

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.

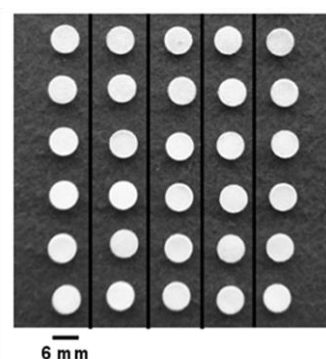


Fig. 1. Dosímetros QPS-100 (discos de quartzo particulado 75x150 µm aglomerados com Teflon)

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.

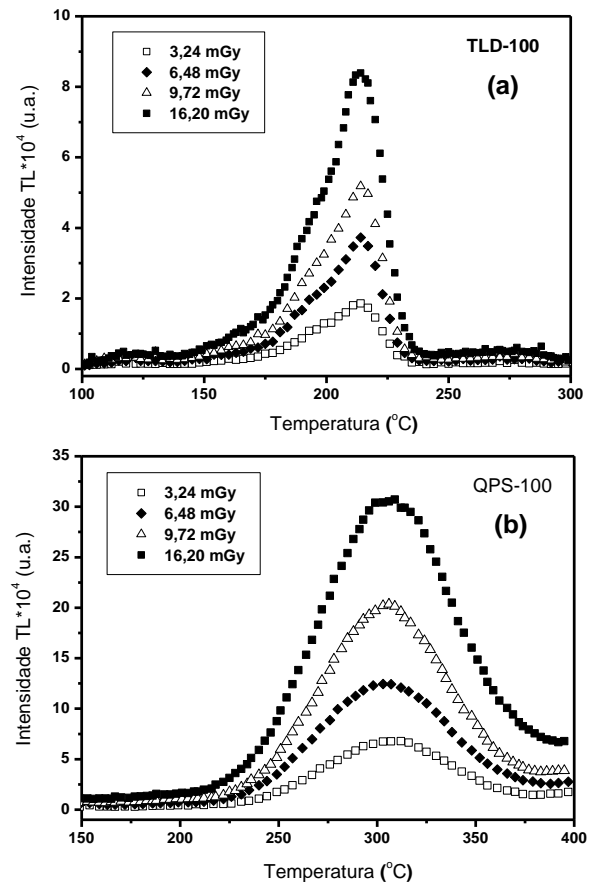


Fig. 2. Curvas de intensidade TL para os dosímetros TLD-100 (a) e dosímetros QPS-100 (b), obtidas em feixes de raios-X qualidade RXW28

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.

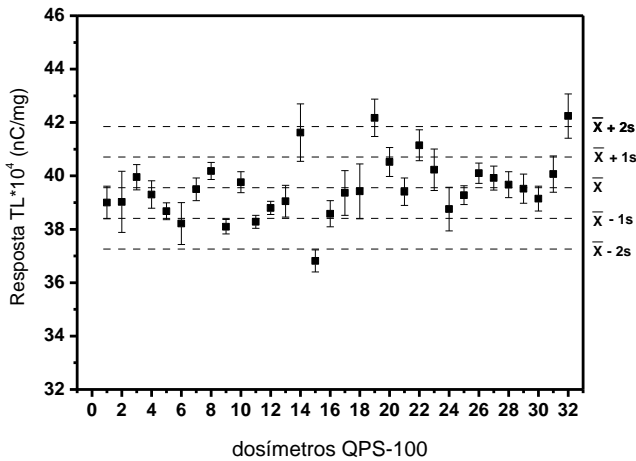


Fig. 3. Reprodutibilidade para os dosímetros QPS-100 com de feixes de raios-X qualidade RXW28. (dose: 9,72 mGy)

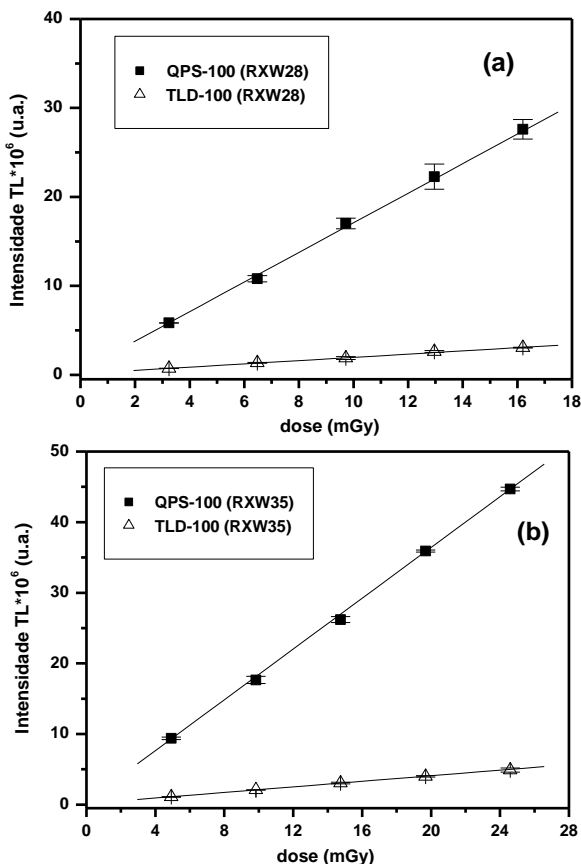


Fig. 4. Resposta TL em função da dose para os dosímetros QPS-100 e TLD-100, irradiados com feixes de raios-X qualidade RXW28 (a) e RXW35 (b)

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 $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$

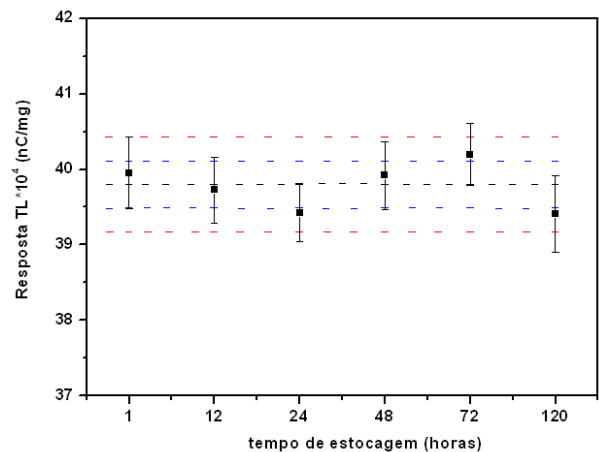


Fig. 5. Variação da resposta TL na região entre 200 e 375°C em função do tempo de estocagem para os dosímetros QPS-100 irradiados com dose-teste de 9,72 mGy em feixes de raios-X qualidade RXW28.

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.