (ausência de elétrons). Essas bandas são separadas por uma extensa faixa de estados energéticos chamada banda proibida, região onde não são encontrados elétrons e lacunas, mas suas armadilhas e centros de luminescência. Quando o material termoluminescente absorve a radiação ionizante, os elétrons, que estão na banda de valência, recebem energia e passam para a banda de condução onde podem se movimentar de forma livre. O mesmo ocorre com as lacunas e esse movimento acontece até que ambos sejam capturados pelas armadilhas da banda proibida. Em seguida, o material deve ser aquecido, para que elétrons e lacunas se desloquem, respectivamente, para as bandas de condução e valência, onde ocorre a emissão de luz visível, cuja intensidade é proporcional à dose absorvida (KRON,1994; DE OLIVEIRA *et al*, 2010; TAUHATA, 2003; PODGORSK, 2005; PITERS, 1993).

Os dosímetros termoluminescentes (do inglês: TLD - *thermoluminescent dosimeter*) de fluoreto de lítio (LiF) são conhecidos como um excelente material para aplicações na dosimetria, pois apresentam alta sensibilidade, baixas captações de radiação de fundo, resistência às intempéries ambientais, número atômico efetivo próximo ao tecido humano e resposta linear a uma larga faixa de dose (KRON,1994; DE OLIVEIRA *et al*, 2010; TAUHATA, 2003; PODGORSK, 2005; PITERS, 1993).

Há dois principais materiais termoluminescentes de LiF: o LiF:Mg, Ti (chamado de MTS), o qual é dopado com magnésio (Mg) e Titânio (Ti), e o LiF:Mg, Cu, P (chamado de MCP), dopado com magnésio (Mg), cobre (Cu) e fósforo (P), devido as dopagens cada TLD necessita de uma temperatura específica para liberação dos elétrons e lacunas (DE OLIVEIRA *et al*, 2010; TAUHATA, 2003; PODGORSK, 2005; PITERS, 1993).

Os TLDs possuem diversas propriedades que precisam ser estudadas, tais como: sensibilidade, homogeneidade, desvanecimento, linearidade, reprodutibilidade, dependência energética, efeito de luz.

Com relação à homogeneidade, TLDs do mesmo lote devem apresentar a mesma resposta luminescente. Para isso, são avaliadas as leituras dos TLDs, a média das mesmas (M) e o desvio padrão (σ). Os TLDs que tiverem leituras dentro do intervalo $M - \sigma$ e $M + \sigma$ serão selecionados como tendo comportamento homogêneo. Quanto ao desvanecimento, os TLDs são avaliados quanto à perda de informação do dosímetro ao longo tempo após a irradiação. Essa perda de sinal ocorre devido à liberação dos elétrons das armadilhas, se tornando um fenômeno estatístico, e não deve ser $>10\%$ por mês para ambos os dosímetros (Decreto de Lei de Portugal DL 167 de 2002).

A partir do exposto, o objetivo desse trabalho consiste em analisar a homogeneidade e o desvanecimento de TLDs de um lote específico, do Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo, foram usados para tratamento térmico dos TLDs, um forno da marca EDG, modelo 10P, 3000 (São Paulo, SP, Brasil) (Figura 1A). A leitura dos dosímetros feita na leitora Laboratory Reader - Analyser RA'04 da RadPro International GmbH (Wermelskirchen, Alemanha) (Figura 1B). Foram estudados 358 TLDs MTS e 309 TLDs MCP, ambos com formato de chip redondo (4,5 mm de diâmetro e 0,8 mm de espessura) e quadrado (0,3 mm x 0,3 mm), do mesmo fabricante da leitora (Figura 1C). Todos os equipamentos e materiais utilizados são de patrimônio da UTFPR.

Figura 1 – A) Forno para tratamento térmico EDG Equipment Model 10P, 3000. B) Leitora Laboratory Reader modelo Analyser RA'04. C) TLDs da RadPro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Inicialmente, antes de cada exposição (tanto para o teste de homogeneidade quanto para o de desvanecimento), para garantir que todo sinal residual (proveniente da radiação de fundo) tenha sido eliminado do dosímetro, é necessário realizar um tratamento térmico. A radiação de fundo, das leituras dos nossos dosímetros (em análises anteriores) possui um valor de leitura em torno de 10% nas medidas dos TLDs irradiados; sendo assim, os MTSs foram aquecidos à temperatura de 400°C por 60 min e 100°C por 2h e os MCPs aquecidos à temperatura de 240°C por 10 minutos. Ao finalizar o processo de aquecimento, ambos os materiais são retirados do forno e colocados para resfriamento em recipiente de cerâmica, à temperatura ambiente, aguardando até que a temperatura se amenize.

