

DESEMPENHO DE UMA CÂMARA DE IONIZAÇÃO ESPECIAL PARA CONTROLE DA QUALIDADE EM RADIOTERAPIA

Alessandro M. da Costa e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo – SP, Brasil

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvida uma câmara de ionização de placas paralelas especial, de dupla face, em sistema Tandem, com eletrodos internos de materiais diferentes, para utilização em programas de controle da qualidade de equipamentos de raios X, nível radioterapia. Esta câmara foi testada e calibrada de acordo com recomendações internacionais e apresentou bom desempenho, principalmente no que se refere a sua aplicação: formação de um sistema Tandem para confirmação dos valores de camadas semi-redutoras ou de energias efetivas em feixes de radiação X, previamente determinados pelo método convencional. No sistema desenvolvido a utilização de absorvedores ou de qualquer outro tipo de arranjo especial não é necessária. Uma grande vantagem deste tipo de câmara é proporcionar maior rapidez na obtenção dos resultados, possibilitando o aumento da frequência dos testes de controle da qualidade dos feixes. Além disso, a câmara Tandem apresenta custo baixo e pode ser utilizada com qualquer tipo de eletrômetro.

Keywords: ionization chambers, X radiation, quality control, radiotherapy, tandem system.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de um programa de garantia da qualidade em radioterapia está vinculada à exatidão da distribuição da dose.

No controle da qualidade em radioterapia, há recomendações específicas para cada tipo de unidade de tratamento (aceleradores lineares, unidades de ^{60}Co , equipamentos de raios X de energias baixas e intermediárias, simuladores, equipamentos de braquiterapia, etc). Os testes para equipamentos com raios X de energias baixas e intermediárias incluem a verificação da constância da qualidade dos feixes (camadas semi-redutoras ou energias efetivas).

O método convencional utilizado para determinação das camadas semi-redutoras, por meio da adição de absorvedores de espessuras e materiais conhecidos, necessita de um intervalo de tempo considerável para obtenção das medições; conseqüentemente a dosimetria dos feixes torna-se um processo demorado e nem sempre realizado em clínicas com a frequência recomendada.

O método Tandem tem sido utilizado há muito tempo com dosímetros termoluminescentes [1-4]. Consiste de dois dosímetros individuais com dependências energéticas diferentes e permitem a determinação da energia efetiva em campos de radiação não conhecidos.

Foram formados no Laboratório de Calibração de Instrumentos, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo, sistemas Tandem compostos por tipos diferentes de câmaras de ionização [5-8]. Consistem de duas câmaras individuais com dependências energéticas diferentes, que permitem a confirmação dos valores de camadas semi-redutoras ou de energias efetivas em feixes de radiação X, previamente determinados pelo método convencional. Estes sistemas têm apresentado desempenho adequado nos programas de controle da qualidade em equipamentos de radioterapia com raios X de energias baixas e intermediárias na verificação da constância da qualidade dos feixes, dispensando a utilização de absorvedores ou de qualquer outro tipo de arranjo especial, como no caso da técnica convencional.

Foi ainda desenvolvida neste laboratório uma câmara de ionização de placas paralelas especial, de dupla face, com eletrodos internos de materiais diferentes, em sistema Tandem.

Neste trabalho são apresentados os resultados de alguns testes preliminares e da calibração desta câmara em feixes de raios X de energias baixas e intermediárias realizados de acordo com as recomendações internacionais [9,10].

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A câmara de ionização de placas paralelas de dupla face, câmara Tandem, desenvolvida neste trabalho tem um volume sensível de $0,6 \text{ cm}^3$, e apresenta a diferença entre as duas partes quanto ao material do eletrodo interno e do anel de guarda, sendo que em uma delas é alumínio (Face A) e na outra é grafite (Face C). Ela foi acoplada a um eletrômetro Keithley, EUA, modelo 35614.

