

Caracterização dosimétrica do BeO para calibração de aplicadores clínicos de betaterapia

Daniel Litvac, Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares / Comissão Nacional de Energia Nuclear
(IPEN/CNEN-SP)

Av. Prof. Lineu Prestes 2242, São Paulo

E-mail: daniel.litvac@ipen.br; lcaldas@ipen.br

Resumo: Aplicadores clínicos de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ainda são utilizados em algumas partes do Brasil para tratamentos dermatológicos e oftálmicos, mesmo com a recomendação do uso de aceleradores lineares, porque são de custo mais baixo e práticos. A calibração e a recalibração periódica destes aplicadores, para verificação da taxa de dose absorvida, são essenciais para garantir a segurança nos tratamentos clínicos. Neste trabalho foi avaliada a resposta termoluminescente de pastilhas de BeO e se são aplicáveis a um planejamento de calibração de aplicadores clínicos de betaterapia, porque o material dosimétrico que era utilizado neste planejamento não é mais produzido no IPEN.

Palavras-chave: Termoluminescência; Betaterapia; Calibração de Instrumentos.

Abstract: Clinical applicators with $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ sources are still used in some parts of Brazil for dermatological and ophthalmic treatments, even if the use of linear accelerators is recommended in these procedures. Calibration and periodic recalibration of these applicators, to verify the absorbed dose rates, are essential procedures for quality assurance in clinical treatments. In this work, the thermoluminescent response of BeO pellets was verified for the calibration program in beta therapy clinical applicators, because the dosimetric material used in this kind of planning is no longer produced in IPEN.

Keywords: Thermoluminescence; Beta therapy; Instruments Calibration.

1. INTRODUÇÃO

O campo da dosimetria termoluminescente vem se expandindo desde os anos sessenta, com fortes publicações envolvendo materiais apropriados para dosimetria pessoal. Na mesma década, surgiram pesquisas voltadas à termoluminescência do óxido de berílio (BeO). Foi comprovada a alta sensibilidade e a boa estabilidade de resposta deste material, possibilitando aplicações dentro de áreas importantes da medicina (TOCHILIN et al, 1969).

O BeO é um material cerâmico que pode ser transformado facilmente em pastilhas para uso no campo da dosimetria das radiações. Seu uso tornou-se amplo e conhecido; por exemplo, na indústria eletrônica, devido à sua alta resistividade elétrica e condutividade térmica provinda da cerâmica, com comprovação de uma condutividade térmica em um intervalo de 300 a 500 K, sendo a mais alta entre os materiais

cerâmicos utilizados em tecnologia eletrônica. As cerâmicas de berílio exibem não apenas alta condutividade térmica, mas também uma combinação única de outras propriedades químicas tais como alta resistência química, térmica, radiação, considerável resistência volumétrica específica, baixas perdas dielétricas (AKISHIN et al., 2009; TOCHILIN et al, 1969). Seu número atômico efetivo ($Z \sim 7,22$) é muito próximo do número atômico efetivo do tecido biológico ($Z \sim 7,6$), incitando pesquisas em Metrologia das Radiações, nas áreas de radiodiagnóstico e de terapia (WATANABE et al, 2010).

O BeO é tóxico se estiver no formato de pó, por isto é produzido de maneira rigorosa em pastilhas sólidas para aplicação como dosímetro. O óxido de berílio é produzido e vendido comercialmente; os modelos mais conhecidos que são destinados à dosimetria são os da linha ThermaloxTM (WATANABE et al, 2010).

A luminescência ocorre quando, por exemplo, um material dielétrico é irradiado, excitando cargas presentes nos átomos, por efeito Compton ou fotoelétrico. Há a criação de pares de elétrons e “buracos livres” (denominados defeitos) que ficam armadilhados, caracterizando uma perturbação no sistema do equilíbrio termodinâmico para o metaestável. Este estado de armadilhamento pode ser modificado por um estímulo externo. Esta modificação é evidenciada quando cargas de mesmo sinal se recombinam com cargas de sinais opostos; assim, a energia armazenada é liberada na forma de luz e o sistema volta ao estado fundamental (FURETTA, 2008; McKEEVER, 1985).

