

Avaliação da resposta de detectores termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ na dosimetria de feixes clínicos de fótons utilizando simulador de água

Luciana C. Matsushima¹, Glauco R. Veneziani¹, Roberto K. Sakuraba^{1,2}, José C. da Cruz² e Letícia L. Campos¹

¹Gerência de Metrologia das Radiações (GMR) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP: 05508-000, São Paulo, SP, Brasil.
Email: lmatsushima@usp.br, veneziani@ipen.br, lcrodri@ipen.br
<https://www.ipen.br/sitio/>

²Sociedade Beneficente Israelita Brasileira – Hospital Albert Einstein (HAE)
Avenida Albert Einstein, 665, Morumbi, CEP: 05652-000, São Paulo, SP, Brasil.
rsakuraba@einstein.br, jccruz@einstein.br
www.einstein.br

Abstract. Na área de dosimetria clínica, uma calibração eficiente e precisa do feixe de radiação garante o conhecimento da dose de radiação fornecida ao paciente, assegurando, portanto, o sucesso do tratamento radioterápico. Este trabalho tem por objetivo o estudo comparativo da resposta termoluminescente dos dosímetros de sulfato de cálcio dopado com disprósio ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) produzidos pelo IPEN com a resposta dos dosímetros de fluoreto de lítio dopado com magnésio e titânio ($\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$) na dosimetria de feixes clínicos de fótons (6 e 15 MV) utilizando objeto simulador de água. Foram obtidas as curvas de dose-resposta para radiação gama do cobalto-60 no ar e em condições de equilíbrio eletrônico (placa de PMMA), e para fótons clínicos dos aceleradores Clinac modelo 2100C dos dois hospitais avaliados: Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e Hospital Albert Einstein. Foi também avaliada a sensibilidade e a reprodutibilidade dos três tipos de dosímetros.

1 Introdução

O controle de qualidade nas técnicas radioterápicas inclui os procedimentos que assegurem o desempenho seguro e consistente da prescrição da dose no volume alvo, com a mínima dose para os tecidos normais e para os trabalhadores envolvidos no processo [1]. Um programa de garantia de qualidade é necessário devido à importância na precisão da distribuição da dose na terapia das radiações. Em certos casos, a curva de isodose em radioterapia é bastante íngreme, por esse motivo, existe a evidência que uma variação na dose de 7 a 10% pode ser crucial na probabilidade de controle do tumor [1].

A técnica da dosimetria termoluminescente (TL) foi aperfeiçoada e se destaca como um dos principais métodos em dosimetrias clínicas de rotina [2]. Em

1995, uma pesquisa realizada nos Estados Unidos investigou os planejamentos de tratamentos com a utilização da radiação ionizante e constataram que cerca de 90% das instituições acadêmicas e 50% dos hospitais utilizavam o método da termoluminescência para dosimetria *in vivo* [2].

Os dois objetivos principais da dosimetria em um ambiente clínico são: promover a proteção radiológica dos indivíduos (pacientes e trabalhadores) e o controle de qualidade do feixe de radiação. É essencial assegurar o princípio da otimização para as doses de radiação aplicadas a pacientes em tratamentos, de modo a controlar os riscos associados à exposição [3, 4]. Em radioterapia, o principal objetivo da dosimetria é calcular a dose máxima ao volume alvo, conforme prescrita, minimizando a dose recebida pelos tecidos circunvizinhos sadios [3].

Este trabalho teve por objetivo o estudo comparativo da resposta TL dos dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\text{microLiF}:\text{Mg,Ti}$ na dosimetria de feixes clínicos de fótons (6 e 15 MV) utilizando objeto simulador de água. Foram obtidas as curvas de dose-resposta para radiação gama do cobalto-60 no ar e em condições de equilíbrio eletrônico (placa de PMMA), e para fótons clínicos dos aceleradores Clinac modelo 2100C. Foi também avaliada a sensibilidade dos dosímetros termoluminescentes (DTLs) e determinada a reprodutibilidade da resposta para as duas energias de fótons (6 e 15 MV).

2 Materiais e métodos

2.1 Material dosimétrico

- ✓ 200 DTLs de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ produzidos pelo IPEN;
- ✓ 200 DTLs de $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ produzidos pela *Harshaw Chemical Company*;
- ✓ 105 microDTLs de $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ produzidos pela *Harshaw Chemical Company*.

2.2 Objeto simulador

- ✓ Objeto simulador de PMMA de dimensões $30 \times 30 \times 10 \text{ cm}^3$, preenchido com água destilada.

2.3 Sistemas de irradiação

- ✓ Fonte de ^{60}Co do LCI-IPEN, com atividade nominal de 0,953 GBq em 11/11/2009;
- ✓ Aceleradores lineares *Varian* modelo Clinac 2100C do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP) e da Sociedade Beneficente Israelita Brasileira - Hospital Albert Einstein (HAE).

