

## SISTEMA DOSIMÉTRICO PARA CONTROLE DIÁRIO DE EQUIPAMENTOS DE RADIOTERAPIA

H. J. Khoury<sup>1</sup>, F. A. Melo<sup>2</sup> e C. A. Hazin<sup>1</sup>

**RESUMO** -- Um sistema dosimétrico foi desenvolvido para a monitoração diária de equipamentos de radioterapia, permitindo a obtenção rápida de informações sobre energia do feixe, uniformidade do campo e taxa de dose. Este sistema, que é alimentado por baterias, consiste de três fotodiodos posicionados no interior de uma caixa de lucite preenchida com água e conectados a um circuito eletrônico contendo o eletrômetro integrador. Estudos da reprodutibilidade, estabilidade e variação da resposta do equipamento em função da dose de radiação foram efetuados. Um desvio padrão de 0,2 % foi obtido para o conjunto de medidas sucessivas efetuadas em um mesmo dia (teste de repetibilidade) e um coeficiente de variação inferior a 1 % foi encontrado para o conjunto de medidas realizadas ao longo de 30 dias (teste de estabilidade). Os resultados obtidos com feixes de raios-X de aceleradores lineares de 6 MV e 10 MV e com radiação gama do <sup>60</sup>Co mostraram que o instrumento é adequado para o controle diário de equipamentos de radioterapia, permitindo facilmente detectar variações nas características do feixe de radiação.

**Palavras-chave:** Dosímetros Semicondutores, Fotodiodos, Calibração de Aceleradores Lineares.

### INTRODUÇÃO

A dose recebida pelo paciente em tratamentos radioterápicos deve ser suficiente para matar as células tumorais mantendo-se, ao mesmo tempo, dentro dos valores de tolerância para as células normais. Incertezas na avaliação desta dose podem resultar em sérias complicações, que vão desde a diminuição do controle tumoral, até a destruição de tecidos sadios. É recomendável, portanto, efetuar um controle frequente do equipamento gerador de radiação, a fim de garantir que as características do feixe estão de acordo com os dados utilizados no planejamento radioterápico. De fato, variações nas características de operação dos aceleradores lineares alteram significativamente os parâmetros do feixe de radiação afetando, portanto, a uniformidade do campo e a dose no paciente. Este controle é difícil de ser efetuado utilizando os sistemas dosimétricos tradicionais que empregam câmaras de ionização, uma vez que para o seu manuseio é necessária a presença do físico. Além disso, o tempo gasto para a montagem e posicionamento da câmara no feixe de radiação é grande, o que acarreta prejuízos na rotina de atendimento aos pacientes.

Com o desenvolvimento de materiais semicondutores na década de 60 surgiram novos tipos de detectores cujas características de funcionamento apresentam vantagens em relação às câmaras

<sup>1</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco- Recife-PE. E-mail: 11hk@npd.ufpe.br

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Universidade Católica de Pernambuco- Recife-PE.

de ionização e aos dosímetros termoluminescentes. A aplicação de semicondutores em dosimetria foi inicialmente proposta por Jones (1963) e mais recentemente por Dixon e Eckstrand (1982), e Rikner e Grussel (1987). Além de apresentar características favoráveis tais como pequenas dimensões, alta sensibilidade e baixa tensão de operação, os dosímetros semicondutores produzem na sua saída uma corrente cerca de 18.000 vezes maior do que a produzida por uma câmara de ionização de mesmo volume (Dixon e Ekstrand, 1982). Esta característica acarreta uma simplificação no sistema eletrônico, permitindo a construção de dosímetros portáteis e de fácil manuseio.

Tendo em vista que o princípio de fabricação da junção dos detectores semicondutores é idêntico ao de fotodiodos comerciais, diversos trabalhos foram realizados no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN/UFPE), com a finalidade de demonstrar a viabilidade de utilização destes componentes eletrônicos para a dosimetria de raios-X e radiação gama (Khoury *et alii*, 1988; Khoury *et alii*, 1990).

