

MEDIÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO BETA ABSORVIDA EM ARRANJO EXPERIMENTAL PARA AMOSTRAS BIOLÓGICAS UTILIZANDO TLDs

José Eduardo Manzoli^{1,2}, Valdir de Souza Carvalho¹, Eliomar Jacinto Gomes de Cerqueira¹

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, São Paulo, Brasil

²Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil

Resumo: A irradiação de amostras em arranjos experimentais peculiares sujeitos a espalhamento necessita de uma determinação própria da dose absorvida que a amostra irá receber. Neste trabalho é apresentado o procedimento para determinação da dose em um arranjo para irradiação beta de amostras, normalmente biológicas, utilizando curvas de calibração obtidas pela irradiação de dosímetros termoluminescentes no ar. É apresentado um exemplo de aplicação para amostras irradiadas de sangue.

Palavras chave: dosimetria beta, termoluminescência, irradiação.

1. INTRODUÇÃO

Amostras submetidas à radiação, normalmente estando na forma líquida, necessitam de um arranjo experimental próprio. Este arranjo pode conter paredes que promovem o espalhamento da radiação que afeta a dose absorvida na amostra e em muitas situações não é possível se inserir um instrumento de medição direta na posição de irradiação.

Fontes de radiação beta têm sua atividade informada pelo fabricante e a utilização da expressão comum da taxa de dose emitida por esta fonte, suposta pontual, no ar, integrada no tempo, é normalmente utilizada para a estimativa da dose absorvida. Este procedimento pode ocasionar erros de medição da ordem de 25%, como se mostrará, devido ao efeito de espalhamento nos arranjos experimentais que não a situação “livre no ar”.

Para avaliar corretamente a quantidade de energia depositada pela radiação beta num arranjo, por unidade de massa do material, na grandeza Dose Absorvida, unidade gray (Gy), irradiou-se detectores termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (TLDs) suspensos no ar num campo de radiação gerado pela fonte beta e estes foram, então, colocados na posição do arranjo experimental utilizado para irradiação de amostras biológicas. Com as curvas de calibração dos TLDs no ar tem-se a rastreabilidade ao valor calibrado da fonte.

Avaliou-se corretamente a dose absorvida e constatou-se um sensível espalhamento da radiação pelos suportes e guias do arranjo, quantificando quão inapropriada é a determinação da dose por irradiação de uma fonte suposta pontual no ar.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Vinte TLDs de um mesmo lote de sensibilidade¹ foram submetidos à radiação beta na posição padrão para irradiação no ar, vide figura 1.

A fonte radioativa utilizada é de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, emissor beta de energia máxima 0,546 e 2,27 MeV. O valor da atividade é 1850 MBq em 04/02/1981 e pelo cálculo do decaimento radioativo obtém-se a taxa de dose absorvida em 26/04/2004 de 294 $\mu\text{Gy/s}$, na posição padrão de 11 cm.

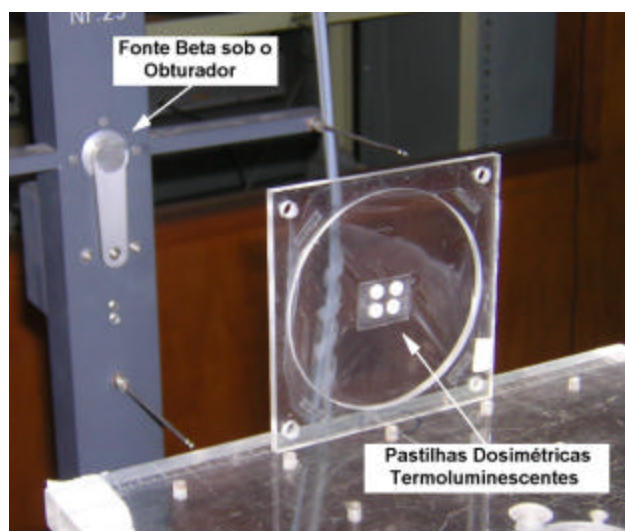


Fig. 1. Arranjo experimental para irradiação beta dos TLDs no ar.

