

CARACTERIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE DOSÍMETROS DE QUARTZO (QPS-100) COM FEIXES DE RAIOS-X DE MAMOGRAFIA

Álvaro B. Carvalho Jr¹, Helen J. Khoury¹, Vinicius S. Barros¹, Pedro L. Guzzo²

¹ Departamento de Energia Nuclear - UFPE, Recife, Brasil, alvarobcjr@hotmail.com; hjkhoury@gmail.com; vdebarros@terra.com.br

² Departamento de Engenharia de Minas - UFPE, Recife, Brasil, pguzzo@ufpe.br

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados do estudo da resposta termoluminescente (TL) de dosímetros de quartzo natural sensibilizado com altas doses e tratamentos térmicos, identificados como QPS-100, visando sua aplicação em dosimetria de feixes de mamografia. Os resultados mostraram que a resposta TL dos dosímetros QPS-100 em feixes de raios-X com qualidade RWX28 e RWX35 é nove vezes mais sensível do que a resposta dos dosímetros TLD-100.

Palavras chave: dosimetria, termoluminescência, mamografia, quartzo natural.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, muitos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de caracterizar e/ou desenvolver materiais com propriedades termoluminescentes (TL) para fins de dosimetria das radiações ionizantes. Nesse sentido, o Grupo de Dosimetria e Instrumentação Nuclear da UFPE vem estudando a resposta TL de quartzo natural visando a sua utilização como dosímetro TL para aplicações médicas. Os estudos realizados em amostras monocristalinas de quartzo natural submetidas a uma sensibilização prévia com alta dose de radiação gama e tratamentos térmicos mostraram resultados bastante favoráveis à sua aplicação como dosímetro TL [1,2]. O processo de sensibilização induz o surgimento de um pico TL bem definido na faixa de 300 °C. A emissão TL acima de 200 °C pode estar relacionada com as armadilhas de elétrons formadas pelos centros E' e com os centros de recombinação [AlO₄]⁰, criados pelo processo de sensibilização [3-6]. Estudo anteriormente efetuado com quartzo natural mostrou que a resposta TL depende da sua procedência e que os cristais com altas concentrações relativas de Li em relação ao Al (Li/Al) e aos grupos OH (Li/OH), apresentam maior susceptibilidade à sensibilização e, conseqüentemente, maior intensidade de resposta TL [6]. Esse estudo também mostrou que amostras retiradas de um mesmo cristal podem apresentar variação na intensidade TL, provavelmente devido às variações locais nas concentrações de Li, Al e OH. Entretanto, o uso de materiais na forma particulada pode contribuir para uma diminuição da dispersão na resposta TL, o que permitiria a utilização de blocos de quartzo que apresentam distribuição heterogênea de impurezas [7].

Com base nestes conhecimentos, é objetivo deste trabalho avaliar a resposta TL de dosímetros policristalinos de quartzo natural sensibilizado (QPS-100) para feixes de mamografia, visando o seu uso na dosimetria e nos programas de controle de qualidade em mamografia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção dos dosímetros QPS-100, fragmentos de um bloco de quartzo natural procedente do município de Solonópole (CE), foram submetidos a um banho por ultrassom com acetona e cominuídos manualmente utilizando um almofariz e pistilo de ágata. Após a moagem, o material particulado foi peneirado e classificado na faixa granulométrica 75x150 µm. Para sensibilizar o quartzo particulado, o material foi irradiado com uma dose de 25 kGy, utilizando uma fonte de ⁶⁰Co com taxa de dose igual a 10 kGy/h. Depois de irradiado, o material foi submetido a quatro tratamentos térmicos consecutivos a 400 °C durante 1 hora, utilizando um forno tipo mufla da marca PTW. Em seguida, o quartzo particulado sensibilizado foi misturado com Teflon (PTFE) na proporção 1:1. A partir desta mistura, discos policristalinos com 6 mm de diâmetro e 1 mm de espessura foram prensados com uma carga de 500 kgf. Depois de compactados, os discos foram submetidos a um novo tratamento térmico a 400 °C durante 6 horas e então denominados dosímetros QPS-100. Ao término do tratamento térmico, a massa de cada dosímetro QPS-100 foi de aproximadamente 50 mg. Para esse estudo, um lote contendo 32 dosímetros foi utilizado. A Figura 1 apresenta alguns dos dosímetros QPS-100 produzidos.