Diante destes resultados, foi desenvolvido um sistema dosimétrico à base de semicondutores com o objetivo de colocar ao alcance dos institutos de radioterapia um equipamento simples, capaz de fornecer informações sobre a uniformidade do campo, a taxa de dose e a energia do feixe de radiação. Este equipamento permite que a monitoração dos equipamentos de radioterapia seja efetuada diariamente pelo próprio técnico, de forma rápida, sem prejudicar o atendimento dos pacientes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema dosimétrico consiste de três sensores fixados no interior de uma caixa de lucite de 21cm x 21cm x 15cm, preenchida com água. Dois dos fotodiodos estão posicionados ao longo do eixo central a 5cm e a 10cm de profundidade. O terceiro foi fixado fora do eixo central a 5 cm do centro do campo de radiação e a 5cm de profundidade, conforme mostra a Figura 1.

Como sensores foram utilizados fotodiodos SFH-206, de silício PIN, da Siemens, cuja área sensível é de 0,073 cm<sup>2</sup>. Os fotodiodos foram conectados no modo fotovoltaico à entrada de uma unidade eletrométrica cujo esquema é mostrado na Figura 2. Observa-se que cada fotodiodo é acoplado a um eletrômetro integrador associado a um circuito conversor tensão-frequência que, por sua vez, está conectado ao circuito contador através de um conjunto de portas *tri-state*. A função deste circuito de portas é a de permitir a leitura isolada de cada fotodiodo no mesmo *display*. Isto é possível pela ação do circuito controlador, que é constituído de um gerador de varredura, o qual seleciona sequencialmente os dados do conjunto de portas, permitindo a sua transferência para o *display* de 3<sup>1/2</sup> dígitos.

A Figura 3 mostra o esquema do circuito do eletrômetro integrador desenvolvido para este equipamento. A corrente produzida no fotodiodo pela interação da radiação é injetada na entrada do eletrômetro através do circuito operacional C-1. Este circuito tem a função de multiplicar a corrente produzida no detector. O sinal obtido na sua saída é invertido pelo amplificador A-1, cujo ganho é dado pela relação  $R_2 / R_1$ . O sinal produzido na saída de A-1 é integrado através do capacitor  $C_F$  do circuito A-2, que está associado ao circuito C-2, que é um conversor de tensão em frequência. Através de  $P_1$  é possível ajustar a corrente de *off-set* de modo a cancelar o sinal produzido pelo

detector em ausência de radiação. A voltagem e a corrente de *off-set* deste circuito são fatores que limitam o valor do menor sinal a ser convertido. A resposta do eletrômetro em função da corrente de entrada foi inicialmente analisada utilizando-se uma fonte de corrente (Keithley, Mod. 225). As leituras obtidas com o eletrômetro integrador, para correntes de entrada na faixa de 100 nA a 0,1 nA, mostraram que ele apresenta uma resposta linear ao longo do intervalo de 0,2 nC a 2 nC.

Com a finalidade de ajustar a sensibilidade dos eletrômetros de modo a se obter uma mesma leitura para os três fotodiodos quando expostos a doses iguais de radiação, cada fotodiodo foi inicialmente posicionado a 5 cm de profundidade ao longo do eixo central, em um fantoma de acrílico de 20 cm x 20 cm x 10 cm, preenchido com água. Através do potenciômetro P<sub>1</sub> foi possível ajustar a corrente de entrada de cada eletrômetro de modo que a variação entre as leituras obtidas com os três sensores, para uma dada dose, fosse inferior a 0,5%.

A precisão e a reprodutibilidade da resposta dos sensores também foram testadas. Para tanto, 10 medidas sucessivas foram efetuadas mantendo-se fixas a dose e a geometria de irradiação, repetindo-se o procedimento em dias diferentes ao longo de um mês.

Em seguida, foi efetuado um estudo da resposta dos fotodiodos em função da dose para feixes de raios-X de 6 MV e 10 MV e raios gama do <sup>60</sup>Co. Para isto, os fotodiodos foram posicionados no fantoma a 5 cm de profundidade, ao longo do eixo central, e medidas foram realizadas para diferentes doses, as quais foram previamente determinadas com uma câmara de ionização Farmer de 0,6 cc calibrada no laboratório de metrologia do IRD/CNEN-RJ.