As irradiações foram realizadas em feixes padronizados de uma fonte de ^{60}Co (atividade nominal de 22,61 TBq, abril de 1999), e de dois equipamentos de raios X: um sistema Rigaku Denki, Japão, modelo Geigerflex, com tubo Philips, Holanda, modelo PW 2184/00, janela com 1 mm de berílio e alvo de tungstênio, que opera até 60 kV, e um sistema Pantak, EUA, modelo HF320, cujo tubo tem uma janela com 3 mm de berílio, alvo de tungstênio, e opera até 320 kV. As características dos sistemas de raios X são dadas nas Tab. 1 e 2.

TABELA 1. Características do Sistema de Raios X de Energias Baixas Rigaku-Denki. Distância Foco-Câmara: 50 cm. Diâmetro do Campo: 4,36 cm.

Tensão no tubo (kV)	Filtração adicional (mmAl)	Camada semi-redutora (mmAl)	Energia efetiva (keV)
25	0,44	0,25	14,3
30	0,54	0,36	15,5
40	0,68	0,53	17,7
45	0,73	0,59	18,7
50	1,02	0,89	21,2

TABELA 2. Características do Sistema de Raios X de Energias Intermediárias Pantak. Distância Foco-Câmara: 100 cm. Diâmetro do Campo: 10 cm.

Tensão no tubo (kV)	Filtração adicional		Camada semi-redutora		Energia efetiva (keV)
	(mmAl)	(mmCu)	(mmAl)	(mmCu)	
100	1,206	-	3,759	-	33
135	-	0,288	-	0,466	55
180	-	0,482	-	0,950	76
250	-	1,569	-	2,388	115

Para os feixes de radiação X de energias baixas, o sistema tipo padrão secundário com o qual a câmara foi calibrada é composto de uma câmara de ionização de placas paralelas modelo 2536/3B (volume sensível de $0,3 \text{ cm}^3$) acoplada a um eletrômetro modelo 2560, ambos da marca Nuclear Enterprises Ltd., Inglaterra, e com certificado de calibração do National Physical Laboratory, Inglaterra.

Para os feixes de radiação X de energias intermediárias e ^{60}Co , o sistema de referência utilizado é composto de uma câmara de ionização cilíndrica

modelo 2505/3 (volume sensível de $0,6 \text{ cm}^3$), da Nuclear Enterprises Ltd., Inglaterra, acoplada a um eletrômetro Physikalisch-Technische Werkstätten, modelo UNIDOS, Alemanha, e com certificado de calibração do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro.

Também foi utilizada uma fonte de controle de ^{90}Sr (atividade nominal de 33,3 MBq, 1988) da Physikalisch-Technische Werkstätten, Alemanha, tipo 8921, juntamente com um suporte especialmente desenvolvido com a finalidade de assegurar uma geometria reprodutível no posicionamento da fonte em relação à câmara, para realização do teste de estabilidade a curto.

As medições de temperatura, pressão e umidade relativa do ar nas salas de calibração foram obtidas utilizando-se, respectivamente: um termômetro de mercúrio, com intervalo de medida entre -10 e $+40$ °C e resolução de $0,1$ °C; um barômetro Veränderlich, modelo Domatic, Alemanha, com intervalo de medida entre 96 e 104 kPa e resolução de $0,1$ kPa; e um higrômetro Präzisions-Faden, Alemanha, com intervalo de medida entre 0 e 100% e com resolução de 1% de umidade relativa do ar.

Como as câmaras utilizadas neste trabalho não são seladas, todas as medições foram corrigidas levando-se em conta as condições normais de temperatura e pressão, isto é, 20 °C e $101,3$ kPa.

Todas as incertezas relatadas nos resultados das medições são incertezas expandidas obtidas utilizando-se um fator de abrangência 2, que corresponde a um nível de confiança de aproximadamente 95% [11].

