

Desempenho de um sistema tandem para controle de qualidade em radiodiagnóstico

A tandem system performance for quality control in radiodiagnostic range

Jonas O. Silva, Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) - São Paulo (SP), Brasil

Resumo

Um sistema tandem com câmaras de ionização foi desenvolvido para ser aplicado no intervalo de energia de radiodiagnóstico convencional. Este sistema é formado por duas câmaras de ionização com eletrodos coletores de materiais diferentes: alumínio e grafite. Ambas as câmaras possuem um volume sensível de 6 cm³. Características como saturação, eficiência de coleta de íons, linearidade da resposta da câmara com a taxa de kerma no ar e dependência energética foram determinados. Com os resultados obtidos com a dependência energética foram determinadas as curvas tandem. Os resultados mostram que este sistema pode ser usado em programas de controle de qualidade em radiodiagnóstico. Todas as medidas foram realizadas no Laboratório de Calibração de Instrumentos no IPEN/CNEN.

Palavras-chave: câmara de ionização, radiodiagnóstico, sistema tandem, instrumentação.

Abstract

A tandem ionization chamber system has been developed to be applied for conventional diagnostic radiology energy range dosimetry. This system consists of two ionization chambers with different collecting electrode materials: aluminum and graphite. Both chambers have a sensitive volume of 6 cm³. Characteristics as saturation, ion collection efficiency, linearity of chamber response versus air kerma rate and energy dependence were determined. The results of energy dependence allowed the determination of the tandem curve. It can be used in quality control programs of diagnostic radiology area. All measurements were carried out at the Calibration Laboratory of IPEN.

Keywords: ionization chamber, radiodiagnostic, tandem system, instrumentation.

Introdução

O programa de controle de qualidade de equipamentos de radiodiagnóstico é essencial para aliar o compromisso da qualidade da imagem com a mínima dose necessária ao paciente¹. Para isto, alguns testes são realizados nos equipamentos e, entre eles, está o da verificação da camada semi-redutora. Uma medida correta da qualidade do feixe irá assegurar tanto a otimização da imagem quanto a proteção radiológica do paciente².

Geralmente a obtenção dos valores das camadas semi-redutoras pelo método convencional demanda muito tempo e, por isso, não é realizado nas clínicas com a frequência necessária. Um método simples e auxiliar na determinação das camadas semi-redutoras é o sistema tandem que consiste na razão das respostas de detectores com dependências energéticas diferentes³. A partir dos fatores obtidos pode-se confirmar a energia do feixe⁴.

Assim, o propósito deste trabalho foi apresentar o desempenho um sistema dosimétrico constituído por duas câmaras de ionização construídas com material de baixo custo nas qualidades de radiodiagnóstico convencional. A caracterização das câmaras para esta finalidade seguiu recomendações internacionais^{5,6}. Por fim, os fatores tandem foram determinados.

Materiais e Métodos

Foram utilizadas duas câmaras de ionização de placas-paralelas desenvolvidas no IPEN. Elas possuem volume sensível de 6,0 cm³ e eletrodos coletores de materiais diferentes (alumínio e grafite). As leituras das câmaras foram obtidas com o eletrômetro PTW-Freiburg UNIDOS E. Os sistemas de irradiação usados foram: uma fonte de controle de ⁹⁰Sr+⁹⁰Y (33 MBq, 1994) da PTW tipo

8921 e um equipamento de raios-X Pantak Seifert Isovolt 160HS com alvo de tungstênio, que opera de 5 a 160 kV (a corrente pode variar de 0,1 a 45 mA). Este equipamento tem uma filtração inerente de 0,8 mmBe. Na Tabela 1 estão apresentadas as qualidades dos feixes de radiodiagnóstico. Como essas câmaras não são seladas, foi necessário fazer as correções nas leituras para as condições normais de temperatura e pressão (20°C e 101,3 kPa).

Resultados

As câmaras foram estudadas em relação às suas características operacionais de: saturação da corrente de ionização, eficiência de coleção de íons, efeito de polaridade, tempo de estabilização e estabilidade a curto prazo (repetibilidade). A linearidade e a dependência energética foram testadas calibrando-se as câmaras no intervalo de energias do radiodiagnóstico convencional. As curvas tandem também foram obtidas.

Tabela 1. Características das qualidades de radiação usadas segundo a norma IEC 61267 de 2005⁷.

Qualidade da Radiação	Tensão no Tubo (kV)	Camada Semi-Redutora (mmAl)	Filtração Adicional ^a (mmAl)	Taxa de Kerma no Ar (mGy/min)
RQR 3	50	1,78	2,4	22,20
RQR 5	70	2,58	2,8	38,76
RQR 8	100	3,97	3,2	68,47
RQR 10	150	6,57	4,2	119,46
RQA 3	50	3,8	12,4	3,01
RQA 5	70	6,8	23,8	2,88
RQA 8	100	10,1	37,2	4,89
RQA 10	150	13,3	49,2	11,05

^aFiltração necessária para obter as mesmas camadas semi-redutoras da norma IEC 61267.