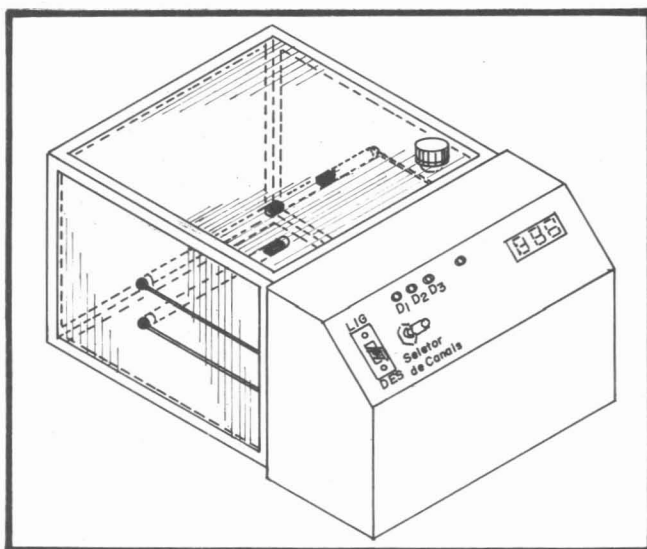


Figura 1. Esquema do sistema dosimétrico

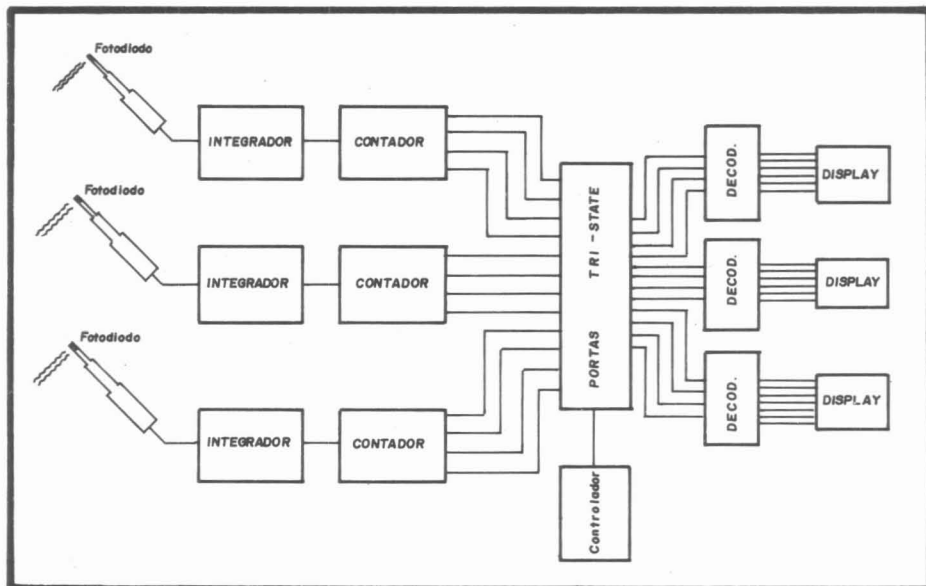


Figura 2. Diagrama esquemático do sistema dosimétrico com semicondutores

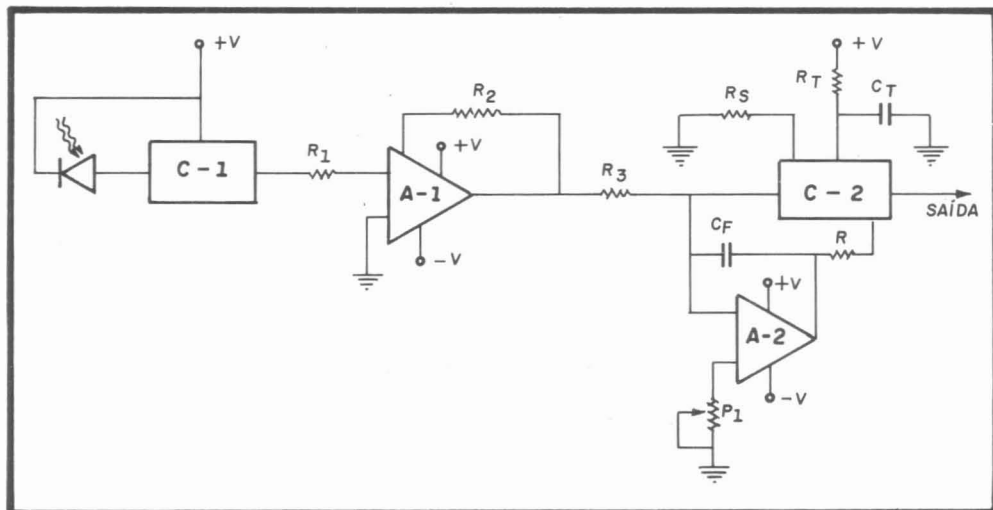


Figura 3. Esquema do circuito eletrônico do eletrômetro integrador

Após a realização destes testes preliminares, o equipamento foi montado de acordo com o arranjo mostrado na Figura 1 e as medidas efetuadas com os aceleradores lineares de 6 MV e 10 MV e com uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das 10 leituras sucessivas obtidas para uma dada dose apresentaram um erro percentual inferior a 0,2 %, o que demonstra a boa repetibilidade da resposta dos sensores utilizados. Um percentual de variação inferior a 1 % foi observado com relação às leituras ao longo de um período de um mês, o que evidencia a estabilidade da resposta dos detectores ao longo do tempo.

As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as curvas de calibração obtidas com feixes dos aceleradores lineares de 6 MV e de 10 MV e com o feixe de  $^{60}\text{Co}$ . O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) em todos os casos foi de 0,99995, indicando que existe uma relação linear entre a dose e a resposta dos fotodiodos.

