



Caracterização de feixes de raios x pulsados para testes de desempenho de dosímetros eletrônicos

Margarete C. Guimarães¹ e Teógenes A. da Silva^{1,2}

¹Curso de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia das Radiações, Materiais e Minerais – CDTN/CNEN ²Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN – Belo Horizonte, MG, Brasil
Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)
Av. Presidente Antonio Carlos 6627 – Campus UFMG - Pampulha
31270-901 Belo Horizonte, MG
mcg@cdtn.br, silvata@cdtn.br

RESUMO

Dosímetros eletrônicos, pela praticidade de leitura direta, têm sido cada vez mais utilizados para monitoração individual ou de área para fins de radioproteção em campos de raios X usados em radiologia diagnóstica. Deficiências no desempenho de tais dosímetros em feixes pulsados têm sido publicadas, que não são detectadas pelos procedimentos de calibração e testes de desempenho estabelecidos por normas internacionais somente para feixes contínuos de radiação. No Brasil, não há requisitos de desempenho de dosímetros em feixes pulsados, nem um laboratório que realize ensaios para maior confiabilidade no uso dos dosímetros. Este trabalho objetiva caracterizar a máquina de raios X médico VMI 800 Plus no Laboratório de Calibração de Dosímetros do CDTN/CNEN e estudar a viabilidade da sua utilização para testes de desempenho de dosímetros eletrônicos.

1. INTRODUCTION

A confiabilidade metrológica de dosímetros usados para monitoração ou dosimetria das radiações para fins de radioproteção, baseia-se na calibração e nas características de desempenho do mesmo em determinadas condições de ensaios. Calibração significa uma determinação quantitativa, em condições padrões controladas, da indicação do dosímetro em função de um valor da grandeza de interesse. Ensaios de desempenho são medições que objetivam a determinação quantitativa da variação da resposta do instrumento em uma faixa de energia, tipo de radiação e de condições elétricas e ambientais (IAEA 2000).

As características de um dosímetro são determinadas por meio de testes de desempenho (“*type tests*”) que envolvem medições exaustivas da resposta do dosímetro em função de grandezas de influência como: energia, ângulo de incidência, dose, taxa de dose, tipo de radiação etc. Os requisitos de desempenho do dosímetro são estabelecidos por normas nacionais ou internacionais considerando condições de referência e condições padrões de teste (IAEA 2000).

Dosímetros eletrônicos com detectores do tipo semicondutor de diodos de silício são largamente usados para medições com leitura direta em áreas com presença de radiação, para tarefas específicas dos indivíduos ocupacionalmente expostos; eles são também amplamente utilizados na dosimetria de feixes de radiação utilizados para radiodiagnóstico e radioterapia. Para confiabilidade metrológica na dosimetria, os dosímetros eletrônicos deveriam ser submetidos a completos testes de desempenho, que deveriam ter em conta as condições em que serão utilizados em radiologia diagnóstica.

Na radioproteção, para monitoração de área, dosímetros são projetados para medir a *grandezza equivalente de dose ambiente*, $H^*(10)$, ou *equivalente de dose direcional*, $H'(0,07)$; na monitoração individual de pessoas, eles medem o *equivalente de dose pessoal a 0,07 ou 10 mm de profundidade do tecido*, $H_p(10)$ ou $H_p(0,07)$, respectivamente; estas grandezas operacionais foram criadas para estimar a *dose efetiva*, e a dose equivalente na pele (ICRU 1985, ICRP 2007).

A grande diversidade do tipo de dosímetros e dos campos de radiações, que existem nas diversas atividades na indústria, nos estabelecimentos de saúde e em laboratórios de pesquisas, exige o conhecimento adequado das características metrológicas de cada dosímetro para a escolha adequada daquele a ser utilizado em cada situação (Burges 2001).

