

# Avaliação da Influência de Dosímetros OSL na Dose na Pele em Radioterapia: Estudo por Simulação Monte Carlo

## Assessment of Influence of OSL dosimeters in the Skin Dose in Radiotherapy: Study for Monte Carlo Simulation

Franciely. F. Schuch<sup>1</sup>, Patrícia. Nicolucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, USP, Ribeirão Preto (SP), Brasil

### Resumo

O interesse em materiais dosimétricos opticamente estimulados (OSL) para aplicação em Radioterapia vem crescendo devido ao seu potencial uso em controle da qualidade. O uso desses dosímetros em dosimetria *in vivo*, entretanto, pode influenciar a dose na pele e em profundidade no paciente. O objetivo desse trabalho é a avaliação da influência do material OSL  $Al_2O_3$ , na dose depositada na pele e em profundidade em tratamentos radioterápicos. Simulação Monte Carlo foi utilizada para avaliar esse propósito, quando dosímetros OSL são utilizados na superfície da pele do paciente. Curvas de porcentagem de dose profunda para feixes clínicos de 6 e 10 MV foram simuladas com e sem a presença do dosímetro na superfície de um objeto simulador homogêneo de água. Os resultados obtidos evidenciaram uma diminuição nas doses em regiões próximas à superfície da pele. Na região de *build-up*, as máximas diminuições nas doses, produzidas pela presença dos dosímetros, foram de 52,5% e 47,5% para os feixes de 6 e 10 MV, respectivamente. Após a região de *build-up*, não há aumento significativo de dose para nenhum dos feixes utilizados. As diferenças de doses encontradas são devidas à influência do material dosimétrico na fluência relativa de elétrons em profundidade. Os resultados permitiram concluir que a presença do material dosimétrico na superfície interfere na dose na pele. Entretanto, esses dosímetros não provocam variações de dose em profundidades de interesse clínico, o que possibilita sua aplicação na rotina da dosimetria *in vivo* em Radioterapia.

**Palavras chaves:** OSL, Dosimetria, Radioterapia, Simulação.

### Abstract

*The interest in optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry materials is growing due to its potential use in quality control in Radiotherapy. The use of these dosimeters for in vivo dosimetry, however, may influence the dose to the skin and deeper tissues in the patient. The goal of this study is to evaluate the influence of the OSL  $Al_2O_3$  material in dose deposited in the skin and deep in Radiotherapy. Monte Carlo simulation is used to evaluate this purpose when OSL dosimeters of  $Al_2O_3$  are positioned on the skin surface of the patient. Percentage depth dose curves for clinical beams of 6 and 10 MV were simulated with and without the presence of the dosimeter on the surface of a water phantom. The results showed a decrease of doses in regions close to the surface of the skin. In the build-up region, the maximum decreases of dose produced by the presence of the dosimeters were 52,5% and 47,5% for the 6 and 10 MV beams, respectively. After the build-up region, there are not significant changes in the doses for any of the used beams. The differences of doses found are due to the influence of the dosimetric material on the relative fluence of electrons near the end surface of the dosimeter. Thus, the results showed that the presence of the dosimetric material on the surface interferes on the skin dose. However, these dosimeters do not cause dose variations in depths of clinical interest, allowing its application in routine in vivo dosimetry in Radiotherapy.*

**Keywords:** OSL, Dosimetry, Radiotherapy, Simulation.

### 1. Introdução

A Radioterapia envolve o uso de protocolos clínicos bem definidos para a entrega de altas doses de radiação a tecidos tumorais. Entretanto, nesses tratamentos há a preocupação com os riscos provenientes das interações dos fótons de alta energia com tecidos saudáveis, levando a quebra nas cadeias do DNA dos mesmos e podendo levar à morbidades ou mesmo formação de novos tumores<sup>1</sup>. Protocolos de controle da qualidade recomendam a administração de dose ao volume