Na Tabela 1 são apresentados os valores da razão (normalizada para  $^{60}\text{Co}$ ) das leituras obtidas com o fotodiodo F<sub>2</sub>, que está a 10 cm de profundidade, e o fotodiodo F<sub>1</sub>, que está a 5 cm de profundidade, para feixes de raios-X de 6 MV e 10 MV e para  $^{60}\text{Co}$ . Estes valores estão comparados com aqueles obtidos a partir dos valores calculados para as doses nas mesmas profundidades.

O equipamento foi mantido em funcionamento no Instituto de Radioterapia Ivo Roesler, em Recife, PE, durante dois meses. Ao longo deste período, os técnicos realizaram três medidas diárias, sendo uma no início da manhã, uma no início da tarde e uma no fim do expediente. Verificou-se que alterações superiores a 3% na leitura indicada pelos fotodiodos correspondiam efetivamente a alterações na calibração do acelerador linear. Isto demonstra a viabilidade do uso deste monitor para um rápido controle dos equipamentos de radioterapia.

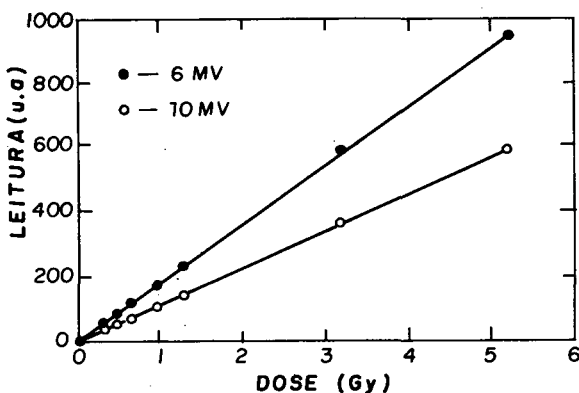


Figura 4. Resposta do fotodiodo em função da dose para um feixe de AL 6 MV e de 10 MV