2.4 Equipamentos

- ✓ Forno tipo mufla com aquecimento por microondas *Vulcan* modelo 3-550 PD;
- ✓ Estufa cirúrgica Fanen modelo 315-IEA11200;
- ✓ Leitora TL *Harshaw* modelo 3500.

2.5 Irradiação dos DTLs

Inicialmente os DTLs foram submetidos ao tratamento térmico pré-irradiação:

- $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$: 300°C/3h,
- LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti : 400°C/1h + 100°C/2h.

Posteriormente, os DTLs foram irradiados na fonte de radiação gama do ^{60}Co no ar, em condições de equilíbrio eletrônico (placas de PMMA). Após a avaliação das respostas TLs os DTLs foram separados em grupos de acordo com as suas sensibilidades ($\pm 5\%$) e foi obtida a curva de dose-resposta para a radiação gama do ^{60}Co .

Para as irradiações nos feixes clínicos de fótons os DTLs selecionados foram posicionados nas profundidades de máxima dose e irradiados nos feixes de fótons (6 e 15 MV) dos dois hospitais avaliados: HC-FMUSP e Hospital Albert Einstein. As especificações seguidas para as irradiações foram as recomendadas pelo *Technical Reports Series* N°. 398 (TRS 398) [5] da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica): tamanho do campo de radiação - $10 \times 10 \text{ cm}^2$, distância fonte-DTLs - 100 cm). As profundidades de dose máxima para a irradiação dos DTLs são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Profundidades de dose máxima (cm) utilizadas para a irradiação dos DTLs.

| Feixe de radiação | | Profundidade de dose máxima (cm) | |
|-------------------|-------|----------------------------------|-----|
| | | HC-FMUSP | HAE |
| Fótons | 6 MV | 1,5 | 1,5 |
| | 15 MV | 2,9 | 2,8 |

2.6 Curvas de dose-resposta

Para a obtenção da curva de resposta em função da dose para radiação gama do ^{60}Co os DTLs foram irradiados com as seguintes doses: 0,5; 1; 10; 50; 100 e 500 mGy e 1; 5 e 10 Gy. Para as irradiações com fótons foram aplicadas as seguintes doses: 0,1; 0,5; 1; 5 e 10 Gy. Cada ponto representa a média das 10 leituras e as barras de erros são os seus respectivos desvios-padrões da média (1σ) com nível de confiança de 95%.

3 Resultados

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as curvas de dose-resposta dos três tipos de DTLs à radiação gama do ^{60}Co para irradiação no ar e em condições de equilíbrio eletrônico. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as curvas de dose-resposta para fótons (6 e 15 MV).

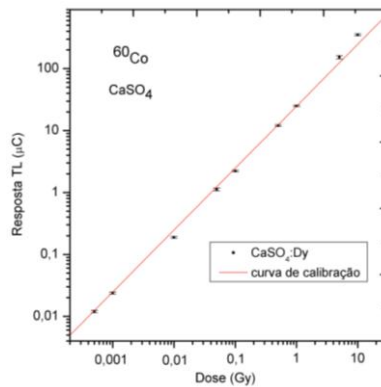


Fig. 1. Curva de dose-resposta do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ à radiação gama do ^{60}Co para irradiação no ar (equilíbrio eletrônico)

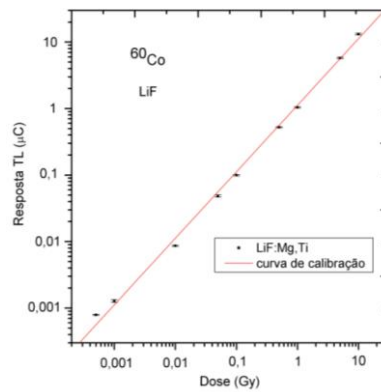


Fig. 2. Curva de dose-resposta do $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$ à radiação gama do ^{60}Co para irradiação no ar (equilíbrio eletrônico)

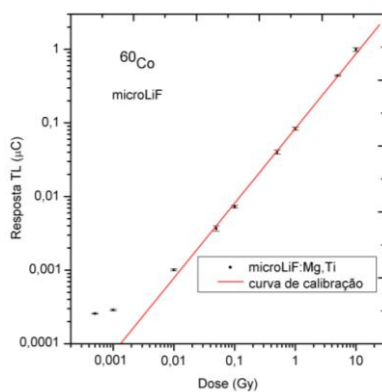


Fig. 3. Curva de dose-resposta do microLiF:Mg,Ti à radiação gama do ^{60}Co para irradiação no ar (equilíbrio eletrônico)