O fenômeno da termoluminescência (TL) é representado em função do tempo ou da temperatura de aquecimento, que pode ocorrer pela passagem de corrente elétrica no sistema ou por gás inerte aquecido. O aquecimento é o estímulo necessário para a emissão de luz com energia proporcional à depositada por radiação ionizante (FURETTA, 2008; McKEEVER, 1985). Se os materiais estiverem associados a um transdutor, o sinal luminoso emitido é transformado em sinal elétrico. Desta maneira, é possível, com auxílio de um tubo fotomultiplicador, medir, proporcionalmente, a dose que foi depositada inicialmente nos materiais TL.

Em 1950, foram desenvolvidas fontes de radiação beta de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ para tratamentos superficiais na pele e nos olhos. Estas fontes foram produzidas por fabricantes e difundidas em centenas de unidades de saúde na década de 90 (FRIEDEL et al, 1950), mas não são mais fabricadas nos dias atuais.

Apesar de estes tratamentos ocorrerem com mais eficiência por meio de aceleradores lineares devido à melhor distribuição de taxa de dose no local de tratamento (OLIVEIRA et al, 2007), a necessidade das fontes radioativas justifica-se devido ao seu alto valor de meia-vida (29,1 anos) (IAEA, 2002). Estes tratamentos com radiação beta são conhecidos por Betaterapia. Enquanto as atividades das fontes produzidas na década de 90 estiverem em níveis aceitáveis para tratamento clínico, elas ainda são e serão uma grande alternativa no sistema de saúde público e privado.

São oficializados, no Sistema Único de Saúde, procedimentos radioterápicos em betaterapia dérmica, betaterapia oftalmológica e betaterapia para profilaxia de pterígio (SUS, 2016). Dentro destes procedimentos existe o intuito de precaver e tratar a formação de queloides, pequenas neoplasias malignas na pele e pterígios.

Na norma NN 3.01, “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, atualizada em março de 2014, é especificado no item 5.13.1.1 que os titulares do serviço clínico, particular ou público, devem assegurar a calibração de equipamentos e fontes para dosimetria clínica, com supervisão de especialistas qualificados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2014).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a resposta termoluminescente de amostras de BeO e verificar se são adequadas para utilizar em um planejamento para calibrações de aplicadores clínicos de betaterapia. Este planejamento (ANTONIO, 2013) foi feito para CaSO₄, mas, infelizmente, o material não é mais produzido no IPEN.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Amostras dosimétricas

Neste trabalho foram utilizadas pastilhas cerâmicas de óxido de berílio com um volume de 40,2 mm³. Estas amostras foram caracterizadas dosimetricamente. Além disso, foi realizada a medição da massa dessas amostras para a possível necessidade de correção para os dados obtidos.

Estas pastilhas utilizadas são de um lote no qual a composição foi determinada por meio de difratograma de raios X (GROPPO, 2013). As amostras apresentam 99,0% de BeO, com 1% restante de elementos como Si, K e Al.

2.2. Sistemas de radiação

Foram utilizados dois sistemas de radiação para caracterização do material dosimétrico. O primeiro faz parte de um sistema leitor, marca RISÖ, modelo Risö TL/OSL-DA-200, com taxa de dose de 83 mGy/s. O segundo é uma fonte do sistema padrão secundário BSS2 de ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y (1040 MBq, 2005), Amersham Buchler, calibrada no laboratório de padronização primária da Alemanha, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), às distâncias de 11, 30 e 50 cm.

2.2. Sistema leitor

Foi utilizado um sistema leitor TL, Harshaw Nuclear Systems, modelo 2000A/B, com taxa de aquecimento de 10 °C/s e fluxo constante de N₂ de 5,01/min.

2.4. Tratamento térmico para reutilização das amostras

Após a irradiação, é necessário, sempre, desarmadilhar elétrons remanescentes. Para isto, as amostras são submetidas ao tratamento térmico. Foi utilizado um forno do tipo mufla modelo Vulcan 3-550PD, com taxa de aquecimento de 40°C/min, e o material dosimétrico foi tratado a 500 °C durante 15 minutos.