alvo do tratamento com precisão da ordem de 5% para a erradicação do tumor<sup>2</sup>. Para avaliação das doses administradas em Radioterapia é necessária a implementação de controle da qualidade dos tratamentos<sup>3</sup> utilizando-se dosímetros com características adequadas, como por exemplo, alta sensibilidade e resolução espacial. Dentre os dosímetros mais utilizados em controle da qualidade em Radioterapia estão as câmaras de ionização e os filmes radiográficos<sup>4</sup>. Para a verificação das doses que o paciente efetivamente

recebe em tratamentos radioterápicos, são utilizadas técnicas de dosimetria *in vivo*<sup>5</sup> que permitem avaliar as doses sendo entregues utilizando-se de dosímetros específicos para este uso como, por exemplo, dosímetros termoluminescentes (TL)<sup>6</sup>. Atualmente, o uso de dosímetros Luminescentes Opticamente Estimulados (OSL, do inglês *Optically Stimulated Luminescence*) vem sendo testado como alternativa dosimétrica em controle da qualidade e em medidas *in vivo* em Radioterapia<sup>7</sup>. No processo de leitura, o dosímetro OSL é, normalmente, estimulado por uma fonte de luz constante de LED ou laser, de comprimentos de onda adequados<sup>8</sup> de forma que a informação dosimétrica armazenada no material será liberada sob a forma de emissão de luminescência pelo material durante o processo de estimulação óptica<sup>9</sup>. A intensidade da luz emitida durante o processo de leitura dos materiais OSL é proporcional à dose de radiação absorvida pelo material e este pode, desta forma, ser utilizado como dosímetro através de calibração adequada. A utilização de dosímetros OSL no controle da qualidade e dosimetria *in vivo* vem crescendo como técnica alternativa para a dosimetria termoluminescente (TLD) por permitir sua utilização sem a necessidade de tratamento térmico, além de proporcionar sensibilidade aumentada de 40 a 60 vezes, baixo custo e possibilidade de releitura, o que permite uma análise estatística precisa da resposta OSL em relação à dose sendo determinada<sup>10</sup>. Além disso, os curtos intervalos de leitura, bem como a facilidade de manipulação do sistema de leitura OSL, evidenciam as vantagens da técnica OSL<sup>11</sup>.

Estudos com o óxido de alumínio em dosimetria TL tiveram início em 1954 por Daniels e, mais tarde por Aitken, em 1967<sup>10</sup>. Atualmente esse material é estudado para a aplicação na dosimetria OSL, devido a sua alta sensibilidade. A vantagem desse material associado ao dopante carbono está na combinação das profundidades das armadilhas de energia térmica e óptica, que armazenam a informação dosimétrica por um longo tempo, sem desvanecimento significativo do sinal, um correto distanciamento entre as bandas de emissão e de estimulação óptica, além de uma elevada seção de choque de fotoionização das armadilhas<sup>12</sup>.

Simulação computacional pode ser utilizada tanto para o estudo das características de diferentes materiais dosimétricos, bem como da implementação desses materiais na prática da Radioterapia. A utilização do Método Monte Carlo (MMC) com o código PENELOPE em Radioterapia<sup>13</sup>, vem crescendo devido à exatidão do modelo implementado para o transporte de partículas<sup>14</sup>, podendo proporcionar um meio de estudo de materiais e técnicas dosimétricas sem os custos de procedimentos experimentais. Além disso, através do uso da simulação tem-se a possibilidade da verificação separada de cada componente de dose depositada.

O objetivo desse trabalho é a avaliação da influência do uso de pastilhas OSL de  $Al_2O_3$ , utilizada em procedimentos de controle da qualidade, na dose depositada na pele e em profundidade em tratamentos radioterápicos.

