



RESPOSTA TL, SENSIBILIDADE E EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DE DOSIMETROS TL EM FEIXE CLÍNICO DE ELÉTRONS DE 4 MeV EMPREGANDO SIMULADOR DE ÁGUA

*Amanda Bravim*¹, *Roberto K. Sakuraba*², *José Carlos da Cruz*³, *Leticia L. Campos*⁴

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN), São Paulo, Brasil, abravin@ipen.br

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN), São Paulo, Brasil / Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE), São Paulo, Brasil, rsakuraba@einstein.br

³ Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE), São Paulo, Brasil, josecarlosc@einstein.br

⁴ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN), São Paulo, Brasil, lcrodri@ipen.br

Resumo: Estudou-se a resposta TL, sensibilidade e eficiência intrínseca de dosímetros termoluminescentes de CaSO₄:Dy, LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti para feixe de elétrons de 4 MeV e simulador de água. Os três tipos de detectores apresentaram comportamento linear da resposta TL para o intervalo de dose, energia e objeto simulador estudado. O CaSO₄:Dy apresentou desempenho superior quanto à sensibilidade e eficiência intrínseca.

Palavras chave: termoluminescência, dosimetria, radioterapia, elétrons.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a portaria 453 de 1º de junho de 1998 do Ministério da Saúde, as exposições radiológicas para fins de saúde constituem a principal fonte de exposição da população a fontes artificiais de radiação ionizante. A verificação de dose no paciente tem sido recomendada para a melhoria da qualidade no tratamento radioterápico por várias organizações [1-2].

Em tratamentos radioterápicos é necessário se ter a certeza que o paciente está recebendo a dose correta prescrita. O principal objetivo da dosimetria em radioterapia é determinar, com maior precisão, a dose absorvida pelo tumor. Isso pode ser feito através da calibração do feixe de radiação e da dosimetria de rotina para o controle de garantia de qualidade, tanto do equipamento de terapia quanto dos tratamentos [3]. Como existe a dificuldade em se fazer a dosimetria *in vivo*, recorre-se a cálculos que relacionam doses medidas em simuladores com a dose no paciente [4].

A Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ICRU) estabeleceu em 1976 que “*todos os procedimentos envolvidos no planejamento e na execução da radioterapia podem contribuir para uma incerteza significativa na dose administrada no paciente*” e “*a evidência disponível para alguns tipos de tumores aponta a necessidade de exatidão de 5% na liberação da dose no volume alvo se a erradicação do tumor primário for desejada*”. Assim, os valores máximos recomendados para a incerteza na dose variam de $\pm 5\%$ [5].

Os feixes de elétrons de energias altas têm largo emprego na área médica, principalmente no tratamento de diversos tipos de câncer. A aplicação de elétrons em terapia exige grande exatidão na dose absorvida pelo tumor, pois uma pequena variação é altamente determinante no risco de recidiva ou seqüelas [5]. Este fato exige medidas e controle rigorosos das doses absorvidas pelos pacientes em tratamento por meio de dosímetros que apresentem grande exatidão e precisão nas medidas fornecidas.

Em radioterapia, a maioria das medidas utilizando dosímetros termoluminescentes (DTLs) tem sido feita empregando o fluoreto de lítio dopado com magnésio e titânio, LiF:Mg,Ti (TLD-100) comercializado pela Harshaw [6-8]. Mais recentemente tem sido caracterizados e utilizados os micro dosímetros de LiF:Mg,Ti, que são detectores semelhantes aos TLD-100, porém com menores dimensões [9]. Esse fósforo possui algumas características que justificam sua popularidade. Entre elas estão seu número atômico efetivo próximo ao tecido humano, sua boa sensibilidade e uma grande confiabilidade nas medidas [10]. Sua aplicação em radioterapia é bastante recomendável pois com ele é possível obter, na prática clínica, uma precisão melhor que $\pm 5\%$ nas medidas [11].