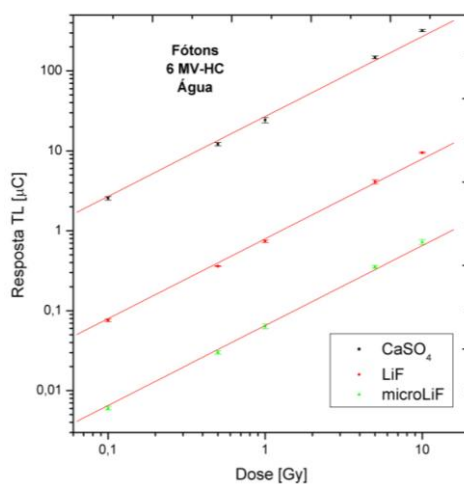


Fig. 4. Curva de dose-resposta do CaSO_4 :Dy, LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti a fótons de 6 MV em objeto simulador de água, para irradiações no HC-FMUSP

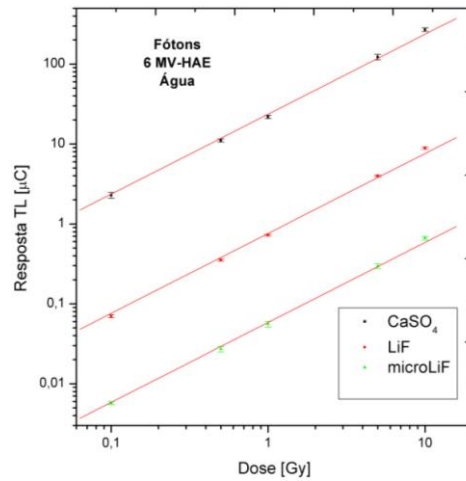


Fig. 5. Curva de dose-resposta do CaSO₄:Dy, LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti a fótons de 6 MV em objeto simulador de água, para irradiações no HAE

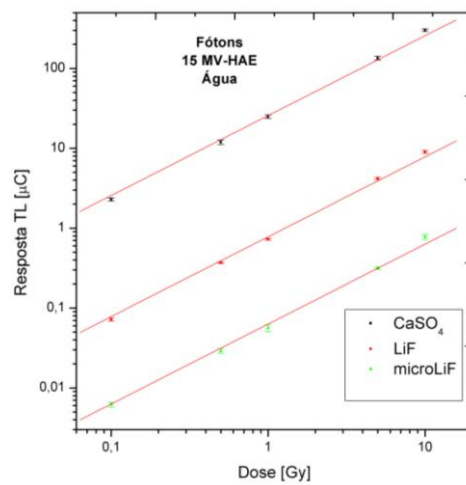


Fig. 6. Curva de dose-resposta do CaSO₄:Dy, LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti a fótons de 15 MV em objeto simulador de água, para irradiações no HAE

Os resultados obtidos indicam um comportamento linear da resposta TL para os feixes de fótons (6 e 15 MV) no intervalo de doses estudado até (0,1 a 10 Gy). As Figuras 7, 8 e 9 apresentam as sensibilidades médias dos DTLs de CaSO₄:Dy, LiF:Mg,Ti e microLiF:Mg,Ti em função da dose de radiação.

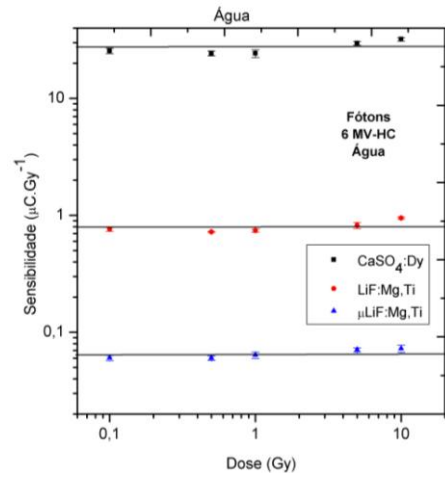


Fig. 7. Sensibilidade TL média do $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ a fótons de 6 MV utilizando objeto simulador de água, para irradiações no HC-FMUSP

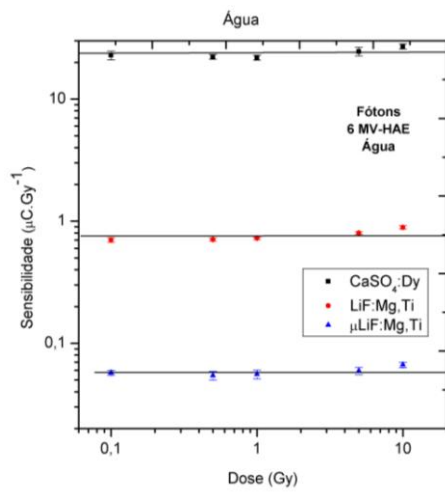


Fig. 8. Sensibilidade TL média do $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti e $\mu\text{LiF:Mg,Ti}$ a fótons de 6 MV utilizando objeto simulador de água, para irradiações no HAE

