

Utilização de fototransistores SMT para dosimetria em tomografia computadorizada

C. M. S. de Magalhães^{1,2}, J. O. da Silva^{1,2}, J. Antônio Filho², L. A. P. dos Santos¹

¹ *Laboratório de Instrumentação Nuclear, Centro Regional de Ciências Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, 50740-540, Recife-PE, Brasil*

² *Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil
cinthiamsm@yahoo.com.br*

(Recebido em 01 de outubro de 2007; aceito em 20 de novembro de 2007)

Um sistema dosimétrico para tomografia computadorizada foi desenvolvido utilizando fototransistores do tipo SMT (*Surface-Mount Technology*). A caracterização dos fototransistores foi feita utilizando um gerador de raios-X Pantak na qualidade de radiação RQR9 da IEC 61267. Os testes realizados foram: dependência energética, resposta com a dose e repetitividade. A corrente foi mensurada em tempo real utilizando um sub-femto-amperímetro Keithley®. Uma câmara de ionização NE2571 acoplada a um eletrômetro NE2670 foi utilizada para estimar a dose na mesma posição dos dispositivos. Depois da caracterização, foram realizadas em um tomógrafo Asteion da Toshiba medidas no ar e em um simulador dosimétrico de cabeça. Depois da caracterização, os fototransistores foram utilizados para determinar o perfil de dose ao longo do eixo de rotação com parâmetros de rotina para exames de cabeça. Um eletrômetro Flip-Flop foi utilizado para obter essas medidas. Os resultados indicam a confiabilidade dos valores de corrente obtidos quando comparados com os valores de dose obtidos utilizando uma câmara de ionização CT submetida às mesmas condições. Apesar da perda de sensibilidade dos dispositivos após as irradiações, os fototransistores SMT apresentam características, como alta sensibilidade, leitura em tempo real, linearidade, que são favoráveis para dosimetria em CT.

Palavras-chave: fototransistores, dosimetria, tomografia computadorizada.

A dosimetry system using commercially available SMT (*Surface-Mount Technology*) phototransistors is evaluated for dose measurements in X-ray computed tomography. First, the phototransistors were characterized at the laboratory using a Pantak X-ray in the standard radiation quality RQR9 from IEC61267. The following tests were realized: energy dependence, response with dose rate and repetitivity. The phototransistors yielded a real-time readout and a 6430 Sub-femto-amperimeter Keithley® was used to obtain their electrical current. This methodology allowed the correlating of their results with a standard ionisation chamber, a NE2571 ionization chamber coupled to a NE2670 electrometer that measured the applied dose at the detector position. After the characterization of the phototransistors, free-in-air and in head phantom dose measurements were carried out with the dosimetry system at the Hospital. Phototransistors were used to determine the dose profile measurements along the axis of rotation undergoing CT head examination. A Flip-Flop electrometer was used to obtain these measurements. The results indicated that the current values were reliable when compared with the results of doses of CT ionization chamber under the same conditions. The loss of radiation sensitivity, post-irradiation, with time is not significant and the SMT phototransistor brings some features to CT dosimetry including high sensitivity, small size, real-time measurements and linearity.

Keywords: phototransistors, dosimetry, computed tomography.

1. INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada (CT), introduzida na prática clínica em 1972, proporcionou um grande avanço no radiodiagnóstico médico, sendo reconhecida pelo alto potencial de diagnóstico. Apesar da alta capacidade de diagnóstico da tomografia computadorizada, o método da CT proporciona doses altas em relação a outros exames de diagnóstico radiológico.

A dosimetria em CT é feita, principalmente, utilizando-se uma câmara de ionização tipo lápis com 100 mm de comprimento. Os dosímetros termoluminescentes (TLDs) e os filmes também são utilizados para esta finalidade [1]. Os semicondutores apresentam características que despertam o interesse para o estudo dos mesmos na dosimetria das radiações ionizantes. A

capacidade de leitura imediata, as pequenas dimensões e a baixa energia necessária para produção de um par elétron-lacuna são algumas delas. A dosimetria com a câmara lápis é questionada e a utilização de transistores de efeito de campo tipo metal-óxido-semicondutor (MOSFET, *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) para obtenção de medidas diretas da dose em CT num futuro próximo é projetada [2]. O semicondutor fotodiodo PIN de silício foi caracterizado e utilizado tanto para dosimetria em CT como para outros exames radiológicos [3]. Os fototransistores bipolares, semicondutores que apresentam elevado poder de amplificação de sinal, têm sido avaliados para utilização como detectores de radiação na faixa de energia de radiodiagnóstico [4] e de radioterapia [5].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os fototransistores comerciais OP520 (Figura 1), OPTEK[®] Technology, foram os utilizados neste trabalho. Os dispositivos foram separados em grupos com a mesma corrente de escuros utilizando um eletrômetro Keithley[®] 6430.