## 2. Materiais e Métodos

Para verificação do uso do material  $\alpha-Al_2O_3$  como dosímetro em Radioterapia, foram realizadas simulações de porcentagem de dose profunda (PDP), através do método Monte Carlo, com o pacote PENELOPE, quando dosímetros de  $Al_2O_3$  foram posicionados na superfície do objeto simulador em comparação com as porcentagens de dose profunda simuladas sem a presença das pastilhas dosimétricas. As curvas de PDP foram construídas através de simulações em um objeto simulador homogêneo de água de  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$  em que foram amostradas as doses depositadas em unidades de volume (*voxels*) de  $6 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ . Foi realizada, também, uma análise quantitativa das fluências de partículas, na superfície de entrada do objeto simulador, geradas pela presença da pastilha dosimétrica.

O material simulado para as pastilhas dosimétricas corresponde a 10 g de alumina ( $Al_2O_3$ ) em pastilhas prensadas com resina acrílica ( $C_5O_2H_8$ ), com dimensões de 0,5 cm de diâmetro e 0,1 cm de altura.

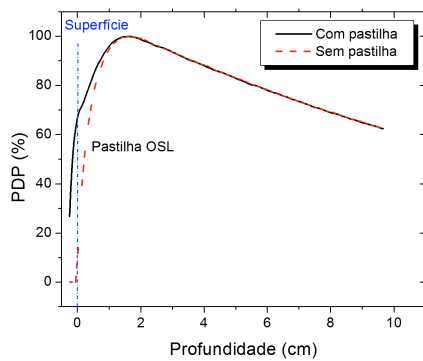
### 2.1. Parâmetros de simulação

Os parâmetros de simulação foram mantidos fixos durante as duas situações simuladas, mudando-se, somente, o espectro de radiação referente a cada feixe estudado. Para todas as situações foram simuladas  $2 \times 10^9$  partículas primárias. Foram utilizados como parâmetros de simulação, para cada material simulado, os valores de energia absorvida (EABS) de 100 keV para todas as partículas; C1 e C2 iguais a 0,5; WCC de 5 keV e WCR de 10 keV.

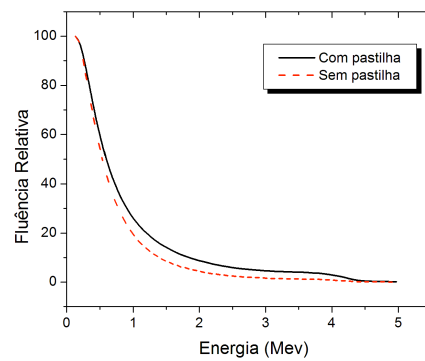
## 3. Resultados

As Figuras 1 e 2 apresentam as curvas de porcentagem de dose em profundidade, simuladas por simulação Monte Carlo com o código PENELOPE, para os feixes de 6 MV e 10 MV, respectivamente, com e sem a presença de pastilhas OSL de  $Al_2O_3$  posicionadas na superfície do objeto simulador. De acordo com as figuras, o dosímetro funciona como um bolus, aumentando significativamente as doses em regiões próximas à superfície (pele), sem efeito em profundidade. A linha tracejada indica uma projeção da profundidade zero (eixo x), ou seja, indica o posicionamento da pastilha na superfície do objeto simulador.

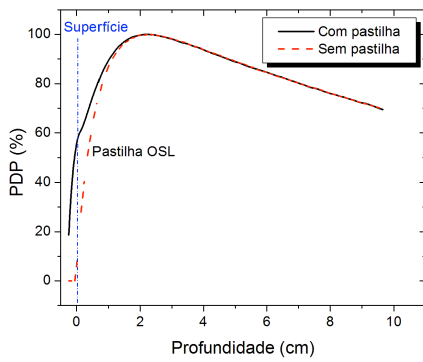
A Figura 3 apresenta as diferenças percentuais obtidas entre as porcentagens de dose em profundidade, com e sem pastilha dosimétrica posicionada na superfície, para todo o intervalo de profundidades simuladas, para os feixes de 6 MV e 10 MV.



