

## DESEMPENHO DE UM SISTEMA PADRÃO DE INTERCOMPARAÇÃO EM FEIXES DE RAIOS X DE ENERGIAS BAIXAS

Felícia D.G. Rocha e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes 2.242  
05508-000 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

### RESUMO

O Laboratório de Calibração de Instrumentos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares realiza, há mais de 20 anos, a calibração de instrumentos monitores de radiação, que são empregados em radioproteção, radiodiagnóstico e radioterapia. Em radioterapia, os instrumentos utilizados são as câmaras de ionização. Para a calibração destas câmaras, o laboratório utiliza um sistema de raios X de energias baixas (60 kV) e um sistema padrão composto por uma câmara de ionização de placas paralelas acoplada a um eletrômetro. O objetivo deste trabalho é verificar o desempenho e a estabilidade de uma câmara de ionização comercial, utilizada como padrão de intercomparação em feixes de raios-X a partir de 6,5 keV. Esta câmara mostrou desempenho satisfatório quando submetida aos testes de estabilidade a curto e longo prazos e dependência energética.

Keywords: ionization chamber, calibration, radiotherapy, calibration factor

### I. INTRODUÇÃO

As câmaras de ionização são detectores de radiação utilizados rotineiramente para a determinação da exposição ou da dose absorvida [1]. Embora existam diferentes tamanhos e modelos, o princípio de operação é similar para todas as câmaras, e está baseado na coleção das cargas criadas pela ionização do gás dentro do detector pela passagem da radiação, com a aplicação de um campo elétrico [2,3]. A principal diferença entre os principais modelos existentes é com relação ao seu volume sensível, ou seja, o volume de gás existente no interior da câmara, na qual a radiação irá interagir. Dependendo do modelo e das dimensões, as câmaras de ionização podem ser utilizadas em diferentes aplicações, como em radioterapia para estimar a dose de radiação absorvida pelos órgãos e tecidos de pacientes; em radioproteção para medidas de levantamento radiométrico; em radiodiagnóstico para a dosimetria do feixe e controle de qualidade e, também, para a monitoração de feixes de raios X [4].

Para que possam ser utilizadas, as câmaras de ionização devem ser calibradas em laboratórios credenciados, rastreados à rede nacional ou internacional de metrologia das radiações. A periodicidade da calibração destas câmaras é determinada por normas nacionais e internacionais [5,6].

Para a calibração de câmaras de ionização de placas paralelas (nível radioterapia), o Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN utiliza um sistema de raios X de energias baixas (60 kV) e um sistema padrão composto por uma câmara de ionização de placas paralelas.

O objetivo deste trabalho é o de testar uma câmara de ionização comercial, utilizada como padrão de intercomparação, em feixes de raios X a partir de 6,5 keV.

### II. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada neste trabalho uma câmara de ionização com eletrodo central, Victoreen, modelo 415A, com paredes finas de material equivalente ao ar, recomendada como padrão de intercomparação para feixes de raios X a partir de 6,5 keV. A janela de entrada da câmara é de Mylar com espessura de 0,05mm e o volume sensível da câmara é de 2cm<sup>3</sup>.

As medidas foram realizadas nas condições de calibração de dosímetros clínicos [7], com qualidades de radiação nível radioterapia, utilizando-se o sistema de radiação X de energias baixas do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, em feixes com diâmetro do campo de 7,0cm e à uma distância do alvo de 50cm.

O sistema de radiação X com energias efetivas de 14,3 a 21,2 keV é constituído por um gerador Rigaku-Denki Co. Ltda., Japão, tipo Geigerflex (potencial constante), acoplado a um tubo Philips, Holanda, modelo PW 2184/00, com janela de 1mm de Berílio e anodo de Tungstênio. A corrente e a tensão podem variar entre 2 e 80mA e entre 20 e 60 kV, respectivamente. Na Tabela 1 encontram-se as características das qualidades de radiação, nível radioterapia.

TABELA 1. Características das qualidades de radiação, nível radioterapia, do sistema de radiação X de energias baixas.

