

# Calibração de diodos semicondutores para dosimetria *in vivo* em tratamentos de irradiação de corpo inteiro

## Calibration of semiconductor diodes for *in vivo* dosimetry in total body irradiation treatments

Fernanda F. Oliveira<sup>1</sup>, Leonardo L. Amaral<sup>2</sup>, Alessandro M. Costa<sup>1</sup> e Thomaz G. Netto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil.

<sup>2</sup>Serviço de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil.

### Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de dosimetria *in vivo* com diodos semicondutores tipo-p, EDP-15 (Scanditronix Wellhöfer), em tratamentos de irradiação de corpo inteiro de dois pacientes, do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP). Os diodos foram previamente calibrados e os fatores de calibração foram determinados com o auxílio de uma câmara de ionização de referência (FC065, IBA Dosimetry, volume sensível de 0,65 cm<sup>3</sup>). A calibração foi realizada em um *setup* de Irradiação de Corpo Inteiro (TBI), utilizando objetos simuladores de água sólida. Diferentes espessuras do diâmetro latero-lateral (DLL) de um paciente foram simuladas e, posteriormente, determinados os fatores de calibração com base nas leituras de dose na profundidade de máxima dose (metade da espessura do DLL). A diferença na resposta do diodo para a dose prescrita nos dois tratamentos foi inferior a 4%. Assim, ficou demonstrado que essa diferença está dentro do recomendado pelo *International Commission on Radiation Units* (ICRU), que é igual a  $\pm 5\%$ .

**Palavras-chave:** dosimetria, semicondutores, irradiação corporal total.

### Abstract

This paper presents the results of *in vivo* dosimetry with p-type semiconductor diodes, EDP-15 (Scanditronix Wellhöfer) of two patients who underwent total body irradiation treatments, at Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto University of São Paulo (HCFMRP-USP). The diodes were well calibrated and the calibration factors were determined with the aid of a reference ionization chamber (FC065, IBA dosimetry, sensitive volume of 0.65 cm<sup>3</sup>). The calibration was performed in a Total Body Irradiation (TBI) setup, using solid water phantoms. Different lateral thicknesses from one patient were simulated and then the calibration factors were determined by means of maximum depth dose readings (half of the lateral thickness). The response difference between diode readings and the prescribed dose for both treatments was below 4%. This difference is in agreement as recommended by International Commission on Radiation Units (ICRU), which is  $\pm 5\%$ .

**Keywords:** dosimetry, semiconductors, whole-body irradiation.

### Introdução

A Irradiação de Corpo Inteiro (TBI, do inglês *Total Body Irradiation*) usa fótons de alta energia e é frequentemente utilizada para preparar os pacientes para transplante de medula óssea, vítimas das doenças malignas do sangue, tais como a leucemia. A finalidade da TBI é auxiliar na destruição das células da medula, imunossuprimindo o paciente para que este possa receber a nova medula óssea<sup>1</sup>.

Incertezas na determinação da taxa de dose nas condições de irradiação e na determinação da dose em

profundidade, no posicionamento do paciente entre frações e na definição da homogeneidade da dose, são fatores que contribuem para a complexidade do tratamento. A não homogeneidade da dose no volume de tratamento, devido a não homogeneidade dos tecidos presentes no campo de radiação, ao contorno irregular do paciente e à energia do feixe, pode comprometer os órgãos de risco do tratamento, como pulmão, podendo levar ao desenvolvimento de *pneumonitis* radio-induzida ou a síndrome gastrointestinal<sup>2,3</sup>.

Para garantir a homogeneidade de dose em TBI, é necessário realizar medidas de dosimetria *in vivo* para cada

fração do tratamento. Este trabalho descreve os procedimentos de calibração de diodos semicondutores para dosimetria *in vivo* TBI.

## Material e Métodos

As irradiações foram realizadas no Acelerador Linear Oncor-Siemens, de 6 MV, do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP). Foram utilizados diodos semicondutores tipo-p, IBA Dosimetry DPD-3 da empresa Scanditronix Medical AB-Germany.