O CaSO₄:Dy é um dosímetro desenvolvido e fabricado pelo Laboratório e Materiais Dosimétricos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (LMD/IPEN). Ainda pouco explorado na área da radioterapia, esse dosímetro já é utilizado em medidas de dose em radioproteção e na monitoração das radiações beta e de fótons. Porém há um grande interesse no uso do CaSO₄:Dy na dosimetria em radioterapia não somente pelas suas características de sensibilidade e linearidade de resposta com a radiação, mas também devido a facilidade de aquisição dos dosímetros pelo IPEN. Embora possua número atômico efetivo superior ao do tecido humano, esse dosímetro apresenta desempenho semelhante ao LiF:Mg,Ti quanto à dependência energética com a taxa de dose e com temperaturas de utilização e armazenamento [12].

O desempenho do DTL de CaSO₄:Dy aplicado na dosimetria de feixes de elétrons de alta energia foi estudado por Chatterjee et al (2009) Nunes e Campos (2008),

Matsushima (2010) e Bravim et al (2011) em que analisaram as propriedades das respostas TL desses DTLs e estimaram doses recebidas por pacientes na pele e corpo inteiro [13-16].

As medidas realizadas com simulador de água apresentadas neste trabalho visam estudar a resposta TL, a sensibilidade e a eficiência intrínseca dos dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ para radiação com feixe de elétrons de 4 MeV e analisar também a aplicabilidade do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ na dosimetria em radioterapia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os tratamentos térmicos pré-irradiação dos diferentes dosímetros (Fig.1) foram: $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ - 300°C/3h em forno tipo mufla *Vulcan* modelo 3-550 PD; $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ - 400°C/1h em forno tipo mufla *Vulcan* modelo 3-550 PD + 100°C/2h em estufa cirúrgica retilínea marca FANEN, modelo 315-IEA 11200. Para o selecionamento em lotes, os dosímetros foram irradiados na fonte de radiação gama do ^{60}Co do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN (0,953 GBq), no ar e em condições de equilíbrio eletrônico e, após a avaliação das respostas TL, foram separados em grupos de acordo com a sua sensibilidade ($\pm 5\%$).



Fig.1. Dosímetros termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ respectivamente.

Nas irradiações em feixes clínicos de elétrons de 4 MeV no acelerador linear da marca *Varian* modelo Clinac 2100C do Hospital Albert Einstein, os DTLs foram posicionados na profundidade de máxima dose (1,0 cm) no simulador de água com dimensões 40,0 x 40,0 x 40,0 cm^3 (Fig.2). Para assegurar o retroespalhamento do feixe, 5 cm do mesmo material do objeto simulador foram utilizados sob os DTLs. Para esse tipo de irradiação foram seguidas as especificações recomendadas pelo TRS-398 da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA): tamanho do campo de radiação - 10 x 10 cm^2 , distância fonte/DTLs - 100 cm [17].

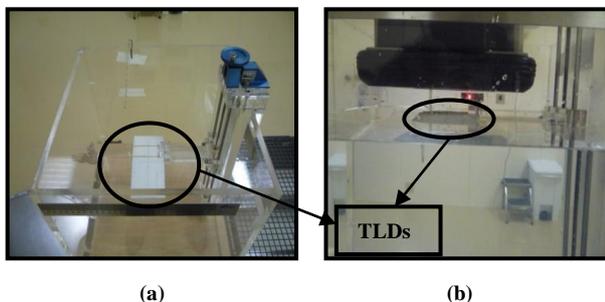


Fig.2. (a) Objeto simulador de água; (b) Arranjo experimental da irradiação dos DTLs em objeto simulador de água

As leituras das respostas TL foram feitas entre 24 e 32 horas após a irradiação utilizando uma leitora TL da marca *Harshaw* modelo 3500 (Fig.3).



Fig.3. Sistema de leitura TL - leitora TL *Harshaw* e computador com o sistema de aquisição de dados TLDSHELL.

Para as curvas de resposta em função da dose foram utilizados 5 DTLs para cada um dos seguintes valores de dose: 0,5, 1 e 5 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%.

