

ESTUDO DA RESPOSTA TL DE DOSÍMETROS DE LiF:Mg,Ti E CaSO₄:Dy UTILIZANDO SIMULADOR PMMA EM FEIXES CLÍNICOS DE FÓTONS DE 15 MV APLICADOS EM RADIOTERAPIA

Amanda Bravim¹, Roberto K. Sakuraba^{1,2}, José Carlos da Cruz², Letícia Lucente Campos¹

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)

Av. Lineu Prestes 2242 - Cidade Universitária - CEP: 05508-000 - São Paulo - SP BRASIL

²Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE)

Avenida Albert Einstein, 665 – Morumbi - CEP 05652-000 - São Paulo - SP BRASIL

a.bravim@usp.br

RESUMO

Em tratamentos de Radioterapia é importante que os tecidos cancerosos sejam irradiados com uma dose muito precisa de radiação. Essa terapia exige grande exatidão na dose absorvida pelo tumor, pois uma variação de $\pm 5\%$ é determinante no risco de recidiva ou seqüelas. O objetivo da dosimetria em radioterapia é determinar a dose absorvida por meio da calibração do feixe de radiação. O pequeno tamanho e o amplo intervalo de dose são as vantagens em se usar dosímetros termoluminescentes para essa finalidade. Além disso, é possível fazer uma medida direta de dose sob algumas condições nas quais outras formas de dosimetria não são possíveis. Este trabalho tem como objetivo estudar a resposta TL dos detectores de Sulfato de Cálcio dopado com Disprósio (CaSO₄:Dy) e Fluoreto de Lítio dopado com Magnésio e Titânio (LiF:Mg,Ti) em feixes clínicos de fótons de 15 MV, aplicados em Radioterapia, utilizando um simulador de PMMA. Os dosímetros apresentaram um comportamento linear da resposta TL para doses até 5 Gy e o CaSO₄:Dy é até 24 vezes mais sensível do que o LiF:Mg,Ti para o feixe de fótons de 15 MV.

Descritores: Dosimetria, Termoluminiscência, Radioterapia.

ABSTRACT

In Radiotherapy treatment is important that cancerous tissues have been irradiated with a very precise radiation dose. This therapy requires great accuracy in the tumor's absorbed dose, a variation of $\pm 5\%$ is determining the risk of recurrence or sequelae. The objective of dosimetry in radiotherapy is to determine the absorbed dose through the calibration of the radiation beam. The small size and wide range of dose are the advantages to using dosimeters for this purpose. Furthermore, it is possible to make a direct dose measurement under some conditions in which other forms of dosimetry are not possible. This work aims to study the TL response of Calcium Sulfate doped with Dysprosium (CaSO₄:Dy) and Lithium Fluoride doped with Magnesium and Titanium (LiF:Mg,Ti) detectors in 15 MV clinical photon beams, applied in radiotherapy, using a PMMA phantom. The dosimeters showed a linear TL response for doses up to 5 Gy and CaSO₄:Dy is up to 24 times more sensitive than LiF:Mg,Ti for 15 MV photon beam.

Key words: Dosimetry, Thermoluminescence, Radiotherapy.

INTRODUÇÃO

Os principais objetivos da dosimetria clínica são promover a proteção radiológica dos indivíduos (pacientes e trabalhadores) e estabelecer um controle de qualidade do feixe de radiação. Várias organizações, como a AAPM (American Association of Physicists in

Medicine) [1] e a ESTRO (European Society of Therapeutic Radiology and Oncology) [2,3] recomendam a verificação da dose no paciente para a melhoria da qualidade no tratamento radioterápico.

Os dosímetros termoluminescentes (DTL) possuem um longo histórico na dosimetria da radiação ionizante em

radioterapia, área na qual a maioria das medidas têm sido feitas com fluoreto de lítio (LiF) [4,5,6]. A alta sensibilidade dos materiais termoluminescentes permite a construção de detectores resistentes e em várias formas e tamanhos, o que os fazem uma ferramenta útil, em particular, para medidas de regiões de gradientes agudos de dose [7,8]. É fundamental assegurar o princípio da otimização de doses de radiação aplicadas à pacientes em tratamentos, a fim de se controlar os riscos associados à exposição [9].