III. RESULTADOS

A câmara Tandem foi estudada com relação as suas características de saturação e efeitos de polaridade variando-se a tensão de polarização entre -300 V e $+300$ V. A saturação foi atingida acima de 100 V. Isto significa dizer que a utilização de tal câmara pode ser feita conectando-a aos tipos mais usuais de eletrômetros, nos quais a tensão de operação geralmente é maior que 100 V. No eletrômetro utilizado neste trabalho a tensão de operação máxima é 300 V.

O efeito de polaridade para as diferentes qualidades de raios X, com os valores máximos permitidos de tensão de polarização negativa e positiva, foi menor que 1% e portanto dentro do intervalo recomendado [10].

Corrente de Fuga sem Irradiação. A corrente de fuga sem irradiação, mas com a tensão de polarização máxima aplicada à câmara, não deve exceder $\pm 0,5\%$ da corrente de ionização produzida pela taxa de kerma no ar mínima a que a câmara deva ser exposta [10].

Foi aplicada a tensão de polarização máxima à câmara Tandem, primeiramente à Face A e depois à Face C, e medida a corrente de fuga (sem irradiação) após 15 min, 1 h e 6 h, como mostrado na Tab. 3.

TABELA 3. Corrente de Fuga (fA), sem Irradiação, Medida após Aplicação da Tensão de Polarização de +300 V e os Intervalos de Tempo Especificados.

Tempo	Face A	Face C
15 min	53,7	51,9
1h	56,4	44,5
6 h	60,6	44,0

Determinou-se a relação linear entre a corrente de ionização e a taxa de kerma no ar irradiando-se a câmara Tandem sob as condições de referência descritas nas Tab. 1 e 2.

A corrente de fuga, expressa como uma porcentagem da corrente de ionização produzida pela taxa de kerma no ar mínima à qual a câmara Tandem foi exposta, foi menor que 0,2% em todos os casos.

Corrente de Fuga após Irradiação. Dentro de 5 s após o término de uma irradiação de 10 min, a corrente de fuga transiente deve decrescer a $\pm 1,0\%$ da corrente de ionização produzida na câmara durante a irradiação [10].

A corrente de fuga é definida como qualquer sinal coletado que não seja produzido pela ionização decorrente da irradiação do volume sensível da câmara. Pode originar-se no eletrômetro, no cabo, nos conectores ou na própria câmara, continuando após o término da irradiação e geralmente decrescendo exponencialmente com o tempo. A câmara Tandem, com uma capa de equilíbrio eletrônico (3,8 mm), foi posicionada em um campo de radiação gama de ^{60}Co , de dimensões $10 \times 10 \text{ cm}^2$ e à taxa de kerma no ar de $152,1 \text{ mGy/min}$. A corrente de fuga transiente após o término de uma irradiação de 10 min foi medida por um registrador gráfico acoplado ao eletrômetro. Os resultados são mostrados na Fig. 1. A corrente de fuga transiente decresceu abaixo do valor especificado dentro de aproximadamente 4 s após o término de uma irradiação de 10 min. A câmara Tandem cumpre portanto as exigências para o teste de corrente de fuga após irradiação.

Estabilidade a Curto Prazo. O teste de estabilidade a curto prazo, ou teste de repetitividade, representa o estudo do grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição. A repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características de dispersão dos resultados, como por exemplo o desvio padrão porcentual. Dez medições sucessivas foram feitas para ambas as faces da câmara Tandem, utilizando-se uma fonte de ^{90}Sr . O desvio padrão porcentual, para as duas faces da câmara, mostrou-se inferior a 0,3%, que é o valor máximo aceitável, estabelecido por norma para os instrumentos de campo [10].

Para o estudo da estabilidade a longo prazo, ou teste de reprodutibilidade, medições estão sendo realizadas mensalmente, sob as mesmas condições geométricas, utilizando-se a fonte de ^{90}Sr . Pela norma IEC [10], os

desvios não devem ser maiores do que $\pm 0,5\%$ durante um ano (corrigidos para o decaimento radioativo da fonte).