A eficiência intrínseca foi calculada através da seguinte equação 1:

$$EI = \frac{A}{m} \quad (1)$$

em que: 'A' é o coeficiente angular da reta ajustada fornecido pelo programa *Origin 7.0* e 'm' a massa do dosímetro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de dose-resposta dos dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ para feixe de elétrons de 4 MeV e simulador de água são apresentadas na figura 4.

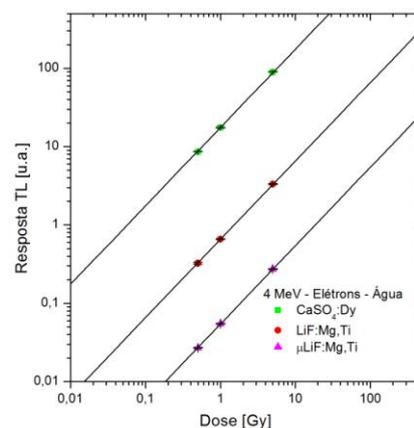


Fig. 4. Curva de dose-resposta do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ à radiação elétrons de 4 MeV em objeto simulador de água.

Para os três tipos de dosímetros pode ser observado um comportamento linear da resposta TL no intervalo de dose de 0,5 a 5 Gy, mesmo comportamento observado em recentes estudos utilizando feixes clínicos de elétrons de 6 MeV e simuladores de PMMA e água sólida [14].

Na Figura 5 é apresentada a sensibilidade média dos três diferentes tipos de dosímetros termoluminescentes para o intervalo de dose de 0,5 a 5 Gy.

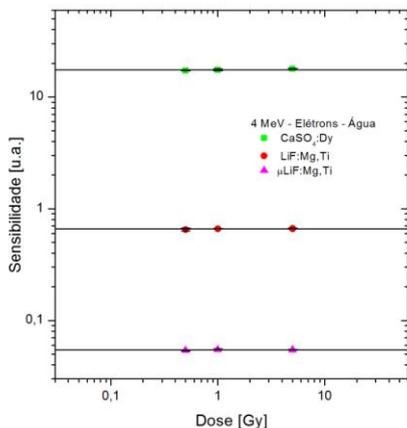


Fig.5. Sensibilidade TL média do $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ à radiação de elétrons de 4 MeV para objeto simulador de água.

A sensibilidade média obtida para o feixe de elétrons de 4 MeV foi de $17,54 \pm 0,37 \mu\text{C.Gy}^{-1}$, $0,6569 \pm 0,0069 \mu\text{C.Gy}^{-1}$ e $0,0544 \pm 0,0004 \mu\text{C.Gy}^{-1}$ para os dosímetros de $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ respectivamente.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de coeficientes angulares dos dosímetros de $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ utilizados para o cálculo da eficiência intrínseca.

Tabela 1. Coeficientes angulares dos TLDs para feixe de elétrons de 4 MeV e simulador de água.

TLD	A [$\mu\text{C.Gy}^{-1}$]
$\text{CaSO}_4\text{:Dy}$	17,91
LiF:Mg,Ti	0,6625
$\mu\text{LiF:Mg,Ti}$	0,05404

A eficiência intrínseca foi de $(1,08 \pm 0,11) \mu\text{C.Gy}^{-1}.\text{mg}^{-1}$ para o $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, $(0,331 \pm 0,033) \mu\text{C.Gy}^{-1}.\text{mg}^{-1}$ para o LiF:Mg,Ti e $(0,054 \pm 0,005) \mu\text{C.Gy}^{-1}.\text{mg}^{-1}$ para o $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$.