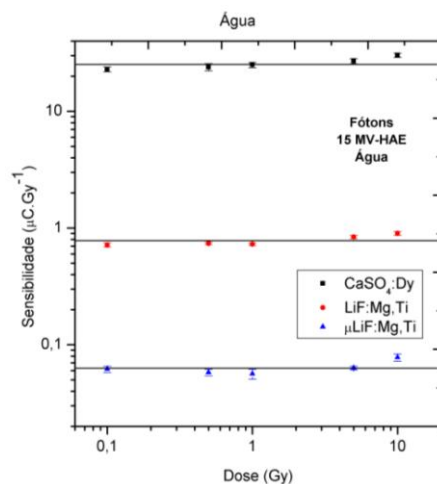


Fig. 9. Sensibilidade TL média do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ a fótons de 15 MV utilizando objeto simulador de água, para irradiações no HAE

Pode ser observado que a sensibilidade do $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ é cerca de 28 e 334 vezes maior do que a sensibilidade média dos detectores de $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ e $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$, respectivamente. Na Tabela 2 são apresentados os valores da reprodutibilidade da resposta TL calculados de acordo com os hospitais avaliados e a energia do feixe de radiação.

Tabela 2: Reprodutibilidade da resposta dos DTLs.

| Hospital | Feixe de fótons | $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ | $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ | $\mu\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ |
|----------|-----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| HC-FMUSP | 6 MV | 4,34 | 1,21 | 2,23 |
| HAE | 6 MV | 1,67 | 1,18 | 2,57 |
| | 15 MV | 0,653 | 0,872 | 2,37 |

A reprodutibilidade da resposta TL varia de 0,653 a 4,34% para os feixes de fótons (6 e 15 MV) e objeto simulador de água.

4 Conclusões

As curvas de dose-resposta obtidas para a irradiação dos DTLs na fonte de ^{60}Co e para os feixes de fótons (6 e 15 MV) apresentaram comportamento linear no intervalo de dose estudado (0,1 a 10 Gy).

A sensibilidade média calculada para cada dose apresenta pouca variação, principalmente para as duas variedades de LiF:Mg,Ti. Foi verificado o início de um comportamento supralinear para as doses maiores de 5 Gy.

O DTL de CaSO₄:Dy apresenta uma maior variação na sensibilidade média, resultado que já era esperado pois a termoluminescência é um efeito dependente da massa e da área do dosímetro e também por apresentar uma maior sensibilidade do que os outros dosímetros.

Pela análise das sensibilidades pode-se também concluir que os três tipos de DTLs praticamente não apresentam dependência energética no intervalo de energias estudadas.

A reprodutibilidade da resposta TL é melhor que $\pm 4,34\%$ e os valores encontram-se de acordo com as referências encontradas na literatura [6, 7].

Os resultados obtidos indicam que os DTLs de CaSO₄:Dy podem ser utilizados na dosimetria de fótons aplicada à radioterapia utilizando simulador de água representando, portanto, um método alternativo aos TLD-100 importados devido à facilidade de aquisição junto ao IPEN e ao baixo custo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CNEN e ao CNPq pelo apoio financeiro, e aos Hospitais HC-FMUSP e Hospital Albert Einstein pelas irradiações.

Referências

1. American Association of Physics in Medicine (AAPM) Report n° 79, Academic Program recommendations for graduate degrees in medical physics, *Med. Phys.*, 1994.
2. SMITH, A. GERBER, R., HUGHES, B. KLINE, R., KUTCHER, G., LING, C., OWEN, J., HANLON, A., WALLACE, M., HANK, G. Treatment Planning Structure and Process in the United States: A “Patterns of Care” Study. *J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* v. 32, p. 225-265, 1995.
3. KRON, T. Applications of thermoluminescence dosimetry in medicine. *Radiat. Prot. Dosimetry*, v. 85, n. 1-4, p. 333-340, 1999.
4. METCALFE, P.; KRON, T.; HOBAN, P. *The Physics of Radiotherapy X-rays from Linear Accelerators*. Madison, WI: Medical Physics, 2007.
5. 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).
6. OBERHOFER, M.; SCHARMANN, A. *Applied Thermoluminescence dosimetry*. Ispra, Itália: Adam Hilger Ltd (Commission of the European Communities), 1979.
7. CAMPOS, L.L.; NUNES, M.G. *Avaliação do desempenho dos detectores termoluminescentes de CaSO₄:Dy e LiF:Mg,Ti na dosimetria de feixes clínicos de elétrons*.
2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.