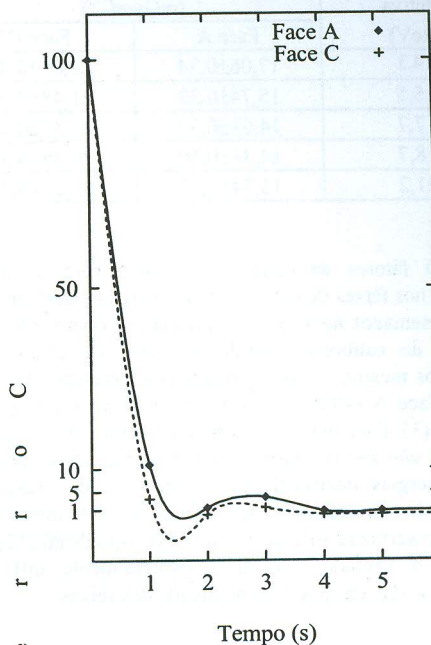


Figura 1. Corrente de Fuga Transiente após Irradiação, da Câmara Tandem, em Porcentagem da Corrente de Ionização Medida durante a Irradiação.

Dependência Energética. A dependência energética da câmara Tandem foi estudada calibrando-a com as qualidades de raios X dadas nas Tab. 1 e 2. Os fatores de calibração foram obtidos utilizando-se os sistemas de referência para cada faixa de energia.

O fatores de calibração obtidos para a câmara Tandem nos feixes de radiação X de energias baixas são apresentados na Tab. 4. Utilizando-se como referência o fator de calibração obtido no feixe de 30 kV pode-se observar que a Face C da câmara Tandem apresenta menor dependência energética que a Face A para raios X de energias baixas. Neste caso, a Face C da câmara Tandem pode ser utilizada para medida do kerma no ar (e sua taxa), uma vez que praticamente cumpre a exigência da norma IEC [10] (limite de variação de resposta de $\pm 2\%$). A variação de resposta medida excede um pouco (entre 2,2 e 4,3%) os limites especificados pelo IEC, mas este excesso de variação é próximo à incerteza estimada na medição (aproximadamente 3,0%).

TABELA 4. Dependência Energética da Câmara Tandem para Radiação X de Energias Baixas.

Energia Efetiva (keV)	Fator de calibração (mGy·nC ⁻¹)	
	Face A	Face C
14,3	17,06±0,34	22,85±0,48
15,5	15,74±0,32	21,48±0,44
17,7	14,63±0,30	20,57±0,42
18,7	14,38±0,30	20,45±0,44
21,2	13,74±0,32	20,25±0,48

O fatores de calibração obtidos para a câmara Tandem nos feixes de radiação X de energias intermediárias são apresentados na Tab. 5. Utilizando-se como referência o fator de calibração obtido no feixe de 250 kV, os resultados mostram uma dependência energética alta, tanto para a Face A (49,0%) da câmara Tandem quanto para a Face C (33,4%), mas as câmaras de ionização de placas paralelas não são recomendadas para detecção de radiação X de energias intermediárias. Nesta faixa de energia as câmaras de ionização recomendadas para a determinação da dose e do kerma (e suas taxas) são as do tipo dedal [12]. No entanto, a câmara Tandem é especialmente útil para verificação da constância da qualidade dos feixes.

TABELA 5. Dependência Energética da Câmara Tandem para Radiação X de Energias Intermediárias.

Energia Efetiva (keV)	Fator de calibração (mGy·nC ⁻¹)	
	Face A	Face C
33	14,44±0,26	21,96±0,40
55	17,30±0,32	25,74±0,46
76	21,13±0,38	28,91±0,54
115	28,33±0,52	32,97±0,60

A diferença de dependência energética entre as duas faces da câmara Tandem, para raios X de energias baixas e intermediárias, constitui a maior vantagem na formação de um sistema Tandem. Além disso, o fato de a câmara Tandem ser uma única câmara de dupla face diminui o risco de erro de posicionamento e proporciona maior rapidez e precisão na obtenção dos resultados, bastando girá-la entre uma condição e outra. Duas medições sucessivas para cada qualidade dos feixes (uma para cada face) deverão permitir a verificação da sua constância, com grandes vantagens em relação a um sistema de duas câmaras [5-8] e ainda mais em relação ao método convencional de determinação de camada semi-redutora.