Para a realização do teste de homogeneidade, após o tratamento térmico, os TLDs foram enviados à clínica “Quanta Diagnóstico por Imagem” para serem expostos a uma fonte de ^{57}Co , por 40 horas. Após esta exposição, os TLDs foram levados à UTFPR para serem lidos. Os parâmetros de aquecimento dos TLDs para a leitura são: para o MTS, os mesmos são aquecidos de 100°C a 400°C, a uma taxa de 10°C/s; os MCPs são aquecidos de 100°C a 250°C, a uma taxa de 10°C/s. A leitura corresponde à área do gráfico (contagens em função da temperatura) fornecido pelo software da leitora e corresponde ao valor entre as temperaturas de 100°C e 300°C para o MTS, e 100°C e 250°C para o MCP. Para a seleção dos TLDs considerados homogêneos, eles devem

possuir uma leitura que esteja dentro do intervalo $M - \sigma$ e $M + \sigma$, como já mencionado anteriormente. Todo este processo foi realizado três vezes.

Para o teste de desvanecimento, após o tratamento térmico, os TLDs selecionados pelo teste anterior foram irradiados no equipamento de raios X RAY TEC modelo US 30/50 (São Paulo, SP, Brasil). Os parâmetros técnicos de exposição foram de: tensão de pico de 80 kVp e produto corrente-tempo de 100 mAs. Foram separados 10 grupos de 9 TLDs MCPs e 11 TLDs MTS, sendo que cada um será lido mensalmente. Os grupos de dosímetros são mantidos em um recipiente de isopor e a temperatura é verificada diariamente. O primeiro grupo foi lido no dia 08/03/2023 e o último grupo será lido no dia 16/12/2023. Quando as leituras são realizadas, é calculada a média e o desvio padrão. O cálculo do percentual do desvanecimento [D (%)] é dado pela equação 1:

$$D (\%) = \left[\left(\frac{\text{Média das leituras no 1º dia}}{\text{Média das leituras em cada mês}} \right) - 1 \right] * 100\% \quad (1)$$

RESULTADOS

Verificou-se que dos 309 TLDs MTS, 108 foram selecionados (o que corresponde a 31% do total) e dos 358 TLDs MCP foram 96 selecionados (correspondendo a 30% do total). Devido à quantidade dos TLDs, não será possível inserir a tabela referente à análise da homogeneidade nesse presente estudo.

Com relação ao teste do desvanecimento, de acordo com o quadro 2 apresentado, verificou-se que após 6 meses houve uma queda de sinal de 29,8% para o MCP e 68% para o MTS, o que não está de acordo com a norma Decreto de Lei de Portugal DL 167 de 2002 que preconiza a taxa de desvanecimento abaixo de 10% ao mês.

Apesar de ficar fora da regulamentação, os autores verificaram uma instabilidade no funcionamento da leitora, com isso sugere-se que a leitura seja feita logo após a exposição, para que não haja perda de sinal. Como não é possível reler um dosímetro já lido. De forma que, qualquer erro que possa ter ocorrido nos processos de leitura pode ter comprometido as medidas, uma vez que não é possível ler o TLD novamente. Os testes de desvanecimento ainda estão sendo realizados, mas para exemplificar como foram feitas as análises, seguem os quadros 1 e 2, a seguir.

Quadro 1 – Leituras efetuadas no 1º dia (08/03/2023), juntamente com os valores da média e desvio padrão

MCP		MTS	
Número do TLD	Leitura (contagens) 1º dia	Número do TLD	Leitura (contagens) 1º dia
172	74423,66	82	6765,33
269	100486,00	184	3242,33
99	78739,66	258	5292,67
223	66878,66	35	3504,00
13	97774,00	281	5136,00
69	86931,00	289	4963,00
265	108935,34	23	3543,00
187	81797,00	246	5391,00
65	67842,66	111	4359,67
		190	4834,33
		247	4999,67
Média	84867,55	Média	4730,09

**XIII Seminário de Extensão e Inovação
XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR

Desvio Padrão	14847,26	Desvio Padrão	1022,80
Desvio Padrão (%)	17,5	Desvio Padrão (%)	21,6

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quadro 2 – Leituras efetuadas após 6 meses (14/09/2023), juntamente com a média, desvio padrão e fator de desvanecimento (D(%)).