Os detectores termoluminescentes (TLDs) são discos de 1mm de espessura por 6mm de diâmetro, cujo material ativo são cristais de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ numa

matriz de politetrafluoretileno (Teflon). Suas características dosimétricas constam na literatura^{2,3} sendo sensíveis, também à radiação beta⁴⁻⁹.

As pastilhas foram irradiadas com doses diferentes de 1,0 a 8,0 Gy, variando o tempo de irradiação, para a determinação da curva de calibração na faixa de dose desejada, sempre na posição padrão de irradiação no ar. Os valores verdadeiros convencionais das doses são calculados e rastreados à calibração da atividade da fonte utilizando uma simples proporção função do quadrado da distância à fonte e levando em conta seu decaimento radioativo.

Estes TLDs foram, então, tratados termicamente e colocados no arranjo experimental da figura 2, em posicionamento idêntico ao da amostra, permitindo a correta avaliação da radiação a que sejam submetidos outros objetos ali posicionados, pois os efeitos de espalhamento já estão incluídos na dose então avaliada nos TLDs.



Fig. 2. Arranjo experimental para irradiação de amostras biológicas. As pastilhas ou TLDs são colocadas na posição onde uma amostra biológica é normalmente posta. No detalhe superior é mostrado o arranjo com a tampa e a fonte já posicionados.

3. RESULTADOS

Com as médias de quatro conjuntos de cinco detectores cada obteve-se a curva de calibração que relaciona os valores verdadeiros convencionais da dose absorvida de radiação beta com a leitura termoluminescente, expressa em unidades de carga elétrica. Esta curva é mostrada na figura 3.

O fator de calibração é $(0,832 \pm 0,017)\text{Gy}/\mu\text{C}$.

A distância da fonte à amostra, no arranjo da figura 2, é de 43 mm. Para uma irradiação de pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ durante 30 minutos no arranjo, a dose estimada simplesmente pela proporção em relação ao quadrado da distância no ar seria de 3,46 mGy. Pela avaliação dos TLDs e recorrência à curva da figura 3 este valor é de 4,28 mGy. Assim, a dose pode ser subestimada em 25%, se os erros introduzidos pelo espalhamento não forem incluídos.

Além do procedimento correto ser a utilização dos TLDs e suas curvas de calibração, deve-se corrigir o valor de dose absorvida num material diferente do Sulfato, pois os materiais absorvem a energia da radiação de maneira diferente.

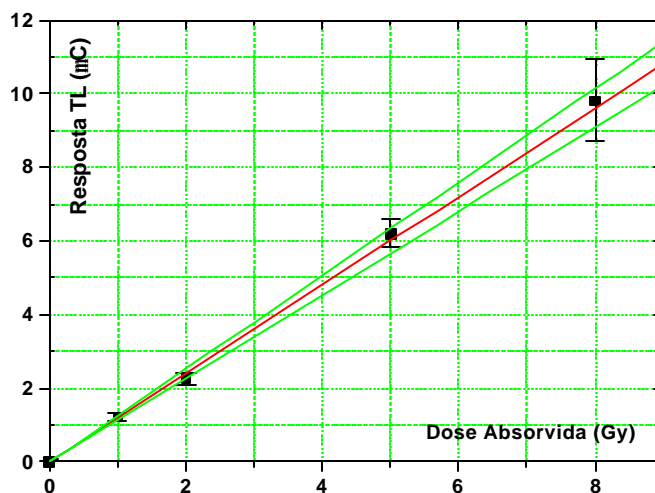


Fig. 3. Curva de calibração com intervalo fiducial de 95% para irradiação no ar. As barras representam as incertezas padrão combinadas de medição, onde a incerteza na abscissa foi transferida para a ordenada¹⁰.

Para a irradiação de uma amostra de sangue, como exemplo, o fator de correção, f_{corr} , que deve aplicado ao valor obtido pela curva de calibração é :

$$f_{\text{corr}} = \frac{CD}{CE} = \frac{S_{\text{sangue}}}{S_{\text{sulfato}}} \quad (1)$$

onde

CD é quantas vezes o sulfato é mais denso que o sangue.