Para a calibração dos diodos utilizaram-se várias combinações diferentes de placas de água sólida de dimensão 30x30x1 cm e densidade de 1g/cm<sup>3</sup>, um objeto simulador cúbico de água de dimensões 18x18x18 cm. Um conjunto formado por uma câmara de ionização (FC065, de volume sensível 0,65 cm<sup>3</sup>, IBA) e eletrômetro (Dose1, IBA) foi usado como dosímetro de referência nas determinações de dose durante a caracterização e calibração do sistema dosimétrico, para posterior aplicação e validação da técnica de dosimetria *in vivo* para tratamentos de TBI.

Para a calibração, utilizou-se um *setup* de TBI (SAD=393 cm, campo de 40x40 cm, *gantry* a 270°, colimador a 45°, taxa de dose de 100 UM/min) com o auxílio da câmara de ionização e do objeto simulador (OS) de água sólida (Figura 1). Além disso, avaliou-se a resposta do diodo com a temperatura, taxa de dose e angulação do *gantry*. Para a análise da dependência com a taxa de dose e angulação, o diodo foi posicionado a 100 cm da fonte, na superfície do OS. A câmara de ionização foi inserida na profundidade de máxima dose (10 cm). Um campo de 10x10 cm foi usado. Para a análise da temperatura, o diodo foi fixado na parede de uma cuba com água. Variou-se a temperatura da água no interior da cuba e monitorou-se a mesma com um termômetro. Para que o equilíbrio térmico fosse atingido, cinco minutos foram aguardados.

Para se determinar os fatores de calibração (Equação 1), o diodo foi mantido em uma posição fixa e



**Figura 1.** *Setup* de irradiação de corpo inteiro para calibração do diodo.

foi-se variando, lateralmente, a profundidade da câmara de ionização dentro do objeto simulador, ou seja, variou-se a distância da câmara em relação ao diodo. O objetivo nesse caso era simular várias espessuras DLL, onde o diodo assumia fatores de calibração diferentes, de acordo com a dose verificada com a câmara em cada profundidade. Uma vez que os pacientes candidatos ao tratamento TBI podem ser de qualquer idade, obteve-se fatores de calibração para distâncias de 4 a 23,5 cm. Para cada distância do diâmetro latero-lateral (DLL) considerada, o sistema dosimétrico fornecia um fator de correção que era alocado na unidade dosimétrica. Isso permite que, no momento da dosimetria *in vivo*, o valor DLL do paciente seja medido e então o fator de correção correspondente aquele valor, e já previamente calculado na dosimetria com objeto simulador, seja acessado. Temperatura e pressão foram monitoradas ao longo do procedimento.

$$F_{cal} = \left( \frac{L_{CJ}}{L_{diodo}} \right)_{referencial} \quad (1)$$

Para homogeneizar a dose ao longo do corpo, uma espessura de chumbo foi fixada à bandeja, próxima ao *gantry*, em uma posição que blindava parte da radiação que chegava a cabeça do paciente, uma vez que essa região possui uma espessura (DLL) menor que o restante do corpo e por isso, pode receber maiores níveis de dose. A espessura utilizada foi de 4 mm. Doses de 150 cGy foram aplicadas, sendo 75 cGy no campo lateral direito e outros 75 cGy no campo lateral esquerdo, após o giro de 180° da mesa, mantendo-se a posição do isocentro.

Posteriormente a calibração, medidas de dosimetria *in vivo* foram realizadas em dois pacientes candidatos ao tratamento TBI. Cada paciente recebeu uma dose total de 1200 cGy, por um período de 4 dias (1 fração de 300 cGy por dia). O diodo foi posicionado dentro de um isopor (para isolamento de temperatura) na superfície do paciente, na altura da pelve.

Para cada paciente, tivemos um DLL específico e consequentemente um fator de calibração diferente. O tratamento foi realizado nas mesmas condições de calibração. Temperatura e pressão foram monitoradas.