Recentemente, pesquisas realizadas nos Estados Unidos estudaram os planejamentos de tratamentos que utilizam a radiação ionizante e apontaram que cerca de 50% dos hospitais e 90% das instituições acadêmicas utilizavam o método da termoluminescência para dosimetria *in vivo*. [9]

Em radioterapia, a maioria das medidas utilizando dosímetros termoluminescentes tem sido feita empregando o fluoreto de lítio (LiF), geralmente o TLD-100 [10,11,12] comercializado pela Harshaw.

Outro material termoluminescente, o sulfato de cálcio dopado com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$), apresenta um extenso intervalo de linearidade da resposta com a radiação, que vai de μGy a Gy [13]. Este apresenta dependência energética da resposta para radiação de fótons na região de efeito fotoelétrico devido ao seu número atômico efetivo alto (15,3), o que pode ser contornado com o uso de filtros no porta dosímetro [14]. O $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ já tem sido empregado em medidas de dose de radioproteção devido à sua alta sensibilidade [13,15] e estudos recentes têm avaliado sua aplicação relacionada à radioterapia, principalmente envolvendo feixes de elétrons [16]. Este dosímetro é fabricado e comercializado pelo Laboratório de Materiais Dosimétricos do Centro de Metrologia das Radiações/IPEN [16].

As medidas realizadas com simulador de PMMA apresentadas neste trabalho visam estudar a resposta do $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ e do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ para radiação de fótons e, também, a aplicabilidade do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ na dosimetria em radioterapia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material dosimétrico:

- ✓ 100 DTLs de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ produzidos pelo IPEN;
- ✓ 100 DTLs de $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ produzidos pela Harshaw.

Objeto simulador:

- ✓ Placas de PMMA de dimensões $30 \times 30 \text{ cm}^2$.

Sistemas de irradiação:

- ✓ Fonte de ^{60}Co do Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI-IPEN), com atividade nominal de 0,953 GBq em 11/11/2009;
- ✓ Acelerador linear *Varian* modelo 23EX do Hospital Israelita Albert Einstein.

Equipamentos:

- ✓ Forno tipo mufla *Vulcan* modelo 3-550 PD;
- ✓ Estufa cirúrgica retilínea marca FANEN, modelo 315-IEA 11200;
- ✓ Leitora TL *Harshaw* modelo 3500.

Primeiramente os DTLs foram submetidos a tratamentos térmicos padrão pré irradiação: $300^\circ\text{C}/3\text{h}$ ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) e $400^\circ\text{C}/1\text{h} + 100^\circ\text{C}/2\text{h}$ ($\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$). Em seguida, foram irradiados na fonte de radiação gama do ^{60}Co do LCI-IPEN, no ar e em condições de equilíbrio eletrônico. Após a avaliação das respostas TL, os DTLs foram separados em grupos de acordo com a sua sensibilidade ($\pm 5\%$).

Nas irradiações em feixes clínicos de fótons (15 MV) no acelerador linear marca *Varian* modelo 23EX do Hospital Albert Einstein, os DTLs foram posicionados na profundidade de máxima dose (5 cm) nas placas de PMMA. Para assegurar o retroespalhamento do feixe, 5 cm de placas de PMMA foram utilizadas sob os DTLs. As especificações seguidas para as irradiações foram as recomendadas pelo *Technical Reports Series* Nº. 398 (TRS 398) da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica): tamanho do campo de radiação - $10 \times 10 \text{ cm}^2$, distância fonte-DTLs - 100 cm [16].

Para as curvas de resposta em função da dose foram utilizados cinco DTLs para cada um dos seguintes valores de dose: 100 e 500 mGy, 1, 5 e 10 Gy. Cada ponto representa a média das 5 leituras e as barras de erros são os seus respectivos desvios-padrões da média (1σ) com nível de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta as curvas de dose-resposta dos DTLs de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ e $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ para fótons de 15 MV e simulador de PMMA.

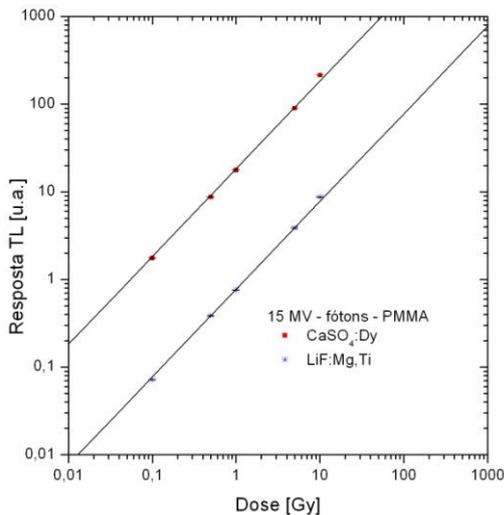


Figura 1: Curva de dose-resposta do CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti a fótons (15 MV) em objeto simulador de PMMA.