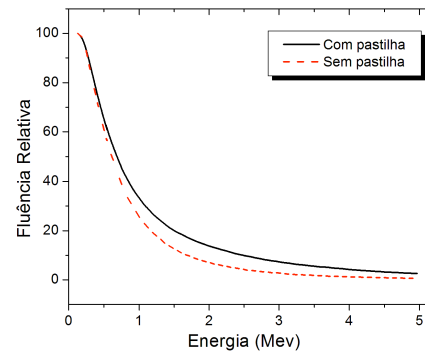
**Figura 1.** Porcentagem de dose em profundidade simuladas, com e sem pastilha OSL posicionada na superfície, para o feixe de 6 MV.



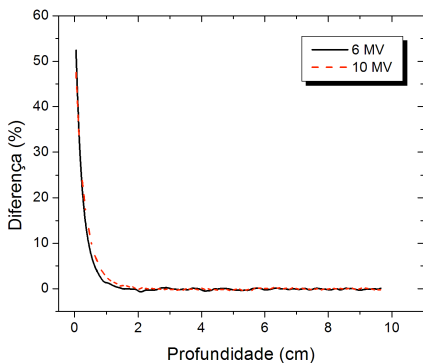
**Figura 4.** Fluência relativa de elétrons para o feixe de 6 MV, com e sem a pastilha dosimétrica posicionada na superfície do objeto simulador.



**Figura 2.** Porcentagem de dose em profundidade simuladas, com e sem pastilha OSL posicionada na superfície, para o feixe de 10MV.



**Figura 5.** Fluência relativa de elétrons para o feixe de 10 MV, com e sem a pastilha dosimétrica posicionada na superfície do objeto simulador.



**Figura 3.** Variação percentual na porcentagem de dose em profundidade quando pastilhas OSL são posicionadas na superfície do objeto simulador, para os feixes de 6MV e 10 MV.

As Figuras 4 e 5 apresentam as fluências relativas simuladas de elétrons, na superfície do objeto simulador, com e sem o uso da pastilha dosimétrica, para os feixes de 6 MV e de 10 MV, respectivamente.

#### 4. Discussão

As diferenças máximas nas PDPs simuladas, considerando as pastilhas OSL posicionadas na superfície do objeto simulador, ocorrem na superfície, aumentando a dose em 52,5% e 47,5% para o feixe de 6 MV e 10 MV, respectivamente. Após a região de *build-up* não há aumento significativo de dose (máximo de 1%) devido ao posicionamento da pastilha na superfície para os feixes utilizados.

Através da análise da Figura 3 é possível observar que há perturbação nas doses nas proximidades da superfície para ambos os feixes, sem significativas mudanças em profundidades de interesse clínico. Além disso, os protocolos clínicos não indicam a aplicação de dosímetros de verificação em todas as frações do tratamento, de modo que a diferença de dose encontrada não influenciaria significativamente no valor de dose total prescrita para o tratamento.

As simulações também indicaram discrepâncias entre as fluências de elétrons na superfície do objeto simulador, sem e com o uso do dosímetro OSL. Foi verificado que a região de máxima diferença na fluência relativa de elétrons ocorre em torno de 2 MeV, com aumento de cerca de 100%, para ambos os feixes, quando a pastilha OSL é posicionada na superfície do objeto simulador. Os elétrons gerados com esta energia possuem alcance em torno de 1 g/cm<sup>2</sup>, podendo deslocar a profundidade de máxima dose, especialmente para o feixe de 6 MV, devido ao menor valor de energia do feixe primário. As doses em profundidade de interesse clínico, entretanto, não são significativamente influenciadas devido aos alcances destes elétrons.

## 5. Conclusões

O presente estudo permitiu estudar a influência de dosímetros OSL típicos nas doses depositadas em Radioterapia. Os resultados obtidos mostram que a presença da pastilha perturba a distribuição de dose e a fluência relativa de elétrons na entrada do campo de radiação, porém sem interferências significativas em profundidades de interesse clínico. A utilização de simulação Monte Carlo com o pacote PENELOPE permitiu a avaliação das mudanças na fluência das partículas carregadas nas proximidades da pele, auxiliando a compreensão do efeito de variação nas doses depositadas.