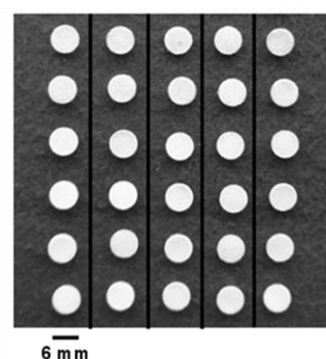


Fig. 1. Dosímetros QPS-100 (discos de quartzo particulado 75x150 µm aglomerados com Teflon)

Para caracterizar a curva de intensidade TL (glow curve), os dosímetros QPS-100 foram irradiados no Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes do Departamento de Energia Nuclear/UFPE com feixes de raios-X qualidade RXW28 e RXW35. A faixa de dose investigada variou entre 3 e 25 mGy. As curvas de intensidade TL foram obtidas com uma leitora TL Harshaw-Bicron M3500. As leituras foram realizadas no modo de aquecimento rampa, no intervalo entre 50 e 400 °C e com taxa de aquecimento de 5 °C/s. Depois disso, os dados obtidos foram processados no aplicativo Origin. Para efeito de comparação também foram colocados juntos com os dosímetros QPS-100, dosímetros TLD-100 com dimensões de 3 mm x 3 mm e espessura de 1 mm. As medidas de interesse para este estudo correspondem ao sinal TL integrado na segunda região de leitura, que está compreendida entre 200 e 375 °C.

A reprodutibilidade dos dosímetros QPS-100 foi avaliada repetindo quatro vezes o procedimento de irradiação com dose de 9,72 mGy e leitura TL, sendo calculados o valor médio das leituras (\bar{x}) e os respectivos desvios-padrão (s). Antes de cada irradiação, os dosímetros QPS-100 foram tratados termicamente a 400 °C durante 1 hora e, em seguida, novamente lidos para verificação da eficiência do tratamento térmico (leitura do branco). O valor do branco foi subtraído da leitura obtida de cada dosímetro após irradiação. Depois de subtrair o valor do branco, o sinal TL foi normalizado em relação à massa dos dosímetros QPS-100. Para os demais estudos, foram removidos os dosímetros que apresentaram valor médio fora do intervalo $\bar{x} \pm 2s$. No total, três dosímetros QPS-100 foram descartados.

Para o estudo da resposta TL em função da dose, 3 dosímetros QPS-100 e três dosímetros TLD-100 foram utilizados para cada dose, sendo calculados o valor médio das leituras na região entre 200 e 375 °C e os respectivos desvios-padrão.

A estabilidade da resposta TL em função do tempo de estocagem foi avaliada utilizando 18 dosímetros QPS-100. Para esse estudo, os dosímetros QPS-100 foram envolvidos em um filme de plástico preto e irradiados com uma dose de 9,72 mGy em feixes de raios-X qualidade RXW28. A leitura TL de 3 dosímetros QPS-100 foi efetuada 1 hora após o término da irradiação. Os demais dosímetros foram armazenados na ausência da luz natural e artificial, em ambiente com temperatura de $(22 \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C})$ e umidade relativa do ar de $(47,3 \pm 1,5 \text{ } \%)$. Os dosímetros foram avaliados de 3 em 3, no período de 1, 12, 24, 48, 72 e 120 horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as curvas de intensidade TL em função da temperatura para os dosímetros TLD-100 e para os dosímetros QPS-100, obtidas com doses entre 3,2 e 16,2 mGy. A Figura 2(a) apresenta as curvas de intensidade TL para os dosímetros TLD-100. Nesta figura, observa-se um pico TL próximo a 210 °C, o qual cresce com o aumento da dose. Este pico apresenta intensidade TL muito inferior àquele apresentado para os dosímetros QPS-100, conforme mostra a Figura 2(b). Nota-se ainda que as curvas de intensidade TL para os dosímetros QPS-100 possuem uma

forma relativamente simples e com um pico TL centrado em 300 °C. Uma curva de intensidade TL simples com alta eficiência de emissão de luz associada ao processo de recombinação e um pico TL definido na região entre 180 e 400 °C, estão entre as principais propriedades de um dosímetro termoluminescente [7,8]. Portanto, o resultado apresentado na Figura 2(b) mostra que os dosímetros QPS-100 atendem a este requisito como dosímetro TL.