A figura 2 apresenta a sensibilidade média dos DTLs de CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti em função da dose de radiação.

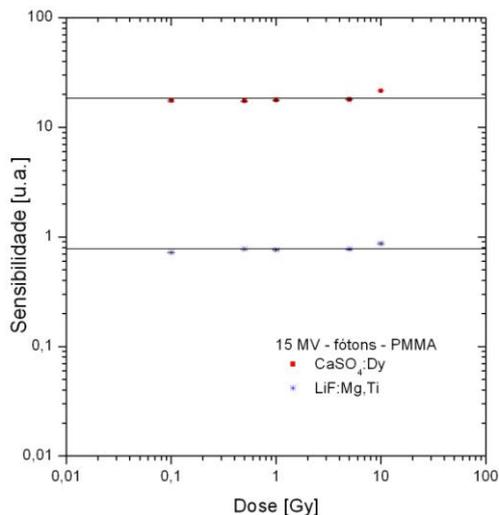


Figura 2. Sensibilidade TL média do CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti a fótons (15 MV) em objeto simulador de acrílico.

Pode ser observado um comportamento linear da resposta TL para o intervalo de dose de 0,1 a 5 Gy.

A tabela 1 mostra os valores de resposta TL e sensibilidade média obtidos para todas as doses estudadas e para os dois tipos de detectores.

Tabela 1: Valores de resposta TL e sensibilidade média do CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti

	Dose (Gy)	Resposta TL (μC)	Sens. média (μC.Gy ⁻¹)
CaSO₄:Dy	0,1	1,755 (±0,028)	17,55 (±0,28)
	0,5	8,706 (±0,081)	17,41 (±0,16)
	1,0	17,73 (±0,195)	17,73 (±0,19)
	5,0	89,78 (±0,28)	17,95 (±0,06)
	10	214,9 (±0,4)	21,49 (±0,04)
LiF:Mg,Ti	0,1	0,0722 (±0,0003)	0,722 (±0,003)
	0,5	0,3868 (±0,0034)	0,773 (±0,007)
	1,0	0,7609 (±0,0051)	0,761 (±0,005)
	5,0	3,862 (±0,061)	0,772 (±0,012)
	10	8,695 (±0,101)	0,869 (±0,011)

A sensibilidade média do CaSO₄:Dy apresenta valores cerca de 22 a 24 vezes maiores do que o LiF:Mg,Ti.

A reprodutibilidade da resposta TL varia de 0,17 a 1,6% para o CaSO₄:Dy, e de 0,45 a 1,56% para o LiF:Mg,Ti, em feixe de fótons de 15 MV e simulador de PMMA.

CONCLUSÕES

A resposta TL dos dosímetros para a irradiação com feixes de fótons de 15 MV apresenta comportamento linear no intervalo de dose de 0,1 a 5 Gy.

A reprodutibilidade da resposta TL para esse tipo de feixe de radiação (fótons de 15MV) do CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti encontram-se de acordo com as referências na literatura (até 2,5%) [15].

Os resultados indicam que os DTLs de CaSO₄:Dy podem ser aplicados na dosimetria de fótons em radioterapia, podendo ser uma alternativa para substituir o TLD-100. Além do que é um material de baixo custo e, por ser fabricado no IPEN, possui maior facilidade de aquisição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Pós-Graduação, à FAPESP pelo apoio financeiro para participação no Congresso e ao Hospital Israelita Albert Einstein pelas irradiações

REFERÊNCIAS

- [1] KUTCHER, G.; COIA, L; GILLIN, M.; HANSON, W.F.; LEIBEL, S.; MORTON, R.J.; PALTA, J.R.; PURDY, J.A.; REINSTEIN, L.E.; SVENSSON, G.K.; WELLER, M.; WINGFIELD, L. Comprehensive QA for Radiation