## Resultados

Os fatores de dependência com a taxa de dose, angulação e temperatura estão nas tabelas a seguir. Verifica-se que o diodo apresenta pouca variação de resposta para esses parâmetros.

Os fatores de calibração são apresentados na Tabela 4. Nesta tabela são apresentados apenas os fatores de calibração que foram utilizados posteriormente na dosimetria *in vivo*, visto que os pacientes submetidos ao TBI tinham medidas pequenas de DLL.

As medidas de dosimetria *in vivo* foram realizadas e obteve-se baixa diferença entre a dose prescrita no

planejamento do tratamento e a dose obtida com o diodo. Os resultados para o primeiro paciente encontram-se na Tabela 5 e para o segundo, na Tabela 6.

O primeiro paciente apresentou espessura DLL de  $20,0 \pm 0,05$  cm. Dessa forma, como o planejamento é feito na profundidade de referência que corresponde à metade da espessura DLL (10,0 cm), usamos o fator de calibração de 0,84, correspondendo a CORR 18. No caso do segundo paciente, que tinha DLL de  $23,0 \pm 0,05$  cm, usamos a CORR 20.

Para os dois casos de dosimetria *in vivo*, a taxa de dose utilizada foi de 7 cGy/min. No entanto, não foi necessário a correção da dose pelo fator taxa de dose uma vez que, baseando-se nos valores da Tabela 3, observamos que o diodo apresenta uma diferença menor que 2% entre o máximo e o mínimo valor de leitura.

## Discussão e Conclusões

Pelos resultados apresentados, verifica-se que o sistema dosimétrico apresenta-se bem calibrado, uma vez que a variação entre a dose prescrita e a dose obtida a partir do diodo está dentro do recomendado pelo ICRU (*International Commission on Radiation Units*), que é de  $\pm 5\%$ <sup>4</sup>.

O diodo apresentou baixa dependência em relação à taxa de dose e angulação do *gantry* (Tabelas 1 e 2). A baixa dependência com a taxa de dose pode ser compreendida, uma vez que, para diodos que não foram previamente irradiados ou para diodos pouco utilizados na clínica (como foi o caso), a baixa variação de resposta com a taxa de dose é verificada. O sistema dosimétrico do HCFMRP-USP não havia sido usado previamente em nenhuma medida de dose e, portanto, teve sua caracterização e calibração realizada como objetivo deste projeto de pesquisa.

Ainda, podemos ressaltar que a baixa dependência angular pode ser verificada pela geometria do diodo. O diodo apresenta capa de *build-up* própria que garante uma geometria cilíndrica ao volume alvo, diminuindo variações de resposta com a angulação. Quanto à dependência com a temperatura, apesar de baixa (Tabela 3), decidiu-se por usar o diodo no interior de uma semiesfera de isopor para que o mesmo pudesse ficar isolado termicamente em relação ao paciente. Uma vez que na dosimetria *in vivo* o diodo fica em contato direto com a superfície do paciente, estando o mesmo dentro do isopor, garante que trocas de calor entre o paciente e o dosímetro sejam menos eficazes e interfiram menos na resposta do diodo<sup>5</sup>.

Podemos concluir que, para tratamentos de Irradiação de Corpo Inteiro, onde a complexidade do *setup* dificulta a deposição homogênea de dose ao longo do volume alvo, é extremamente necessário que um controle da dose liberada ao paciente seja realizado. Os dosímetros semicondutores mostraram-se adequados para a dosimetria *in vivo*, apresentando valores dentro do recomendado.