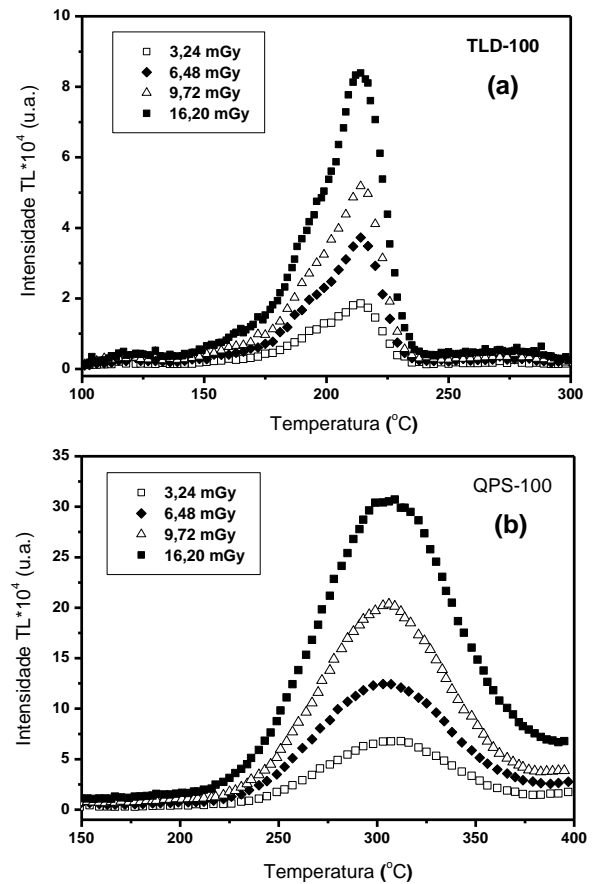


Fig. 2. Curvas de intensidade TL para os dosímetros TLD-100 (a) e dosímetros QPS-100 (b), obtidas em feixes de raios-X qualidade RXW28

A Figura 3 apresenta a reprodutibilidade da resposta TL para o lote de 32 dosímetros QPS-100. A linha pontilhada central representa a média geral das leituras (\bar{x}); as linhas pontilhadas externas correspondem ao intervalo $\bar{x} \pm 2s$ e as internas representam o intervalo $\bar{x} \pm 1s$. Nessa figura, é possível observar que os dosímetros 15, 19 e 32 apresentam valor médio fora do intervalo $\bar{x} \pm 2s$ e por este motivo foram descartados dos demais estudos.

A Figura 4 apresenta a variação da resposta TL em função da dose para os dosímetros QPS-100 e para os dosímetros TLD-100. Nas Figuras 4(a) e (b), cada ponto apresentado corresponde à média de três leituras, obtidas com feixes de raios-X qualidade RXW28 e RXW35, respectivamente. Para faixa de dose entre 3 e 25 mGy, observa-se que os dosímetros QPS-100 e os dosímetros TLD-100 apresentam uma resposta TL linear em função da dose aplicada. A Tabela 1 apresenta os valores dos coeficientes angulares (a) e de correlação linear (R^2), obtidos a partir das retas ajustadas aos pontos experimentais

dessas figuras. Os resultados mostram que os dosímetros QPS-100 apresentam fator de correlação maior que 0,99 para feixes de raios-X qualidade RXW28 e RXW35. Este resultado também foi observado para os dosímetros TLD-100, os quais apresentam comportamento linear para uma ampla faixa de dose entre 0,01 e 10 Gy [10]. Os valores encontrados para os coeficientes angulares (a) mostram que os dosímetros QPS-100 são cerca de nove vezes mais sensíveis do que os dosímetros TLD-100 para feixes de raios-X qualidade RXW28 e RXW35.