- Oncology: Report of AAPM. Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med. Phys.* v.21, p.581-618, 1993.
- [2] HUYSKENS, D.; BOGAERTS, R.; VERSTRAETE J.; LÖÖF, M.; NYSTRÖM, H.; FIORINO, C.; BROGGI, S.; JORNET, N.; RIBAS, M.; THWAITES, D. I. Practical Guide lines for the Implementation of In Vivo Dosimetry with Diodes in External Radiotherapy with Photons Beams (Entrance Dose). Physics for Clinical Radiotherapy Booklet 5; ESTRO: Brussels: Belgium, 2001.
- [3] VAN DAM, J., MARINELLO, G. Methods for In Vivo Dosimetry in External Radiotherapy. Physics for Clinical Radiotherapy Booklet, 1; ESTRO: Brussels: Belgium, 1994.
- [4] EGGERMONT, G. JACOBS, R.; JANSSESNS, A.; SEGAERT, O.; THIELENS, G.. Dose relationship, energy response and rate dependence of LiF-100, LiF-7 and CaSO₄:Mn from 8 keV to 30 MeV. In: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON LUMINESCENCE DOSIMETRY, October, 11-14. Riso. Proceedings...Danish AEC Research Stablishment. 1971. p. 444-460.
- [5] GOODEN, D. S.; BRICKNER, T. J. The routine use of thermoluminescence dosimetry for radiation therapy. *Radiology*, v. 102, p. 685-689, 1972.
- [6] HUFTON, A. P. Practical Aspects of thermoluminescence Dosimetry. London: HPA, 1984.
- [7] DUCH, M. A.; GINJAUME, M.; CHAKKOR, H.; ORTEGA, X.; JORNET, N.; RIBAS, M. Thermoluminescence dosimetry applied to in vivo dose measurements for total body irradiation techniques. *Radiother. Oncol.* v. 47, n.º3, p. 319-324, 1998.
- [8] VENABLES, K.; MILES, E.A.; AIRD, E.G.A.; HOSKIN, P.J. START trial management group. The use of in vivo thermoluminescent dosimeters in the quality assurance programme for START breast fractionation trial. *Radiother. Oncol.* v. 71, n.º3, p. 303-310, 2004.
- [9] KRON, T. Applications of thermoluminescence dosimetry in medicine. *Radiat. Prot. Dosimetry*, v. 85, n. 1-4, p. 333-340, 1999.
- [10] OLKO, P.; MARCZEWSKA, B.; CZOPYK, L.; CZERMAK M. A.; KŁOSOWSKI, M.; WALIGÓRSKI, M. P. R. New 2-d dosimetric technique for radiotherapy Based on planar thermoluminescent detectors. *Radiation Protection Dosimetry.* v. 118, n.º. 2, p. 213–218, 2006.
- [11] LIVINGSTONE, J.; HOROWITZ, Y. S.; OSTER, L.; DATZ, H.; LERCH, M.; ROSENFELD, A; HOROWITZ; A. Experimental investigation of the 100 keV x-ray dose response of the high-temperature thermoluminescence in LiF:Mg,Ti (TLD -100): theoretical interpretation using the unified interaction model. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 138, n.º 4, p. 320–333, 2010.
- [12] NELSON, V. K.; McLEAN, I. D.; HOLLOWAY, L. Thermoluminescent dosimetry (TLD) for megavoltage electron beam energy determination. *Radiation Measurements.* v.45, p. 698–700, 2010.
- [13] CAMPOS, L.L.; LIMA, M.F. Thermoluminescent CaSO₄:Dy + Teflon Pellets for Beta Radiation Detection. *Radiation Protection Dosimetry.* v.18, p. 295-299, 1987.
- [14] CAMPOS, L.L.; LIMA, M.F. Dosimetric Properties of CaSO₄ : Dy + Teflon Pellets Produced at IPEN. *Radiation Protection Dosimetry.* v.14, p. 333 -337, 1986.
- [15] CAMPOS, L.L. Preparation of CaSO₄ : Dy TL Single Crystals. *J.Lum.* v.28, p.481-485, 1983.
- [16] NUNES, M.G., CAMPOS, L.L. Study of CaSO₄:Dy and LiF:Mg,Ti Detectors TL Response to Electron Radiation using a SW Solid Water Phantom. *Radiat. Meas.* v.43, p. 459-462, 2008.
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water (TRS-398), Vienna, Abr. 2000.