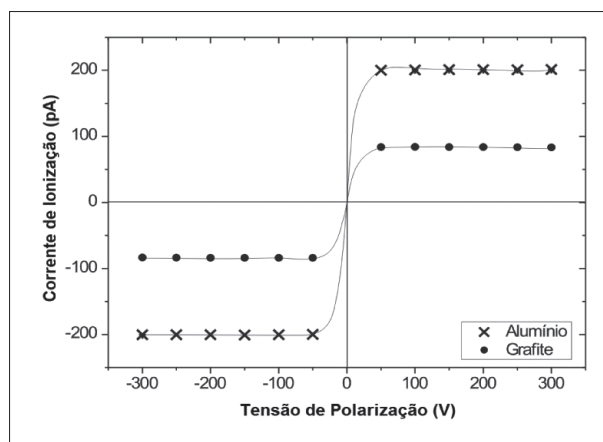


Figura 1. Curvas de saturação para as câmaras com eletrodos coletores de Alumínio e Grafite (RQR 5).

Saturação, eficiência de coleção de íons e efeito da polaridade

As câmaras de ionização foram irradiadas sequencialmente na qualidade RQR 5 (Tabela 1), tomando-se a janela de entrada como referência à distância de 100 cm. A tensão aplicada às câmaras foram de ±50 V a ±300 V em passos de ±50 V. As curvas de saturação estão apresentadas na Figura 1. As correntes de ionização foram determinadas como os valores médios de cinco medidas para cada valor de tensão. As incertezas nas correntes de ionização foram sempre menores que 0,05% para ambas as câmaras. A diferença entre os comportamentos das câmaras, observada na Figura 1, é devido à mudança do material do eletrodo coletor.

A eficiência de coleção de íons, K_s , foi determinada pelo método de duas tensões, utilizando a fonte de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ⁸:

$$K_s = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} \quad (1)$$

onde M_1 e M_2 são as medições do eletrômetro corrigidas para a influência da temperatura e pressão, nas tensões V_1 e V_2 e $V_1 = 2V_2$ ⁷. A tensão V_1 é o valor normalmente utilizado para essas câmaras.

A eficiência de coleção de íons foi maior que 99,0% para $V_1 = +300$ V, tanto para a câmara com eletrodo coletor de grafite quanto para a câmara com eletrodo coletor de alumínio. Isto quer dizer que as perdas por recombinação foram menores que 1,0%, como recomendado pela IEC⁷.

Na região de saturação, o efeito da polaridade foi menor que 1,0% para ambas as câmaras.

Tempo de Estabilização

Para avaliar o tempo de estabilização das câmaras, as correntes de ionização foram medidas para a tensão de ±300 V após 15, 60 e 120 min de aplicação da tensão. As câmaras foram irradiadas com a fonte de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ posicionada a 1,0 mm da janela de entrada das câmaras. Os resultados normalizados para as medições a 60 min⁶ estão apresentados nas Tabelas 2a e 2b. As correntes de ionização medidas 15 e 120 min depois da aplicação da tensão diferem menos que 0,5% do valor medido a 60 min, como recomendado pela IEC⁶.

Tabela 2a. Teste de tempo de estabilização para a câmara com eletrodo coletor de Alumínio.

Tempo após a aplicação da tensão (min)	Polaridade	
	Positiva	Negativa
15	0,995 ± 0,012	1,002 ± 0,012
60	1	1
120	1,000 ± 0,012	0,998 ± 0,012

Tabela 2b. Teste de tempo de estabilização para a câmara com eletrodo coletor de Grafite.

Tempo após a aplicação da tensão (min)	Polaridade	
	Positiva	Negativa
15	1,003 ± 0,012	1,003 ± 0,012
60	1	1
120	1,000 ± 0,012	1,005 ± 0,012

Estabilidade da resposta a curto prazo

No teste de estabilidade da resposta a curto prazo, as câmaras de ionização foram irradiadas com a fonte de controle de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. Para garantir a reprodutibilidade da geometria, um suporte de acrílico foi desenvolvido para posicionar a fonte numa distância de 1,0 mm da janela de entrada. Dez medições foram realizadas e, para ambas as câmaras, a variação da resposta foi menor que 0,20%. De acordo com a IEC 61674⁶, a variação da resposta para este teste não pode exceder 3,0%.