2.5. Calibração do aplicador de referência

O laboratório de calibração do Centro de Metrologia das Radiações (CMR) do IPEN possui um aplicador clínico dermatológico calibrado no laboratório padrão primário do NIST, Estados Unidos, *Atlantic Research Corporation*, modelo B-1 S/N 233. Com este aplicador, em 2013 (ANTONIO, 2013), foi efetuado, no CMR, um planejamento para calibração de aplicadores clínicos com materiais luminescentes. Utilizando este planejamento e um material diferente agora, o BeO, foi recalibrado o aplicador de referência e comparado com o valor de taxa de dose de acordo com o certificado de calibração NIST.

2.6. Incertezas

Seguindo criteriosamente o documento normativo (ISO, 2004), a análise de incertezas foi realizada considerando-se um tipo A, incertezas estatísticas relacionadas às medições, e incertezas do tipo B que são relacionadas às incertezas do desempenho dos equipamentos. Este trabalho manteve um nível de confiança de 95% como esperado pela norma.

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{estatístico}} + \sigma^2_{\text{sistemático}}$$

Eq. 1

onde $\sigma^2_{\text{estatístico}}$ é a incerteza do tipo A e $\sigma^2_{\text{sistemático}}$ é a incerteza do tipo B.

3. RESULTADOS

3.1. Seleção dos dosímetros

Quarenta e seis amostras foram testadas e, antes de classificá-las quanto às suas propriedades dosimétricas, foram definidas as respostas termoluminescentes mais adequadas. A reprodutibilidade foi calculada em seis ciclos de medições com dose de 1Gy, onde foi calculada a média, o desvio padrão e o desvio padrão da média. As curvas apresentaram o pico principal entre 200°C e 230°C e o pico secundário em torno de 350°C, como se pode ver na figura 1, o que condiz com a bibliografia que informa o pico principal em 220° e secundário em 350°C (McKEEVER, 1985; GROppo, 2013).

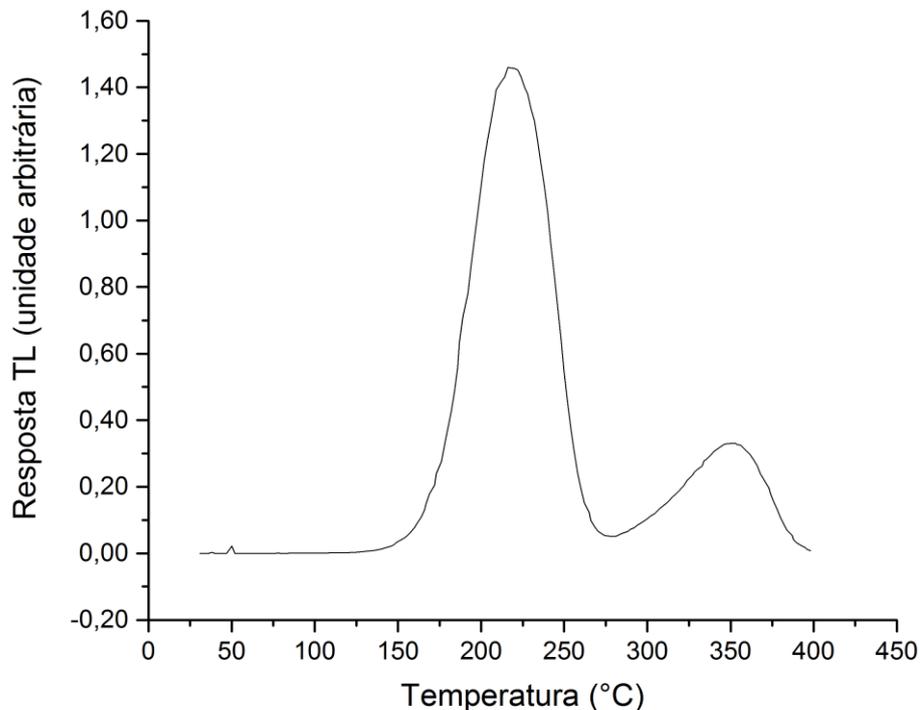


Figura 1. Curva de emissão TL do BeO (Dose de 1Gy).

Quatro pastilhas com a melhor reprodutibilidade foram selecionadas para realizar a curva de dose-resposta. A tabela 1 exibe as incertezas estatísticas para estas amostras, onde s é a razão entre o desvio padrão e a média, em porcentagem.