CE é quantas vezes o sulfato absorve energia a mais que o sangue.

S é o poder de parada, definido mais adiante no texto

Ao penetrar no Sulfato de Cálcio, a partícula beta cede ao material CE vezes mais energia do que se penetrasse no sangue, por unidade de comprimento. Um mesmo volume de Sulfato tem CD vezes mais massa que o sangue e, por isso, por unidade de massa o Sulfato absorve $(f_{\text{corr}})^{-1}$ vezes a energia que o sangue absorveria.

O Disprósio presente no Sulfato de Cálcio é um dopante em frações mínimas, da ordem de p.p.m., e por isso não foi considerado nos cálculos seguintes.

A razão CD/CE é expressa pela razão entre a grandeza *poder de parada*, S (do inglês, *stopping power*) de cada material.

S é dado por¹¹:

$$S = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dx} \right) = 2\pi r_0^2 N_e \frac{\mu_0}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{E^2(E + 2\mu_0)}{2\mu_0 I^2} \right) + \frac{E^2/8 - (2E + \mu_0)\mu_0 \ln 2}{(E + \mu_0)^2} + 1 - \beta^2 - \delta \right] \quad (2)$$

onde:

E é a energia da partícula beta (assumida como 1MeV, energia média das emissões beta da fonte de ⁹⁰Sr/⁹⁰Y)

ρ é a densidade de massa do material

r₀ é raio eletrônico clássico

N_e é a densidade eletrônica

μ₀ é a energia de repouso do elétron

β é a razão velocidade da partícula / veloc. da luz

I é a energia de excitação média dos átomos do material

δ é uma correção de densidade, que só começa a ser relevante para energias acima de 1MeV.

Os valores das grandezas que compõe a equação 2, para vários materiais, são encontrados em handbooks e livros especializados¹¹. Para o sangue, estimou-se como uma média entre os materiais água e músculo os valores de ρ, N_e e I, mesmo porque estes valores são muito próximos (diferença percentual menor que 4% para ρ e menor do que 1% para demais grandezas). Para o CaSO₄, estimou-se seu valor de energia média de excitação em 167 eV, pela regressão linear mostrada na figura 4, pois o cálculo mais rigoroso seria por demais oneroso¹² e esta estimativa, mesmo para I variando no intervalo [100, 200] eV, não altera ξ_{orr} em mais do que 8%. A energia E foi assumida como 1 MeV, que é um valor médio do espectro de emissão de uma fonte ⁹⁰Sr/⁹⁰Y. Este valor influi menos de 5% no resultado S, para sua variação de [0,5 ; 3] MeV.

Os valores do poder de parada assim calculados foram: 2,76.10⁻¹⁴ J.m²/kg para o CaSO₄ e 3,33. 10⁻¹⁴ J.m²/kg para o sangue, com incerteza relativa percentual de 15%.

5. CONCLUSÃO

O fator de correção para a dose absorvida pelo sangue, na mesma posição em que foram irradiados os TLDs de CaSO₄:Dy, será de (1,21 ± 0,25)_{95%}, pela equação 1, ou seja, a dose será maior no sangue em

21%, relativa ao obtido nas curvas de calibração do Sulfato de Cálcio.