Objetivando a padronização e a coerência metrológica internacional, a International Organization for Standardization, ISO, estabeleceu radiações de referência para raios X, gama, beta e nêutrons que devem ser reproduzidas e utilizadas em Laboratórios de Metrologia para a calibração e ensaios de desempenho de dosímetros (ISO 1995, 1996, 2004).

As características metrológicas de diversos tipos de dosímetros foram estabelecidas pela International Electrotechnical Commission, IEC, para uso na monitoração ou na dosimetria de feixes de

radiação, por meio do estabelecimento de procedimentos de ensaios e de requisitos de desempenho (IEC 1995, 1996, 1997, 1998).

A existência de uma rede brasileira de laboratórios de metrologia das radiações ionizantes exige ações para garantir a coerência metrológica no país. Os laboratórios devem realizar a determinação quantitativa dos parâmetros que caracterizam as radiações de referência para a calibração e para ensaios de desempenho de dosímetros tanto para as grandezas dosimétricas de interesse (kerma no ar, equivalente de dose pessoal, equivalente de dose ambiente) como para os parâmetros de influência relevantes (geometria de radiação, condições ambientais, campos eletromagnéticos).

No Brasil, há oito Laboratórios de Metrologia que executam serviços de calibração de dosímetros, principalmente em feixes de radiação gama do ^{137}Cs , entre eles o Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da tecnologia Nuclear, LCD/CDTN, em Belo Horizonte. Porém, nenhum executa, de maneira formal, testes de desempenho de dosímetros.

Nas últimas décadas, o número e variedade de aplicações que utilizam a radiação ionizante aumentou significativamente, especialmente no contexto de diagnóstico médico e terapia, ocorrendo situações em que são usados feixes de radiação pulsados. Deficiências no desempenho de dosímetros eletrônicos em feixes pulsados têm sido publicadas; isto não era detectado nos procedimentos de calibração e testes de desempenho estabelecidos por normas internacionais somente para feixes contínuos de radiação (Ankerhold, 2009). A especificação das condições de teste e os requisitos de desempenho para os dosímetros eletrônicos estão em discussão em grupos de trabalho da ISO e da IEC. O Laboratório PTB da Alemanha divulgou a caracterização de uma máquina de raios X para implantação de radiações de referência para testes de desempenho de dosímetros.

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade do uso da máquina de raios X médico VMI Pulsar 800 Plus para ensaios do desempenho de dosímetros eletrônicos em feixes pulsados.

2. METODOLOGIA

2.1. Características dos Materiais Utilizados

A máquina de raios X VMI 800 Plus, com faixa de tensão de 50 a 125 kV, faixa de corrente de 75 a 800 mA e tempo de exposição de 50 a 300 ms, do Laboratório de Calibração de Dosímetros do CDTN/CNEN, foi utilizada para este estudo. Os feixes de raios X foram atenuados com filtros de alumínio de alta pureza da Goodfellow com pureza de 99,999%. Três tipos de dosímetros eletrônicos foram selecionados para os ensaios preliminares, sendo que todos estavam calibrados em feixes de ^{137}Cs , com desempenho adequado:

- Dosímetro eletrônico RADOS, usado como dosímetro individual para dose e taxa de dose, com detector de diodo de Silício, na faixa de $1 \mu\text{Sv} - 9,99 \text{ Sv}$ e de 60 keV a 3 MeV ;;
- Dosímetro eletrônico PDM (ALOKA), usado dosímetro eletrônico individual, detector de semicondutores de silício, operando na faixa de dose de 1 a $9,99 \mu\text{Sv}$, e de 70 keV a 3 MeV ;
- Dosímetro eletrônico THERMO Electron Corporation / EPD Mk 2.3, usado como dosímetro individual para a faixa de energia de 15 keV a 10 MeV e taxa de dose de 0 a $4 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

2.2. Caracterização do feixe de raios X e irradiação dos dosímetros

Para representar a radiação espalhada em radiologia diagnóstica, onde monitoração do nível de radiação com os dosímetros eletrônicos pode ser feita, escolheu-se o feixe de raios X similar à radiação de referência estabelecida pela IEC e identificada como RQA9, que atendia a faixa de operação dos dosímetros. Os parâmetros que estabelecem a RQA9 são: tensão de 120 kV , filtração adicional de 40 mm Al , camada semirredutora de $11,6 \text{ mmAl}$.