Linearidade da resposta

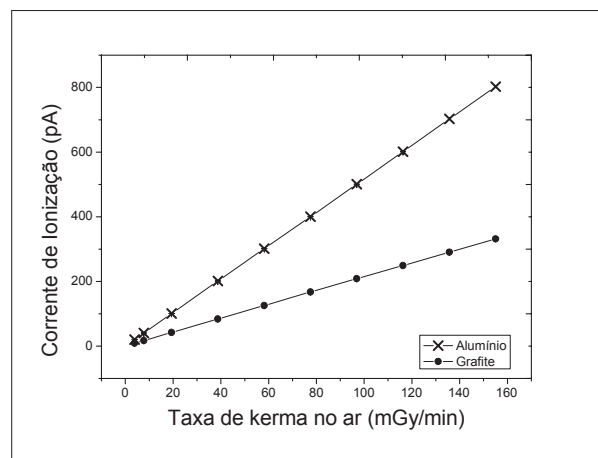
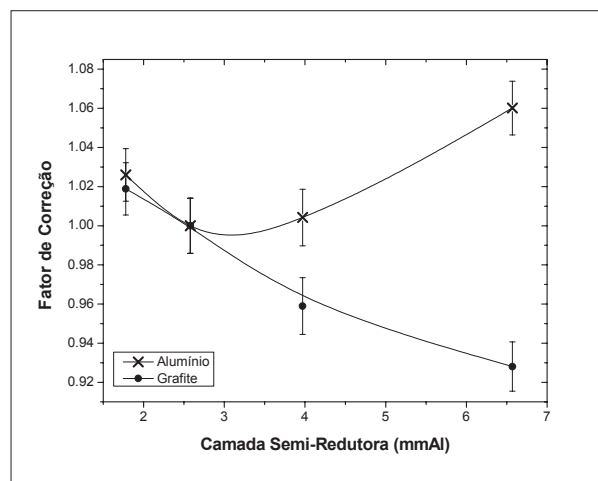
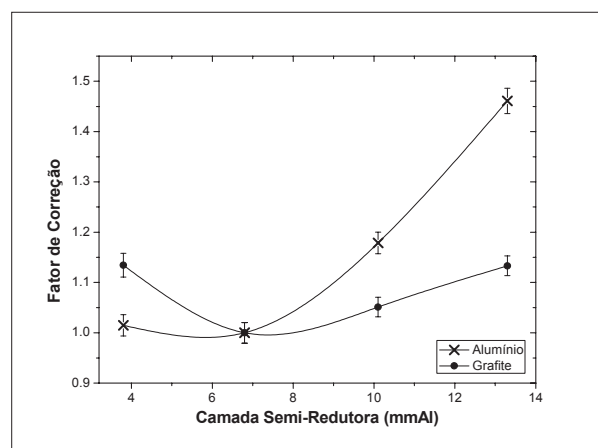
A relação linear entre a corrente de ionização e a taxa de kerma no ar foi determinada pela irradiação das câmaras com a qualidade RQR 5 (Tabela 1). As câmaras foram posicionadas à distância de 100 cm com relação ao ponto focal do equipamento de raios-X.

As câmaras foram polarizadas com a tensão de +300 V e a corrente no tubo variou de 1,0 mA a 40,0 mA, para obtenção de diferentes taxas de kerma no ar. Para cada ponto foram feitas cinco medições e os valores apresentados na Figura 2 são os valores médios com as respectivas incertezas. Tanto para a câmara com eletrodo coletor de alumínio quanto para a câmara com eletrodo coletor de grafite as incertezas foram menores que 1,0%. A Figura 2 apresenta o resultado da verificação da linearidade da resposta das câmaras. Ambas as câmaras apresentaram respostas lineares e os coeficientes de correlação foram maiores que 0,99999.

Dependência Energética

A variação da resposta das câmaras com a mudança da energia efetiva do feixe ao qual são submetidas foi estudada usando as qualidades de radiação X listadas na Tabela 1. Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as respostas das duas câmaras, em termos dos fatores de correção, normalizados para as qualidades RQR 5 e RQA 5, respectivamente, segundo recomendações internacionais⁶.

Observa-se que a máxima variação na resposta para as qualidades RQR foi de 8,2% para a câmara com eletrodo coletor de grafite e de 4,0% para a câmara com eletrodo coletor de alumínio. Assim, esta última pode ser utilizada para a determinação/confirmação das camadas semi-redutoras para as qualidades de diagnóstico RQR,

**Figura 2.** Linearidade da resposta das câmaras de ionização com eletrodos coletores de Alumínio e Grafite.**Figura 3.** Dependência energética das câmaras de ionização para as qualidades de radiação RQR. Os fatores de correção foram normalizados para a qualidade RQR5.**Figura 4.** Dependência energética das câmaras de ionização para as qualidades de radiação RQA. Os fatores de correção foram normalizados para a qualidade RQA5.