Tensão (kV)	Corrente (mA)	Filtração Adicional (mmAl)	Camada Semi-Redutora (mmAl)	Energia Efetiva (keV)
25	30	0,445	0,26	14,3
30	30	0,545	0,37	15,5
40	30	0,682	0,56	17,7
45	25	0,733	0,65	18,7
50	25	1,021	0,91	21,2

Para a calibração da câmara de ionização 415A, utilizou-se o sistema padrão secundário do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, nível radioterapia, que é constituído por uma câmara de ionização de placas paralelas (tipo superficial), modelo 2536/3B (0,3cm<sup>3</sup>, série 171358), Nuclear Enterprises (NE), acoplada ao eletrômetro, também, NE, modelo 2560, série 139, com rastreabilidade ao *National Physical Laboratory (NPL)*, Inglaterra (Certificado de Calibração NPL nº D833). Utilizou-se, também, uma câmara de ionização de placas paralelas (tipo superficial), modelo 2532/3 (0,03 cm<sup>3</sup>, série 171054), NE. Este conjunto constitui o sistema padrão terciário do mesmo laboratório.

Foi ainda utilizada uma fonte de controle de <sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y, marca PTW, Alemanha, modelo 8921, série 906, com atividade inicial de 33 MBq (1988), nos testes de estabilidade de curto e longo prazos e de fuga da câmara de ionização 415A.

O controle das condições ambientais foi feito com o auxílio de climatizadores e desumidificadores de ambiente, termômetro e barômetro.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho e a estabilidade da câmara de ionização utilizada neste trabalho foram verificados por meio dos seguintes testes: teste de repetibilidade, teste de estabilidade a longo prazo e teste de fuga de corrente.

#### Teste de Repetibilidade

Para o teste de repetibilidade são realizadas dez medidas consecutivas, mantendo-se a câmara de ionização e a fonte de controle em condições fixas e reprodutíveis. O teste de repetibilidade da câmara de ionização 415A apresentou um desvio padrão percentual de 0,2%, portanto inferior aos 0,3% estabelecidos por normas internacionais [5,7,8,9].

#### Teste de Estabilidade a Longo Prazo

A repetição do teste de repetibilidade ao longo do tempo, sob as mesmas condições, constitui o teste de estabilidade a longo prazo, ou teste de reprodutibilidade. Esta estabilidade pode ser verificada por meio de um

gráfico, onde se registra a variação das medidas obtidas, em comparação com os valores médios obtidos do teste de repetibilidade, levando-se em conta o decaimento da fonte. Os resultados do teste de estabilidade a longo prazo da câmara 415A podem ser vistos na Fig. 1. Observa-se que a reprodutibilidade das medidas encontra-se dentro de 1,3% em relação ao valor de referência.

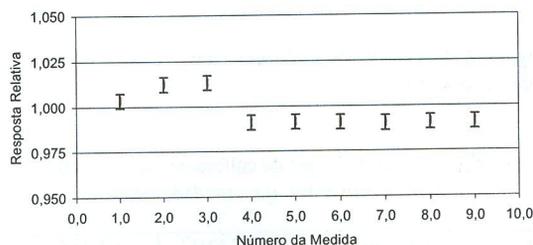


Figura 1. Teste de reprodutibilidade de resposta da câmara de ionização 415A.

#### Teste de Fuga de Corrente

A fuga de corrente em uma câmara de ionização é definida como sendo um sinal na câmara que não é proveniente de uma ionização no volume sensível da câmara. O teste consiste em se irradiar a câmara com a fonte de controle para se obter uma certa indicação no eletrômetro, deixando, em seguida, a câmara livre de irradiação, por um período de pelo menos cinco vezes o tempo de cada leitura do teste de repetibilidade. O valor obtido de corrente de fuga para a câmara de ionização utilizada neste trabalho foi de 0,01%, portanto abaixo dos valores máximos admissíveis nas normas [5], podendo ser considerada desprezível.

#### Dependência Energética

A curva de dependência energética foi obtida com a câmara de ionização 415A posicionada a 50cm do ponto focal do tubo de raios X, na condição usada para a calibração de instrumentos, nível radioterapia [7]. Os coeficientes de calibração [10] foram determinados utilizando-se a câmara de ionização do sistema padrão secundário (NE 2536/3B). Na Fig.2 é mostrada a dependência energética da câmara estudada.

Observa-se uma dependência energética menor que 2,0% para a câmara de ionização no intervalo de energia estudado, o que é perfeitamente aceitável de acordo com as recomendações internacionais [5, 9].