As medidas de taxa de kerma no ar, tensão, camada semirredutora e tempo de exposição foram efetuadas com o sistema UNFORS de estado sólido Unfors Xi Light, recentemente calibrado. O sistema UNFORS foi posicionado livre no ar e a taxa de kerma no ar no ponto de referência foi determinada a partir de três medidas repetitivas. A Fig. 1 apresenta o sistema de calibração em feixe de raios X durante as medidas com o sistema UNFORS.



Figura 1 – Sistema de calibração em raios X durante as medidas com o sistema UNFORS.

Para a determinação da resposta dos dosímetros eletrônicos em termos de equivalente de dose pessoal, $H_p(10)$, cada dosímetro foi individualmente posicionado no ponto de referência e na superfície do fantoma ISO, tipo paralelepipedal, com dimensões $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$, paredes de acrílico e preenchido com água; a fim de acompanhar a estabilidade do feixe de raios X durante as irradiações, o sistema UNFORS foi posicionado na borda do campo de radiação, permitindo assegurar que todos os dosímetros receberam os mesmos valores de $H_p(10)$ (Fig.2). Os valores de $H_p(10)$ foram calculados a partir dos valores da taxa de kerma utilizando-se o coeficiente de conversão igual a $2,11 \text{ Sv.Gy}^{-1}$ (Rosado, 2008).



Figura 2 – Sistema de irradiação do dosímetros eletrônico posicionado na superfície do fantoma ISO.

3. RESULTADOS

As Tab. 1 e 2 apresentam os valores obtidos para os parâmetros característicos do feixe de raios X RQA9, para tempo de exposição de 50 a 300 ms, com a corrente do tubo de 100 mA e para o tempo fixo de 100 ms com as correntes de 50, 100 e 150 mA, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros característicos da radiação RQA9 para 100 mA.

Tensão (kV)		Tempo (s)		Camada semirredutora (mm Al)		Taxa de kerma no ar (mGy. s ⁻¹)
nominal	medida	nominal	medido	nominal	medida	
120	130,82	50	0,047	11,6	11,54	0,107
	131,20	100	0,098		11,71	0,113
	126,17	120	0,119		11,81	0,114
	120,39	150	0,150		11,69	0,118
	127,90	200	0,201		11,72	0,119
	122,34	300	0,303		11,71	0,120

Tabela 2. Parâmetros característicos da radiação RQA9 para 100 ms.

Tensão (kV)		Corrente do tube (mA)		Camada semirredutora (mm Al)		Taxa de kerma no ar (mGy. s ⁻¹)
nominal	medida	nominal	medido	nominal	medida	
120	122,64	50		11,6	11,76	0,052
	131,20	100			11,71	0,113
	124,55	150			11,66	0,170
	125,10	200			11,63	0,308

Os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 indicam que o feixe de radiação produzido aproxima-se da radiação de referência RQA9, principalmente pela concordância entre o valor nominal e o medido da camada semirredutora; os valores da taxa de kerma no ar estão dentro da faixa de operação dos dosímetros eletrônicos selecionados.

A Tabela 3 apresenta a resposta dois dosímetros de cada tipo selecionado na condição de 100 mA e 100 ms, correspondendo ao valor Hp(10 igual a 23,8 µSv. Os resultados indicam que:

- os dosímetros RADOS, em algumas exposições, nem responderam à radiação e quando o fez, os valores não eram coerentes;

- os dosímetros ALOKA responderam de forma coerente, porém, com valores subestimados por um fator quatro;
- os dosímetros THERMO apresentaram variações nas respostas, superestimando os valores de Hp(10) em até mais de 100%

Tab. 3 – Resposta dos dosímetros eletrônicos para o feixe de raios X RQA9, para o equivalente de dose pessoal, Hp(10), de 23,8 μ Sv, nas condições de 100 mA e 100 ms.