Figura 1: Fototransistor OP520 fabricados pela OPTEK[®] Technology. Dimensões: 1,50×1,10×3,10 mm.

2.1. Caracterização dos fototransistores

Para a caracterização dos fototransistores foi utilizado um gerador de raios-X industrial, Pantak HF320, na qualidade de radiação RQR9 da IEC 61267 [6] (Figura 2). As leituras das correntes dos semicondutores foram estimadas utilizando o eletrômetro Keithley[®]. Os testes realizados foram: dependência energética, resposta com a taxa de dose e repetitividade. Uma câmara de ionização NE2571 acoplada a um eletrômetro NE2670 foi utilizada para determinar as doses e as taxas de dose na posição do detector.

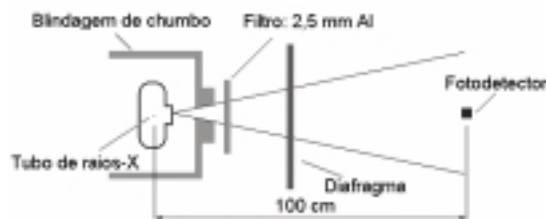


Figura 2: Arranjo experimental para a caracterização dos fototransistores.

A avaliação da dependência energética foi realizada fixando a intensidade dos raios-X em 150 mAs e variando o potencial de 70 a 160 kV (de 10 em 10 kV). Essa faixa de potencial foi escolhida por cobrir toda faixa de tensão em exames de tomografia, de 80 a 150 kV. A avaliação da resposta com a taxa de dose foi feita variando a intensidade dos raios-X de 50 e 250 mAs, em intervalos de 50 mAs. Os fototransistores foram submetidos à taxa de dose constante (1 mGy/s) durante um intervalo de tempo de 1.000 s. Com isso, foi verificada tanto a repetitividade quanto à perda de sensibilidade (relacionada à vida útil) dos dispositivos.

2.2. Avaliação da dose

Após a caracterização, os fototransistores foram submetidos a protocolos de exames de cabeça para avaliar sua utilidade como dosímetros. O perfil de dose ao longo do eixo de rotação do tubo de raios-X foi mensurado ao ar livre e utilizando um simulador dosimétrico de cabeça. Dois fototransistores foram conectados, unidos pela parte traseira para diminuir a dependência angular, em uma placa de fibra de vidro (funcionando como um único sensor). Os dispositivos foram colocados nos 5 orifícios (4 periféricos e 1 central) do simulador e no ar, no eixo de rotação do tomógrafo Asteion da Toshiba. O perfil de dose, ao longo do eixo z , foi obtido através de 60 mm de varredura com o detector no centro. A corrente dos fototransistores foi mensurada utilizando um eletrômetro Flip-Flop[®]. Um computador de instrumentação foi utilizado para registrar as leituras através do programa DoseX[®]. O valor do índice de dose em tomografia computadorizada (*Computed Tomography Dose Index, CTDI*) e o *CTDI* ponderado (*CTDI_w*) foram obtidos utilizando uma câmara de ionização CT padrão (10X5 – 10.3CT da Radcal) submetida às mesmas condições e exposta a um único corte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram feitos testes com o fototransistor do tipo OP520. Foram feitas medidas da corrente de escuros dos 100 fototransistores desse tipo. Em seguida, foram separados em lotes que apresentavam a mesma faixa de corrente, dentro de uma variação de 10%.

O primeiro teste realizado utilizando o equipamento Pantak HF320 foi o da dependência energética. O potencial foi variado de 70 a 160 kV mantendo a taxa de fluência do sistema de controle do gerador de raios-X em 150 mAs. Normalizando a leitura dos fototransistores em 120kV em relação a dose obtida com a câmara 2571, foi obtida a Figura 3:

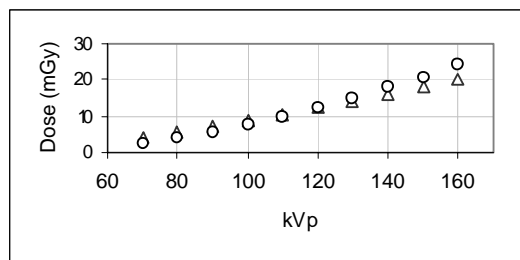


Figura 3: Dependência energética dos FTs nos potenciais de 70 a 160 kV. FT: triângulos; CI: esferas.

Em CT, o potencial mais utilizado é de 120 kV. Isso significa que o espectro, dependendo da filtração, pode variar entre 50 keV até 120 keV. Pelo gráfico mostrado na Figura 3, observa-se que em toda faixa as curvas de respostas do fototransistor e da câmara de ionização são muito próximas.