IV. CONCLUSÕES

A câmara Tandem desenvolvida no IPEN para utilização em feixes terapêuticos (volume de 0,6 cm³), foi testada de acordo com as especificações da norma IEC [10], apresentando um nível satisfatório de desempenho. A diferença de dependência energética entre as duas faces desta câmara permite a formação de um sistema Tandem para verificação da constância da qualidade dos feixes de radiação X de energias baixas e intermediárias, previamente determinada pelo sistema convencional. Uma grande vantagem de uma única câmara de dupla face é proporcionar maior rapidez e precisão nas medições, possibilitando também o aumento da frequência dos testes de controle de qualidade dos feixes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] Kenney, G. N. and Cameron, J. R., **X-ray beam quality measurement utilizing TL dosimeters**, Progress Report, AEC Contract AT 11-1-1105, TID-19112, 1963.
- [2] Gorbics, S. G. and Attix, F. H., **LiF and CaF₂:Mn thermoluminescent dosimeters in Tandem**, International Journal of Applied Radiation Isotopes, v. 19, n. 1, p. 81-89, 1968.
- [3] Spurny, Z., Milu, C. and Racoveanu, N., **Comparison of X-ray beams using thermoluminescent dosimeters**, Physics in Medicine and Biology, v. 18, n. 2, p. 276-278, 1973.
- [4] da Rosa, L. A. R. and Nette, H. P., **Thermoluminescent dosimeters for exposure assessment in gamma or X radiation fields with unknown spectral distribution**, Applied Radiation and Isotopes, v. 39, n. 3, p. 191-197, 1988.
- [5] Albuquerque, M. P. P. and Caldas, L. V. E., **New ionization chambers for beta and X-radiation**, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, v. A280, p. 310-313, 1989.
- [6] Caldas, L. V. E., **A sequential Tandem system of ionisation chambers for effective energy determination of radiation fields**, Radiation Protection Dosimetry, v. 36, n. 1, p. 47-50, 1991.

[7] Galhardo, E. P. e Caldas, L. V. E., **Metodologia para dosimetria em campos de radiação X – nível radioterapia - utilizando sistemas Tandem de câmaras de ionização comerciais**, Radiologia Brasileira, v. 33, p. 237-231, 2000.

[8] Sartoris, C. E e Caldas, L. V. E., **Aplicação de metodologia dosimétrica de feixes terapêuticos de raios X com sistema Tandem**, Radiologia Brasileira, v. 34, n. 6, p. 337-342, 2001.

[9] International Atomic Energy Agency, **Calibration of dosimeters used in radiotherapy**, IAEA, Vienna, 1994. (Technical Report Series No. 374).

[10] International Electrotechnical Commission, **Medical electrical equipment, Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy**. Jul. 1997. (IEC 60731).

[11] BIPM; IEC; IFCC; ISO; IUPAC; IUPAP; OIML. **Guia para expressão da incerteza da medição**. Segunda edição brasileira em língua portuguesa. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, SBM, 1998.

[12] 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, Vienna, 2000 (Technical Report Series No. 398).

ABSTRACT

A special double-faced plane parallel ionization chamber, with inner electrodes of different materials was developed. Its use will be in quality control programs of X-rays equipments, radiotherapy level. This chamber was tested and calibrated in accordance with international recommendations, and it showed a satisfactory level of performance, mainly with regard to its use: the formation of a Tandem system for confirmation of half-value layers and effective energies in X-radiation beams, previously determined by the conventional method. In this developed system absorbers or any special set-ups are not necessary. The main advantages of this type of chamber are simple and quick measurements, that enable higher frequency of quality control tests. Moreover, the Tandem chamber presents low cost, and can be used with any commercial available electrometer.