Tabela 1. Medições TL e incertezas relacionadas.

Amostras	Média (mC)	Desvio Padrão (mC)	S (%)
1	2,761	0,038	1,38
2	3,301	0,053	1,59
3	2,965	0,058	1,95
4	4,110	0,048	1,77

Foi determinada também a sensibilidade das amostras e a melhor reprodutibilidade dentre elas. Para isto foi utilizada a equação 2, onde M é a medição TL, D a dose absorvida e σ é a sensibilidade da amostra, pela equação 2:

$$\sigma = \frac{M}{D} \left[\frac{\text{contagens}}{0,5s \cdot Gy} \right] \quad \text{Eq. 2}$$

A média dos valores de sensibilidade dentre as 46 pastilhas foi de 7,5 mC/s.Gy, e dez amostras com sensibilidade em torno deste valor.

3.2. Curva de dose-resposta.

A curva de linearidade e dose-resposta foi calculada realizando medições em um intervalo de dose de 0,1Gy a 0,5Gy. Os valores obtidos para a amostra 1 estão representados na tabela 2.

Tabela 2. Medições TL e incerteza total.

Dose (Gy)	TL (mC)	Incerteza total
0,1	0,209	0,020
0,2	0,435	0,021
0,3	0,698	0,037
0,4	0,970	0,0384
0,5	1,257	0,026

Com os valores apresentados na tabela 2, foi construída a curva dose-resposta e avaliada sua linearidade com coeficiente de correlação linear superior a 0,995. As equações das retas foram determinadas e a da amostra 1 está apresentada na figura 2.

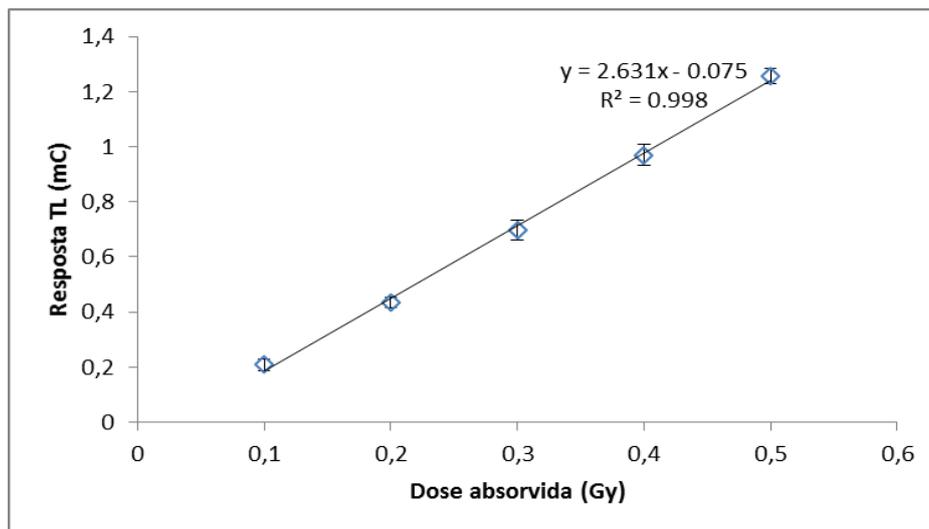


Figura 2. Curva dose-resposta para a amostra 1.

3.3. Desvanecimento

Foi investigado o desvanecimento em 1 h, 16 h, 24 h e 48 h após a radiação de uma dose de 0,5Gy. Assim como nos trabalhos de CRASE e GAMMAGE (1975) e GROPPPO (2013), foi estabelecido que a partir de 1 h até 24 h, ocorre uma perda de 9% do sinal; após este primeiro dia, a resposta permaneceu praticamente a mesma, mantendo-se em 10% até 48 h. Pesquisas indicam que até um total de 3 meses mantém-se estes 10% (CRASE e GAMMAGE, 1975; GROPPPO, 2013).

3.4. Calibração do aplicador NIST

O certificado de calibração do aplicador de referência foi realizado em 28.01.2003, garantindo que a fonte radioativa possuía uma taxa de dose de 0,4Gy/s. O valor atual é de 0,27Gy, com uma incerteza de 12% estabelecida no certificado NIST.