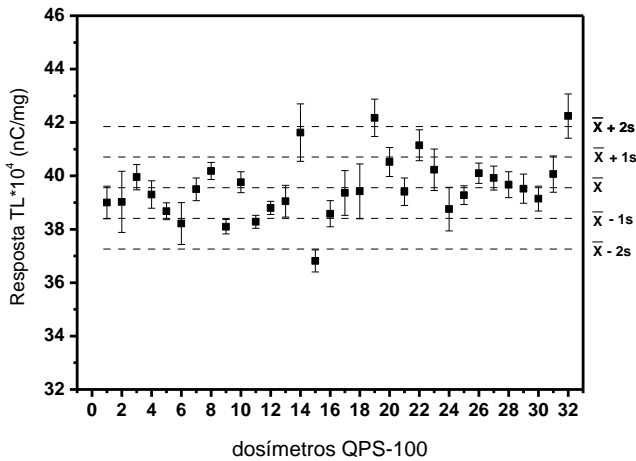


Fig. 3. Reprodutibilidade para os dosímetros QPS-100 com de feixes de raios-X qualidade RXW28. (dose: 9,72 mGy)

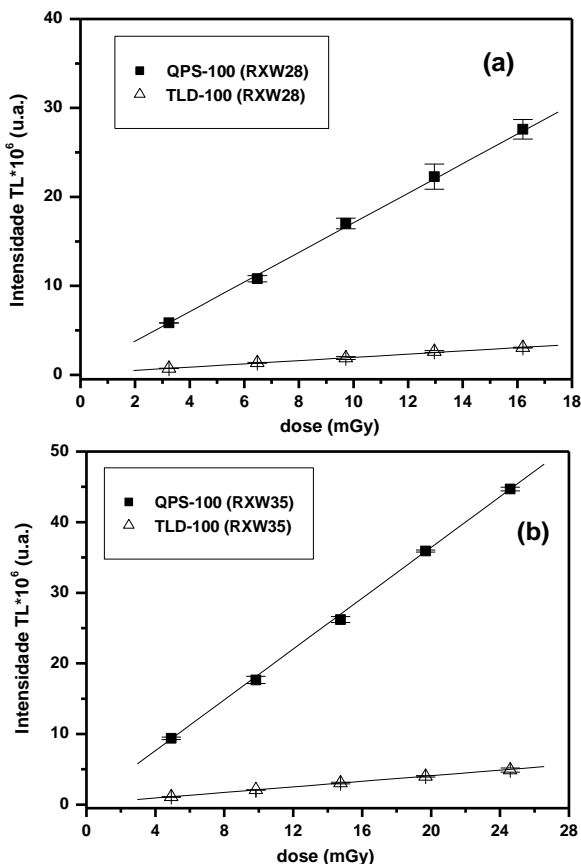


Fig. 4. Resposta TL em função da dose para os dosímetros QPS-100 e TLD-100, irradiados com feixes de raios-X qualidade RXW28 (a) e RXW35 (b)

Tabela 1. Coeficientes angulares (a) e de correlação linear (R^2) da resposta TL em função da dose para os dosímetros QPS-100 e TLD-100 irradiados com feixes de raios-X qualidade RXW28 e RXW35

$y = ax + b$	QPS-100			TLD-100		
Qualidade	a	b	R^2	a	b	R^2
RXW28	1,663	0,448	0,997	0,182	0,135	0,999
RXW35	1,797	0,461	0,997	0,197	0,147	0,999

Os valores encontrados para os coeficientes angulares mostram ainda uma pequena inclinação da reta para os dosímetros QPS-100, a qual cresce com a mudança da qualidade do feixe de raios-X de RXW28 para RXW35, ou seja, com o aumento da energia. Essa dependência da resposta TL em relação à energia de fótons está relacionada com o número atômico efetivo do quartzo ($Z_{\text{eff}} = 12$), o qual possui valor intermediário aos dos dosímetros TL comerciais [9]. Figura 5 mostra a variação da resposta TL para os dosímetros QPS-100 em função do tempo de estocagem, na região entre 200 e 375 °C. Nesta figura, a linha central pontilhada representa a média geral das leituras (\bar{x}); as linhas pontilhadas externas correspondem ao intervalo $\bar{x} \pm 2s$ e as internas representam o intervalo $\bar{x} \pm 1s$. Cada ponto apresentado na figura corresponde à média de três leituras com valor de desvio-padrão menor ou igual a 2,0% em torno do valor médio. A primeira leitura foi feita 1 hora após a irradiação e as demais leituras foram feitas decorridos 12, 24, 48, 72 e 120 horas. O resultado apresentado na Figura 5 mostra que não houve perdas significativas do sinal TL até um período de 120 horas. Este resultado mostra ainda que os dosímetros QPS-100 apresentam maior estabilidade do sinal TL do que alguns dosímetros TL comerciais, tais como Al_2O_3 e $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Mn}$