Hp(10) (μ Sv)	Indicação nos dosímetros eletrônicos (μ Sv)					
	RADOS 1	RADOS 2	ALOKA 1	ALOKA 2	THERMO1	THERMO 2
	0	0	5,7	5,3	47	30
23,8	0	11	5,0	5,4	56	40
	33	9	5,4	5,3	66	49

3. CONCLUSIONS

Os resultados deste trabalho comprovou que dosímetros eletrônicos de estado sólido podem responder de forma inadequada a feixes pulsados de radiação, como os encontrados na radiologia diagnóstica. Os ensaios realizados sugerem que as instalações podem ser utilizadas para outros ensaios, mas que os estudos devem ser estendidos para diferentes tempo de exposição e taxas de Hp(10).

AGRADECIMENTOS

Margarete Guimarães agradece a CNEN pela bolsa de mestrado. Este trabalho faz parte do projeto do INCT Metrologia das Radiações em Medicina e da Rede Metroradi/Sibratec.

REFERÊNCIAS

1. Ankerhold, U., Hupe, O. and Ambrosi, P. *Deficiencies of active electronic radiation protection dose-meters in pulsed fields*. Radiat. Prot. Dosim. 135(3), 149–153 (2009).
2. BURGESS, P. H. – *Guidance on the choice, use and maintenance of hand-held radiation monitoring equipment*. NRPB- R326, Didcot, UK (2001).

3. CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear – *Requisitos técnicos para certificação de Laboratórios de calibração de Instrumentos de medição para radiação ionizante usados em radioproteção*. RT-LCI-001/2011. CASEC/IRD/CNEN (2011).
4. IAEA, International Atomic Energy Agency – *Calibration of radiation protection monitoring instruments*. Safety reports series no.16. Vienna (2000).
5. ICRP. International Commission on Radiological Protection - The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - Publication 103, (2007).
6. IEC. International Electrotechnical Commission – *Beta, X and gamma radiation dose equivalent and dose equivalent ratemeters for use in radiation protection*. Publication 846 (1995).
7. IEC. International Electrotechnical Commission – *Direct reading personal dose equivalent and/or dose equivalent rate monitors for measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$ for X, gamma and beta radiation*. Publication 1283 (1997).
8. IEC. International Electrotechnical Commission – *Medical electrical equipments – Dosimeters with ionization chambers and/or semi-conductor detectors as used in X-ray diagnosis imaging*. IEC standard 61674 (1998).
9. IEC. International Electrotechnical Commission – *Medical diagnostic x-ray equipment – Radiation conditions for use in the determination of characteristics*. Rep. IEC-61627, Geneva (2005).
10. IEC. International Electrotechnical Commission - *Radiation protection instrumentation—electronic counting dosimeters for pulsed fields of ionizing radiation*. IEC 62743 TS Ed. 1: 2012.
11. ISO, International Organization for Standardization – *X and gamma reference radiations for calibrating dose meters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy* –. ISO standard 4037-1, 2, 3 e 4, Geneva (1995).
12. ISO. International Organization for Standardization - *Radiological protection—characteristics of reference pulsed radiation*. ISO/NP TS 18090: 2012.
13. Klammer, J.; Roth, J.; Hupe, O. *Novel reference radiation fields for pulsed photon radiation installed at PTB*. Radiation Protection Dosimetry (2012), Vol. 151, No. 3, pp. 478–482.
14. Rosado, P.H. G. - *Determinação experimental dos coeficientes de conversão de kerma no ar para o equivalente de dose pessoal, $H_p(d)$, e fatores de retroespalhamento em feixes de raios-x diagnóstico* – Dissertação de mestrado – Programa de Ciência e Tecnologia das Radiações Minerais e Materiais, CDTN/CNEN, 2008.