3. CONCLUSÃO

As curvas de dose-resposta dos três dosímetros para a irradiação com feixes de elétrons de 4 MeV apresentaram comportamento linear no intervalo de dose de estudado. O dosímetro de $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ apresenta sensibilidade 26 e 322 vezes superior ao dos dosímetros de LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ respectivamente. A eficiência intrínseca do $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ é da ordem de 3 e 20 vezes maior que a eficiência do LiF:Mg,Ti e do $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ respectivamente, para a energia e tipo de feixe analisado. Os resultados indicam que os DTLs de $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ podem ser uma nova alternativa de detector para a dosimetria de feixes clínicos de elétrons. Por ser um produto nacional, fabricado no IPEN, possui um menor custo e uma maior facilidade quanto a sua aquisição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP pelo apoio financeiro e ao Hospital Israelita Albert Einstein pelas irradiações.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Kutcher; L. Coia; M. Gillin; W.F. Hanson; S. Leibel; R.J. Morton; J.R. Palta; J.A. Purdy; L.E. Reinstein; G.K. Svensson; M. Weller; L. Wingfield. "Comprehensive QA for Radiation Oncology: Report of AAPM". Med. Phys. 21:581-618, 1993.
- [2] J. Van Dam, G. Marinello. "Methods for In Vivo Dosimetry in External Radiotherapy. Physics for Clinical Radiotherapy Booklet", 1; ESTRO: Brussels; Belgium. 1994.
- [3] International Commission On Radiation Units And Measurements - ICRU Report 24: "Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures". Bethesda, Maryland. 1976.
- [4] P. Metcalfe; T. Kron; P. Hoban. "The Physics of Radiotherapy X-rays from Linear Accelerators". Madison, WI: Med. Phys. 2007.
- [5] H.E. JOHNS; J.R. CUNNINGHAM. "The Physics of Radiology". 3.ed. Illinois: Charles C. Thomas, 1974.
- [6] P. Olko; B. Marczevska; L. Czopyk; M. A. Czermak; M. Kłosowski; M. P. R. Waligórski. "New 2-d dosimetric technique for radiotherapy based on planar thermoluminescent detectors". Radiation Protection Dosimetry. v. 118, nº 2, p. 213–218, 2006.
- [7] J. Livingstone; S. Horowitz; Y. L. Oster; H. Datz; M. Lerch; A. Rosenfeld; A. Orowitz. "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, nº. 4, p. 320–333, 2010.
- [8] V. K. Nelson; I. D. Mclean; L. Holloway. "Thermoluminescent dosimetry (TLD) for megavoltage electron beam energy determination". Radiation Measurements. v. 45, p. 698-700, 2010.
- [9] M. Moscovitch; Y. S. Horowitz. "Thermoluminescent materials for medical applications: LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P ". Radiation Measurements. v. 41, n. 1, p. S71-S77, 2007.
- [10] S.W.S. Mckeever; M. MOSCOVITCH; P.D. TOWNSEND. "Thermoluminescence dosimetry materials: Properties and uses." Ashford, Kent: Nuclear Technology Publishing, 1995.
- [11] B. Rudén. "Evaluation of the clinical use of TLD." Acta Raiol. Ther. Phys. Biol., v. 15, p. 447-467, 1976.
- [12] Nunes, M.G.; Campos, L.L. "Study of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ and LiF:Mg,Ti detectors TL response to electron radiation using a SW SolidWater phantom". Rad. Measurements. v. 49, p. 459-462, 2008.
- [13] S. Chatterjee.; A.K. Bakshi; R.A. Kinkhikar; G. Chourasiya.; R.K. Kher. Response of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ phosphor based TLD badge system to high energy electron beams from medical linear accelerator and estimation of whole body dose and skin dose. Rad. Measurements., v.44, p.257-262, 2009.
- [14] A. Bravim; R.K. Sakuraba; J.C. Cruz; L.L.Campos. "Study of LiF:Mg,Ti and $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ dosimeters TL response to electron beams of 6 MeV applied to radiotherapy using PMMA and solid water phantoms." Radiation Measurements. 2011. doi:10.1016/j.radmeas.2011.05.033
- [15] L.C. Matsushima. "Avaliação da resposta de detectores termoluminescentes na dosimetria de feixes clínicos utilizando diferentes simuladores." Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2010.
- [16] M.G. Nunes; L.L. Campos. "Study of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ and LiF:Mg,Ti detectors TL response to electron radiation using a SW SolidWater phantom." Rad. Measurements. v. 49, 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. Vienna, Abr. 2000 (TRS-398).