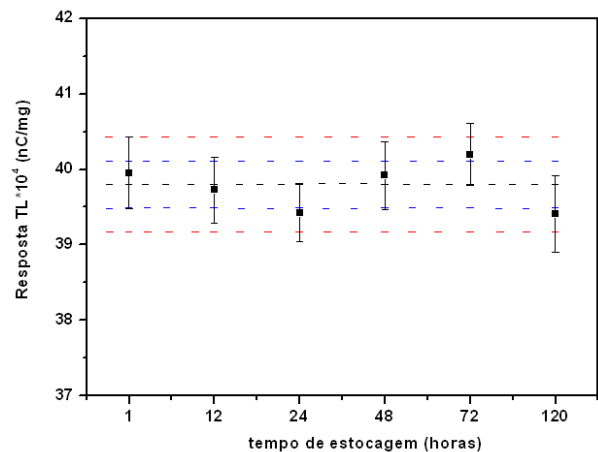


Fig. 5. Variação da resposta TL na região entre 200 e 375°C em função do tempo de estocagem para os dosímetros QPS-100 irradiados com dose-teste de 9,72 mGy em feixes de raios-X qualidade RXW28.

4. CONCLUSÃO

Os dosímetros QPS-100 preparados a partir do quartzo natural sensibilizado, procedente de Solonópole (CE), apresentaram resposta TL para dosimetria de feixes de mamografia cerca de 9 vezes maiores do que o TLD-100,

demonstrando a viabilidade de sua utilização em estudos dosimétricos em mamografia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e FACEPE pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] H. J. Khoury, P. L. Guzzo, S. B. Brito, C. A. Hazin, "Effect of high gamma doses on the sensitization of natural quartz used for thermoluminescence dosimetry", *Rad. Effects & Def. Solids*, 2007.
- [2] H. J. Khoury, P. L. Guzzo, L. B. V. Souza, T. M. B. Farias, "TL dosimetry of natural quartz sensitized by heat-treatment and high dose irradiation", *Radiation Measurements*, 2008.
- [3] M. G. Jani, R. B. Bossoli, L. E. Halliburton, "Further characterization of E'_1 center in crystalline SiO_2 ", *Physical Review B*, 1983.
- [4] L. E. Halliburton, "Defect model and radiation damage mechanisms in alpha-quartz", *Crystal Lattice Defects and Amorphous Materials*, 1985.
- [5] S. W. S. McKeever, C. Y. Chen, L. E. Halliburton, "Point defects and pre-dose effect in natural quartz", *Nucl. Tracks*, 1985.
- [6] P. L. Guzzo, H. J. Khoury, M. R. Miranda, S. B. Barreto, A. H. Shinohara, "Point defects and pre-dose requirements for sensitization of 300 °C TL peak in natural quartz", *Phys. Chem. Minerals*, 2009.
- [7] K. Mahesh, P. S. Weng, C. Fureta, *Thermoluminescence in solids and its applications*. England (U.K.), Nuclear Technology Publishing, 1989.
- [8] S. W. S. McKeever, *Thermoluminescence of solids*. New York, 1985.
- [9] I. Han, L. Delmir, M. Sahin, "Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals", *Radiation Physics and Chemistry*. 2009.
- [10] I. Nail, Y. S. Hrowitz, L. Oster, S. Biderman, "The unified interaction model applied to LiF:Mg,Ti (TLD-100): Properties of the luminescent and competitive centers during sensitization", *Radiation Protection Dosimetry*, 2002.