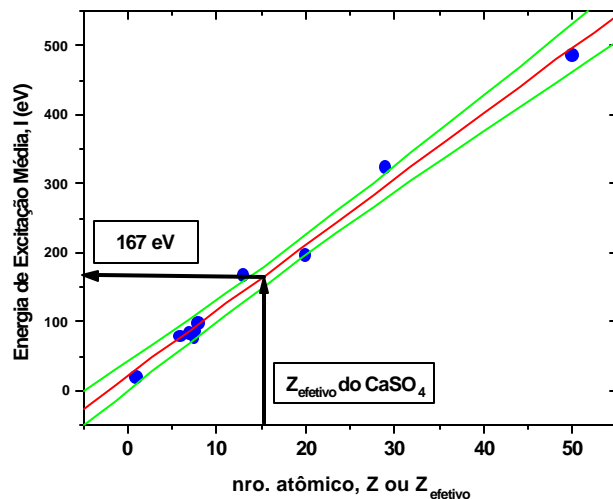


Fig. 4. Valores de energia de excitação média de vários elementos químicos e compostos⁶. Dada esta tendência linear do comportamento de I em relação ao número atômico efetivo, estimou-se o valor de I para o CaSO₄ em 167 eV, cujo Z_{efetivo} é 15,3 u.m.a.. O intervalo fiducial de 95% para esta regressão é apresentado também.

Os TLDs podem, então, ser utilizados na medição indireta da dose absorvida por amostras em arranjos peculiares, calculando-se os poderes de parada relativos do material da amostra em relação ao do Sulfato de Cálcio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todo o corpo técnico do Laboratório de Dosimetria Termoluminescente, LDT - IPEN (Vicente, Osvaldo, Fátima e Salomão).

REFERÊNCIAS

- [1] J.E. Manzoli, V.P. Campos, "Selecionamento de Detectores de Radiação Segundo sua Sensibilidade e Viabilidade para Dosimetria Termoluminescente", METROLOGIA-2003 – Metrologia para a Vida, Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), setembro 05–09, 2003, Recife, Pernambuco - BRASIL, CD-ROM.
- [2] L.L. Campos, "Preparation of CaSO₄:Dy TL single crystals", *J. Lum.* 28, 4, 481-483; 1983.
- [3] L.L. Campos, M.F. Lima, "Dosimetric Properties of CaSO₄:Dy teflon pellets produced at IPEN", *Rad. Prot. Dos.* 14, 333-335; 1986.
- [4] T.F.L. Daltro, H.E.B. Perez, L.L. Campos, "Thermoluminescence Dosimeter for Equivalent Dose Assessment in Beta and Gamma Field", *Rad. Prot. Dos.* UK v.85, n.1-4, p.145 - 148, 1999.
- [5] L.L. Campos, L.A.R. Rosa, "Caesium - 137 Beta / Gamma Discriminating Thermoluminescent Dosimeter", *Rad. Prot. Dos.*, Inglaterra: v.25, p.95 - 97, 1988.

- [6] L.L. Campos, L.A.R. Rosa, "Determinação Simultânea das Doses Absorvidas Devido às Radiações Beta e Gama com CaSO₄ Produzido no IPEN", *Publ Ipen*. Sao Paulo: , v.143, p.1 - 10, 1988.
- [7] L.L. Campos, M.F. Lima, "Pastilhas Dosimétricas de CaSO₄:Dy + Teflon para Detecção da Radiação Beta, X e Gama" *Publ Ipen*. Brasil: , v.120, p.1 - 10, 1987.
- [8] L.L. Campos, M.F. Lima, "Thermoluminescent CaSO₄:Dy + Teflon Pellets for Beta Radiation Detaction", *Rad. Prot. Dos*. Inglaterra: , v.18, p.95 - 97, 1987.
- [9] L.L. Campos, L. V. Caldas, S. Mascarenhas, "Investigation of Teflon Electrets Detectors for Beta Dosimetry", *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research*, Amisterdam: , v.245, p.210 - 212, 1986.
- [10] J.H. Vuolo, "Fundamentos da Teoria de Erros", Edgar Blücher, 2^a ed. São Paulo, pg.125, 1992.
- [11] H.E. Johns, J.R. Cunningham, "The Physics of Radiology", Charles C. Thomas, 4^a ed., Springfield, 1983.
- [12] G. Hasan, "Simple stopping power formula for low and intermediate energy electrons", *Radiation Physics and Chemistry*, in press.

Autores: Dr. José Eduardo Manzoli, Técnico Valdir de Souza Carvalho e Técnico Eliomar Jacinto Gomes de Cerqueira. Centro de Metrologia das Radiações, CMR-IPEN/CNEN, av. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, tel. (11) 3816-9212, fax (11) 3816-9209, jmanzoli@ipen.br.