Este trabalho obteve aprovação do comitê de ética da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

**Tabela 1.** Fator taxa de dose para o diodo.

Dose (cGy/min)	$L_{\text{diodo}}$ (cGy)	$L_{\text{Cl}}$ (cGy)	$F_{\text{cal}}$
100	$83,97 \pm 0,06$	$84,01 \pm 0,01$	$1,01 \pm 0,01$
200	$83,97 \pm 0,06$	$84,01 \pm 0,01$	$1,01 \pm 0,01$
300	$82,98 \pm 0,08$	$83,04 \pm 0,01$	$1,00 \pm 0,01$

$L_{\text{diodo}}$ : leitura do diodo;  $L_{\text{Cl}}$ : leitura da câmara de ionização;  $F_{\text{cal}}$ : fator de calibração.

**Tabela 2.** Fator dependência angular para o diodo.

Gantry (°)	$L_{\text{diodo}}$ (cGy)
270	$99,49 \pm 0,07$
300	$100,01 \pm 0,02$
330	$100,07 \pm 0,04$
30	$99,94 \pm 0,02$
60	$100,03 \pm 0,03$
90	$99,93 \pm 0,02$

$L_{\text{diodo}}$ : leitura do diodo.

**Tabela 3.** Fator dependência com a temperatura para o diodo.

Temp (°C)	$L_{\text{diodo}}$ (cGy/min)
$26,5 \pm 0,5$	$41,71 \pm 0,07$
$31,0 \pm 0,5$	$42,14 \pm 0,07$
$35,7 \pm 0,5$	$42,31 \pm 0,08$
$36,5 \pm 0,5$	$42,40 \pm 0,06$
$38,8 \pm 0,5$	$42,63 \pm 0,11$

$L_{\text{diodo}}$ : leitura do diodo.

**Tabela 4.** Fatores de calibração para o diodo.

DLL ( $\pm 0,05$ cm)	PR ( $\pm 0,05$ cm)	$L_{\text{Cl}}$ (cGy)	$L_{\text{diodo}}$	$F_{\text{cal}}$	CORR
8	4	13,65	12,1	1,14	15
12	6	11,65	12,1	0,97	16
18	9	10,54	12,2	0,87	17
20	10	10,32	12,3	0,84	18
22	11	9,88	12,2	0,81	19
23	11,5	9,73	12,2	0,79	20

DLL: diâmetro latero-lateral; PR: profundidade de referência;  $L_{\text{Cl}}$ : leitura da câmara de ionização;  $L_{\text{diodo}}$ : leitura do diodo;  $F_{\text{cal}}$ : fator de calibração; CORR: fator de correção.

**Tabela 5.** Dosimetria *in vivo* para o primeiro paciente.

Fração diária (cGy)	$D_{\text{diodo}}$ (cGy)	Varição (%)
300	293,45	2,2
300	291,32	2,9
300	292,51	2,5
300	294,39	1,87

$D_{\text{diodo}}$ : dose obtida com diodo.

**Tabela 6.** Dosimetria *in vivo* para o segundo paciente.

Fração diária (cGy)	$D_{\text{diodo}}$ (cGy)	Varição (%)
300	298,41	0,5
300	299,32	0,2
300	289,51	3,5
300	293,42	2,2

$D_{\text{diodo}}$ : dose obtida com diodo.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao serviço de Radioterapia do HCFMRP-USP.

## Referências

1. Shank B, Simpson L. The role of total body irradiation in bone marrow transplantation for leukemia. *Bull N Y Acad Med.* 1982;58(9):763-77.
2. Carruthers SA, Wallington MM. Total body irradiation and pneumonitis risk: a review of outcomes. *Br J Cancer.* 2004;90(11):2080-84.
3. Gopal R, Ha CS, Tucker SL, Khouri IF, Giralt SA, Gajewski et al. Comparison of two total body irradiation fractionation regimens with respect to acute and late pulmonary toxicity. *Cancer.* 2001;92(7):1949-58.
4. ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements), Report 24, *Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X and Gamma Rays in Radiotherapy Procedures*, ICRU Publications, Washington DC, 1976.
5. Viegas CCB. Dosimetria *in vivo* com uso de Detectores Semicondutores e Termoluminescentes Aplicada ao Tratamento de Câncer de Cabeça e Pescoço. [Tese de Pós-Graduação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ; 2003.