Os resultados obtidos mostram que dosímetros OSL de alumina se apresentam como uma nova alternativa para o uso na dosimetria *in vivo* da rotina clínica.

## Referências

- Orton C, Borrás C, Carlson D. Radiation Biology for Radiation Therapy Physicists, Medical Physics, 2014, 41, doi: <http://dx.doi.org/10.1118/1.4889532>
- ICRU REPORT 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. International Commission on Radiation Units & Measurements. Washington: 1999.
- Beierholm AR, Berens CF, Andersen CE. Studying the potential of point detectors in time-resolved dose verification of dynamic radiotherapy. Radiation Measurement, 2015, 82, 129-137.
- Kearfott KJ, Geoffrey West W, Rafique M. The optically stimulated luminescence (OSL) properties of LiF:Mg,Ti, Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu, CaSO<sub>4</sub>:Tm, and CaF<sub>2</sub>:Mn thermoluminescent (TL) materials. Applied Radiation and Isotopes, 2015, 99, 155-161.
- Oliveira FF, Amaral LL, Costa AM, Netto TG. Treatment verification and *in vivo* dosimetry for total body irradiation using thermoluminescent and semiconductor detectors. Radiation Measurement, 2014, 71, 374-378.
- Lonski P, Franich R, Siva S, Keehan S, Taylor M, Kron T. In Vivo Neutron Detection in Patients Undergoing Stereotactic Ablative Radiotherapy (SABR) for Primary Kidney Cancer Using <sup>6</sup>Li and <sup>7</sup>Li Enriched TLD Pairs. Medical Physics, 2014, 41, doi: <http://dx.doi.org/10.1118/1.4889315>.
- Granville D, Flint D, Sawakuchi G. OSL Response of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C Detectors Exposed to Therapeutic Proton Beams. Medical Physics, 2015; 42, doi: <http://dx.doi.org/10.1118/1.4924955>.
- Barve RA, Patil RR, Moharil SV, Gaikwad NP, Bhatt BC, Pradeep R, et al. Na<sub>2</sub>FiS<sub>6</sub>:Cu, P: A new OSL Phosphor for the radiation dosimetric applications. Radiation Protection Dosimetry, 2015, 4, 439-445.
- Vlasov MI, Surdo AI, Milman II, Abashev RM. Features of OSL and TL properties of anion-defective corundum crystals exposed to thermo-optical treatment. Radiation Measurement, 2016, 90, 71-74.
- Bøtter-Jensen L, Thomsen KJ, Jain M. Review of optically stimulated luminescence (OSL) instrumental developments for retrospective dosimetry. Radiation Measurement, 2010, 45, 253-257.
- Young LA, Yang F, Woodworth D, McCormick Z, Sandison G. Commissioning optically stimulated luminescence *in vivo* dosimeters for fast neutron therapy. Medical Physics, 2016, 43, 314-323.
- Patle A, Patil RR, Kulkarni MS, Bhatt BC, Moharil SV. Development of europium doped BaSO<sub>4</sub> TL OSL dual phosphor for radiation dosimetry applications. AIP Conference Proceedings 2015, 1675, doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4929184>
- Salvat F, Fernández-Varea JM, Sempau J. A Code System for Monte Carlo Simulation for Electron and Photon Transport. Barcelona. 2005.
- Lin FM, Cameron JR. A Bibliography of Thermoluminescent Dosimetry. Health Physics, 1968, 14, 495-514.

## Contato:

Franciely Fernanda Schuch  
Av. Bandeirantes, 3900 - CEP 14040-901 - Bairro Monte Alegre  
- Ribeirão Preto - SP - Brasil.  
[franschuch@yahoo.com.br](mailto:franschuch@yahoo.com.br)