MCP		MTS	
Número do TLD	Leitura (contagens) 6 meses	Número do TLD	Leitura (contagens) 6 meses
237	71479,00	352	3266,67
188	64170,00	298	2789,33
165	73326,34	245	3237,33
100	55131,00	218	3117,33
138	62899,00	230	3410,67
34	61477,00	203	3958,00
181	51207,00	49	2176,67
139	69869,34	67	1800,67
254	86170,00	66	1632,67
108	58055,00	278	2767,67
Média	65378,37	Média	2815,701
Desvio Padrão	10193,38	Desvio Padrão	743,28
Desvio Padrão (%)	15,6	Desvio Padrão (%)	26,4
D (%)	29,8	D (%)	68,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

CONCLUSÃO

As pesquisas sobre as características dos detectores aprimoram o conhecimento sobre o uso desses dispositivos na dosimetria e proteção radiológica. Sendo assim, é importante conhecer as características desses dosímetros e, no presente trabalho, identificaram-se e analisaram-se parâmetros relativos às características de homogeneidade e desvanecimento dos TLDs MCP e MTS. Foi verificado que, após a exposição de uma fonte de Co-57 por 40 horas, foi determinado o intervalo de homogeneidade e 30% da quantidade total dos dosímetros apresentou a mesma resposta luminescente tanto para o MCP quanto para o MTS. Observando a taxa de desvanecimento, os dosímetros submetidos à leitura após 6 meses do dia em que foram irradiados apresentaram uma perda de sinal de 68% para o MTS e de 29,8% para o MPC. Ao que se refere a taxa de desvanecimento [D (%)], que normaliza um padrão desejável menor que 10% por mês, não foi observada no estudo, pois se verificou uma instabilidade de funcionamento da leitora. A leitora antes desse estudo apresentou interrupção das leituras, por esse motivo foi enviada para manutenção ao representante da marca no Brasil, que declarou que não apresentava as falhas mencionadas e esta pesquisa veio analisar e confirmar que estava ocorrendo novamente a instabilidade. Como uma das características analisadas foi do desvanecimento (que verifica o decaimento da leitora de um TLD ao longo do tempo), observou-se que estas falhas continuaram aparecendo em algumas leituras (não em todas), permitindo que fosse, sim, feita uma análise. Os autores recomendam de que, quando os dosímetros disponíveis pela UTFPR, forem irradiados, eles sejam lidos pela leitora da UTFPR, o mais breve possível, uma vez que a taxa de desvanecimento observada foi bastante longa. Também, pode-se sugerir que sejam

empregados, em cada região irradiada, 3 ou mais TLDs para que se calcule a média das leituras fornecidas por eles e o desvio padrão possa ser reduzido.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela viabilização dos recursos financeiros que possibilitaram este estudo.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

DUGGAN, L., HOOD, C., WARREN-FORWARD, H., HAQUE, M.; KRON, T., **Variations in dose response with x-ray energy of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescence dosimeters: implications for clinical dosimetry**, Phys. Med. Biol., 49, 3831-3845, 2004.

FILIPOV, D., SANTOS, BARBOSA, V. S., DA COSTA, D. S., YAGUI, A., **Dependência energética de dosímetros termoluminescentes LiF:Mg,Ti e LiF:Mg,Cu,P no radiodiagnóstico**, 2018.

FREIRE, C., CALADO, A., CARDOSO, J.V., SANTOS, L.M., ALVES, J.G., **Comparison of LiF: (TLD-100 and TLD-100H) detectors for extremity monitoring, Radiation Measurements**, 43, 646-650, 2008.

IEC. International Electrotechnical Commission. **Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for use in determination of characteristics** (IEC 61267:2005), Geneva: International Electrotechnical Commission, 2005.

KRON, T. Thermoluminescence Dosimetry and its Applications in Medicine, Part 1: Physics, Materials and Equipment, Australasian Phys. & Eng. Sci. in Medicine, 17 (4), 175-179, 1994.

PEREIRA, S. M., **Comparação das características dos dosímetros termoluminescentes LiF:Mg,Ti e LiF:Mg,Cu,P**, Orientadora Danielle Filipov, 2014, TCC (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Radiologia, Departamento de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TAUHATA, L; SALATI, I.P.A; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 5ª revisão. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003.