Realizou-se, também, uma intercomparação de instrumentos de referência do laboratório para o intervalo de energias baixas em termos dos fatores de calibração. Na Tabela 2 são mostrados os coeficientes de calibração obtidos com a câmara de ionização 415A (CI 415A), os sistemas padrões secundário (CI 2536/3B) e terciário (CI 2532/3). Os resultados são apresentados na unidade antiga de exposição, porque os eletrômetros têm mostrador nesta unidade.

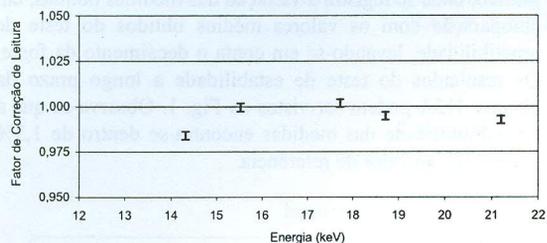


Figura 2. Curva de dependência energética da câmara de ionização 415A.

TABELA 2. Coeficientes de calibração das câmaras de ionização utilizadas. u.e.: unidade de escala

Energia (keV)	CI2536/3B <sup>a</sup> (R/u.e.)	CI 2532/3 <sup>b</sup> (R/pC)	CI 415A <sup>c</sup> (R/nC)
14,3	0,926	0,133	1,427
15,5	0,919	0,135	1,449
17,7	0,911	0,134	1,452
18,7	0,908	0,131	1,442
21,2	0,902	0,131	1,439

- a. Sistema padrão secundário  
 b. Sistema padrão terciário  
 c. Sistema de intercomparação

Observa-se que os sistemas padrões secundário e terciário apresentam dependência energética de 2,6 e 3,1% respectivamente, valores estes maiores que o da câmara de intercomparação (1,8%). As medidas de dependência energética apresentaram um desvio percentual de 0,1% para a câmaras do sistema padrão secundário e de intercomparação, e de 0,2% para a câmara do sistema padrão terciário.

#### IV. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a câmara de ionização comercial mostraram-se satisfatórios com relação aos testes de estabilidade a curto e a longo prazos, fuga de corrente e dependência energética, estando em concordância com as recomendações nacionais e internacionais.

#### AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio financeiro parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### REFERÊNCIAS

- [1] Kofler Jr., J.M.; Gray, J.E.; Daly, T.R. **Spatial and temporal response characteristics of ionization chambers used in diagnostic radiology for exposure measurements and quality control.** Health Physics, v. 67, n.6, p. 661-667, 1994.
- [2] Tsoufanidis, N. **Measurement and detection of radiation.** 2<sup>nd</sup> ed., Taylor and Francis, Washington, 1995.
- [3] Bochud, F.O.; Grecescu, M.; Valley, J.F. **Calibration of ionization chambers in air kerma length.** Physics in Medicine and Biology, v.46, n.9, p.2477-2487, 2001.
- [4] Arndt, U.W.; Kyte, M.P. **Ionization chambers for monitoring the position and tilt of X-ray beams.** Journal of Applied Crystallography, v.33, n.2, p. 986-987, 2000.
- [5] International Eletrotechnical Commission. **Medical electrical equipment, dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy,** IEC60731, Jul.1997.
- [6] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia.** CNEN-NE-3.06, 1990.
- [7] International Atomic Energy Agency. **Calibration of dosimeters used in radiotherapy,** Technical Reports Series N°. 374, IAEA, Vienna, 1994.
- [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,** Technical Reports Series N°. 398, IAEA, Vienna, 2001.
- [9] International Organization for Standardization. **X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and doserate meters and determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods,** ISO 4037-1:1996 (E), Dec. 1996.
- [10] Meghizifene,A.; Shortt, K.R. **Calibration factor or calibration coefficient?** SSDL Newsletter, n.46, p.33, 2002.

#### ABSTRACT

The Calibration Laboratory of Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares has been offering for more than twenty years the service of calibration of radiation monitoring instruments, for use in radiation protection, diagnostic radiology and radiotherapy. In radiotherapy, the instruments used are the ionization chambers. The

calibration of these instruments is obtained using an X-ray system of low energies (60 keV) and a reference instrument formed by a plane parallel ionization chamber and an electrometer. The aim of this work is to verify the performance and the stability of a commercial ionization chamber, used as a intercomparison standard for different photon energies in the low range. The chamber utilized in this work showed a satisfactory performance relative to short and long term stabilities and energy dependence.