O segundo teste realizado foi o da resposta com a taxa de dose. Para isso, o potencial foi mantido constante em 120 kV e a taxa de fluência foi variada proporcionalmente (variando a corrente). O gráfico obtido está na Figura 4:

Figura 4: Resposta com a taxa de dose dos fototransistores do tipo OP520.

O gráfico resultante da resposta dos fototransistores OP520 quando a taxa de fluência é variada proporcionalmente se comporta de maneira praticamente linear, apresentando uma linha de tendência com bom ajuste aos dados experimentais. Esse comportamento é muito desejado para os dosímetros de radiação ionizante.

Para avaliar a repetitividade das leituras obtidas com os fototransistores OP520, um conjunto de medições de quase 900 leituras foi realizado mantendo a taxa de dose constante em 1mGy/s. O gráfico resultante está na Figura 5.

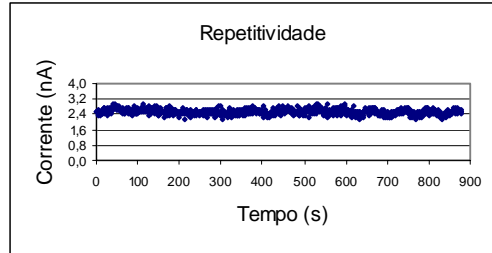


Figura 5: Repetitividade dos fototransistores OP520 em função do tempo de irradiação.

A Figura mostra que a variabilidade das leituras está em torno de 10%, o que é um resultado considerado razoável. É possível perceber nessa Figura que não houve perda de sensibilidade ao longo do tempo, confirmando o que foi previsto pelo fato de se tratar de radiação em nível de radiodiagnóstico (baixas energias).

Para avaliação dosimétrica, o perfil de dose foi obtido utilizando 120 kV, 210 mA e 0,75 s por varredura. A espessura do corte foi de 3 mm para as medições no simulador (Figura 6) e 5 mm no ar.

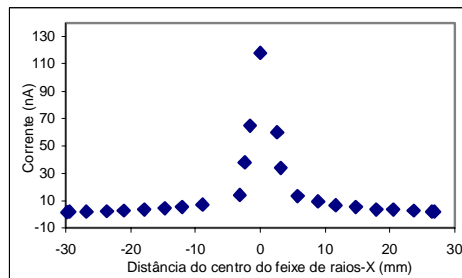


Fig. 6: Perfil de dose na região periférica do simulador ao longo do eixo z: varredura de 60 mm.

É notável que a 30 mm de distância do centro do sensor a contribuição para corrente é insignificante. O valor da corrente do fototransistor no pico do perfil pode ser correlacionado com a dose integrada obtida com a câmara de ionização CT. A tabela 1 mostra essa correlação.

Tabela 1: Corrente dos FTs no pico do perfil de dose, CTDI e CTDI_w* obtidos com a CI

Voltagem (kV)	Corrente do fototransistor no simulador (nA)	Corrente do fototransistor no ar (nA)	CTDI _w (mGy)	CTDI (mGy)
120	87	161	1,12	2,5

*CTDI_w (Weight Computed Tomography Dose Index) = 1/3 CTDI_c + 2/3 CTDI_p

CONCLUSÃO

Os fototransistores OP520 podem ser utilizados para correlacionar suas leituras de corrente com a dose integrada em CT. A perda de sensibilidade após irradiação não é significativa e os fototransistores SMT apresentam características, como alta sensibilidade, leitura em tempo real, dependência energética comparável com a da câmara de ionização e linearidade, que são favoráveis para dosimetria em CT.

-
1. ROTHENBERG, L. N.; PENTLOW, K. S. Radiation Dose in CT. **Radiographic**. v.12, n. 6, p. 1225-1246, 1992.
 2. BRENNER, D. J. Is it time to retire the CDTI for quality assurance and dose optimization? **Medical Physics**. v. 32, n. 10, 2005.
 3. AOYAMA, L.; KOYAMA, S.; KAWAURA, C. An in-phantom dosimetry system using pin silicon photodiode radiation sensors for measuring organ doses in X-ray CT and other diagnostic radiology. **Medical Physics**. v. 29, n. 7, p. 1504-1510, 2002
 4. SANTOS, L. A. P.; SILVA JÚNIOR., E. F.; VILELA E. Filtered x-ray beam dosimetry from 10^{-3} to 10^2 Gy dose range by using phototransistors. **Radiation Protection Dosimetry**. v. 101, n. 1-4, p. 145-148, 2002.
 5. DHOLE, S. D.; BHORASKAR, V. N. Use of phototransistor as a radiation monitor. In: 4th Conference on Radiation Protection and Dosimetry. 1994. Orlando, Florida, USA. **Proceedings**. Tennessee: ORNL, 1994. p. 245-252.
 6. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61267**: Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for use in determination of characteristics. Genève, 2005.