Com a taxa de dose calculada, comparou-se o valor obtido pela calibração do aplicador com as quatro amostras de BeO, após 3 medições de cada uma delas. O valor médio da recalibração foi de 0,25Gy/s, com uma incerteza de 15%. Este valor está dentro do valor fornecido pelo certificado de calibração NIST, considerando as incertezas.

4. CONCLUSÃO

As pastilhas de BeO apresentaram excelentes respostas termoluminescentes, com alta sensibilidade e boa reprodutibilidade; a linearidade de curva dose-resposta, com coeficiente de correlação linear superior a 0,998, mostrou a possibilidade da aplicação das amostras para a recalibração do aplicador clínico de referência, comparando com a calibração realizada no ano de 2003. A diferença percentual entre as respostas foi em torno de 8%, o que é aceitável ao se considerar a porcentagem de incerteza fornecida pelo laboratório NIST. Apesar das amostras apresentarem um desvanecimento de 10% após curto período, os ajustes de incertezas são pequenos; sendo assim, é possível utilizar as amostras de BeO para calibração de aplicadores clínicos de betaterapia.



5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento CNEN, CNPq (projeto 301335/2016-8) e CAPES (projeto 554/18).

6. REFERÊNCIAS

AKISHIN, G. P. V. TURNAEV1,Y ; VAISPAPIR2, A., M.; GORBUNOVA , A.; MAKURIN, N.; KIIKO, V. S.; IVANOVSKII, A. L.. **Thermal conductivity of beryllium oxide ceramic. Refractories and Industrial Ceramics**, v. 50, n. 6, p. 465-468, 2009.

ANTONIO, P. **Estabelecimento de padronização primária e de métodos relativos com o uso de técnicas luminescentes em dosimetria da radiação beta**. 2013. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/T.85.2014.tde-31032014-145823.

CNEN, COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. 2014 [Internet]. [São Paulo]: CNEN; Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>.

CRASE, K. W.; GAMMAGE R. B. Improvements in the use of ceramic BeO for TLD. **Health Physics**, v. 29, n. 5, p. 739-746, 1975.

FRIEDEL, H.L.; THOMAS, C.I.; KROHMER, J.S. Beta-ray application to the eye: with the description of an applicator utilizing 90sr and its clinical use. **American Journal Ophthalmol**, v.33, n.4, p. 525-535, 1950.

FURETTA, C. **Questions and Answers on Thermoluminescence (TL) and Optically Stimulated Luminescence (OSL)**. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2008.

GROPPO, D. P. **Caracterização dosimétrica de amostras de BeO em feixes de radiação alfa, beta e X por técnicas luminescentes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. doi:10.11606/D.85.2013.tde-03122013-144414.

IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy**. IAEA, Vienna, 2002 (IAEATECDOC- 1274).

ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Nuclear energy - Reference beta-particle radiation - Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field**. ISO, Geneva, 2004. (ISO/FDIS 6980-2:2004).

McKEEVER, S.W.S. **Thermoluminescence in Solids**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

OLIVEIRA, B.; LASTÓRIA, J. C.; PEREIRA, H. R.; SILVEIRA L. V.; OLIVEIRA, L. P.; STOLF H. O. Comparative study between the radiotherapy treatment with electrons and beta-therapy after keloid surgery. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v.1, n.2, p. 53-57, 2007.

SUS, SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. **Manual de bases técnicas da oncologia. Sistema de Informações Ambulatoriais**, Ministério da Saúde: Brasília-DF, Edição 22, 2016 [Internet]. [São Paulo]:SUS;.

Disponível:http://www1.inca.gov.br/inca/Arquivos/comunicacao/manual_de_bases_tecnicas_oncologia.pdf.

TOCHILIN, E.; GOLDSTEIN, N.; MILLER, W. G. Beryllium oxide as a thermoluminescent dosimeter. **Health Physics**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 1969.

WATANABE, S. GUNDURAO T.K.; PAGE P.S.; BHATT B. C. TL, OSL and ESR studies on beryllium oxide. **Journal of Luminescence**, v. 130, n. 11, p. 2146-2152, 2010.