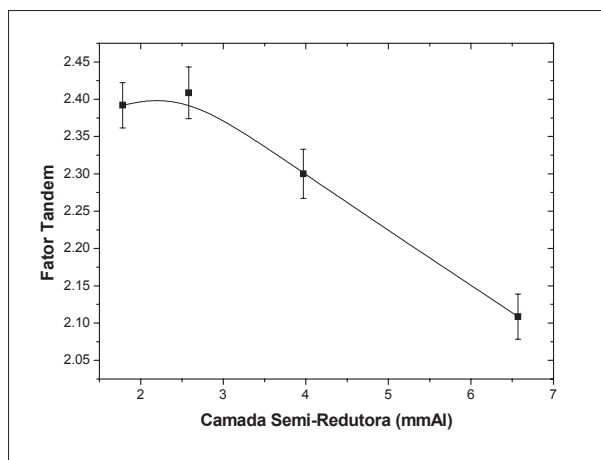


Figura 5. Curva Tandem das câmaras de ionização para as qualidades de radiação RQR.

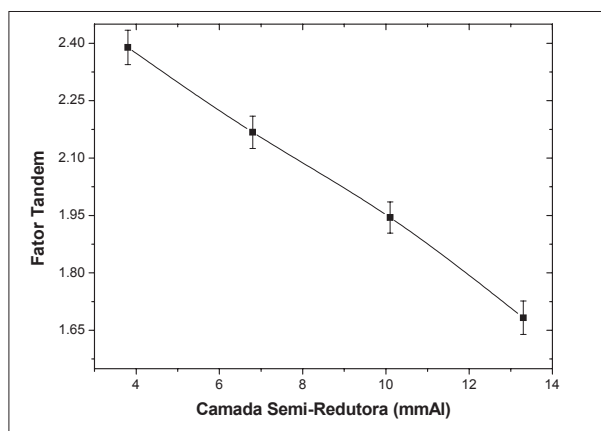


Figura 6. Curva Tandem das câmaras de ionização para as qualidades de radiação RQA.

já que sua variação nesta faixa de energia foi menor que 5,0%, valor recomendado internacionalmente⁵. Costa e Caldas já verificaram este comportamento anteriormente para uma câmara de ionização tandem de dupla face².

Para as qualidades de radiação RQA ocorre o oposto. A variação máxima da resposta foi de 1,4% para a câmara com eletrodo coletor de grafite e de 30,5% para a câmara com eletrodo coletor de alumínio. Para as determinações/ confirmações das camadas semi-redutoras nas qualidades RQA, a câmara de grafite pode ser usada.

As curvas tandem foram obtidas a partir da razão entre as respostas das câmaras em função da camada semi-redutora. Estas curvas estão apresentadas na Figura 5 para as qualidades de radiação RQR e na Figura 6 para as qualidades de radiação RQA. As camadas semi-redutoras podem ser determinadas/confir- madas com seus valores medidos com filtros atenuadores

com uma incerteza de aproximadamente $\pm 3,5\%$ para os feixes das qualidades RQR e de $\pm 4,5\%$ para os feixes das qualidades RQA.

Conclusões

Duas câmaras de ionização de mesmas características geométricas, mas com materiais diferentes do eletrodo coletor (alumínio e grafite) desenvolvidas no IPEN, foram testadas em feixes padronizados de radiodiagnóstico. Elas mostraram um nível satisfatório de desempenho em relação às características operacionais que foram estudadas neste trabalho.

Foi verificada a viabilidade da utilização destas câmaras de ionização como um sistema Tandem para confirmação periódica das qualidades de radiação RQR e RQA dos feixes de raios-X, nível diagnóstico, dentro de um sistema de controle de qualidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos órgãos: FAPESP, CNPq, CAPES e MCT (INCT para Metrologia das Radiações em Medicina), pelo suporte financeiro parcial.

Referências

1. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria 453. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Ministério da Saúde;1998.
2. Costa AM, Caldas LVE. A special ionization chamber for quality control of diagnostic and mammography X ray equipment. *Rad Prot Dos.* 2003;104(1):41-5.
3. Caldas LVE. A sequential tandem system of ionization chambers for effective determination of X radiation fields. *Rad Prot Dos.* 1991;36(1): 47-50.
4. Sartoris CE, Caldas LVE. Aplicação de metodologia dosimétrica de feixes terapêuticos de raios X com sistema tandem. *Radiol Bras.* 2001;34(6): 337-342.
5. International Electrotechnical Commission. Medical Electrical Equipment. Dosimeters with ionization chambers and/or semi-conductor detectors as used in X-ray diagnostic imaging. IEC 61674. 1997.
6. International Electrotechnical Commission. Medical Electrical Equipment - Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy. IEC 60731. 1997.
7. International Electrotechnical Commission. Medical diagnostic X-ray equipment. Radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC 61267. 2005.
8. International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. IAEA TRS-398. 2000.