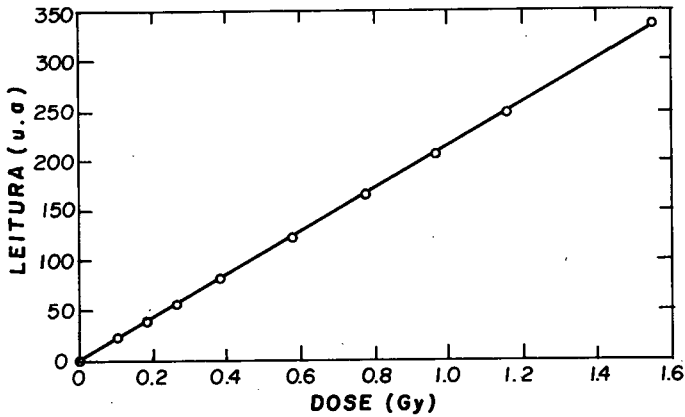


Figura 5. Curva de calibração do fotodiodo para um feixe de  $^{60}\text{Co}$ .

Tabela 1. Razão entre as leituras do fotodiodo  $F_2$  (10 cm de profundidade) e  $F_1$  (5 cm) para feixes de  $^{60}\text{Co}$  e de raios-X de 6 MV e 10 MV (campo de 10 cm x 10 cm).

Fonte	Leit. $F_2$ / Leit. $F_1$	Dose 10 cm / Dose 5 cm
$^{60}\text{Co}$	1,00	1,00
AL-6 MV	0,86	0,85
AL-10 MV	0,84	0,85

### CONCLUSÕES

A simplicidade de operação do sistema dosimétrico desenvolvido e a reprodutibilidade e estabilidade de sua resposta ao longo do tempo demonstram a adequabilidade de seu uso no controle de equipamentos de radioterapia e, principalmente, de aceleradores lineares. A sua utilização permite um acompanhamento diário das condições de funcionamento dos equipamentos, possibilitando a identificação de alterações nas taxas de dose e na energia do feixe de radiação, contribuindo assim para um melhor tratamento do paciente.

### REFERÊNCIAS

DIXON, R. and ECKSTRAND, K. E. (1986). "Silicon Diode Dosimetry", *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, v. 33, p. 1171-1176.

- JONES, A. A. (1963). "The Application of Some Direct Current Properties of Si Junction Detectors to Gamma Ray Dosimetry", *Physics in Medicine and Biology*, v. 8, n. 4, p. 451-459.
- KHOURY, H. J., MELO, F. A. e LIRA, C. A. (1988). "Utilização de Fotodiodos para Dosimetria de Radiações Ionizantes", *Anais do II Congresso Geral de Energia Nuclear*, Rio de Janeiro, v. 2, p. 199-206.
- KHOURY, H. J., LOPES FILHO, F. J. e MELO, F. A. (1990). "Determinação das Doses Superfície e Profunda com Fotodiodo BPW-34", *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Engenharia Biomédica*, v. 7, n. 1, p. 242-247.
- RIKNER, G. and GRUSSEL, E. (1987). "Patient Dose Measurements in Photon Fields by Means of Silicon Semiconductor Detectors", *Medical Physics*, v. 14, n. 5, p. 870-873.

**DOSIMETRIC SYSTEM FOR DAIRY CONTROL OF RADIOTERAPIC EQUIPMENT**

H. J. Khoury<sup>1</sup>, F. A. Melo<sup>2</sup> and C. A. Hazin<sup>1</sup>

**ABSTRACT--** A semiconductor based dosimetric system was developed for daily checks of radiotherapy equipment, providing information about beam energy, field uniformity, and dose rate. The system consists of three photodiodes fixed in the interior of a Lucite box filled with water and connected to an integrating electrometer and associated electronic circuit. The performance of the equipment was evaluated concerning precision, stability, and variation of response to the radiation dose. The set of successive measurements taken on the same day (reproducibility test) showed a standard deviation of 0.2 %. The series of measurements taken during a period of 30 days (stability test), on the other hand, exhibited a coefficient of variation of less than 1 %. The tests performed with linear accelerators of 6 MV and 10 MV, and with <sup>60</sup>Co units showed that the instrument is suitable for use in the daily control of radiotherapy equipment, since it can detect with sufficient sensitivity variations in the characteristics of the radiation beam.

**Key-words:** Semiconductor Dosimeters, Photodiodes.

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco- Recife-PE. E-mail: 11hk@npd.ufpe.br

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Universidade Católica de Pernambuco- Recife-PE.