

# CALIBRAÇÃO DE UMA CÂMARA TIPO LÁPIS EM FEIXES PADRÕES DE RAIOS-X

Ana F. Maia e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Av. Lineu Prestes 2.242  
05508-900, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Uma câmara de ionização tipo lápis, específica para dosimetria em feixes de radiação de tomografia computadorizada, da marca Victoreen, modelo 660-6, foi estudada e calibrada em feixes de raios X padronizados. Utilizou-se neste estudo um equipamento de raios-X diagnóstico, que opera até 125kV, e um equipamento de raios-X de energias baixas, que opera até 60kV. A câmara foi calibrada nos feixes padronizados, já implementados, utilizando-se os sistemas padrões do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN. Os resultados obtidos mostraram que a dependência energética da câmara é adequada para feixes com pouca atenuação. Entretanto, para feixes muito atenuados a dependência energética determinada foi maior do que 100%.

Keywords: computed tomography, pencil ionization chamber, calibration, standard beams

## I. INTRODUÇÃO

A importância da tomografia computadorizada na medicina é indiscutível. Com a tomografia computadorizada (CT) passou a ser possível estudar regiões do corpo dificilmente alcançadas pelos métodos convencionais de radiologia e muitos exames desconfortáveis, e até exames de alto risco, puderam ser substituídos por exames de CT.

Entretanto, muitos cuidados devem ser tomados, uma vez que se trata de radiação ionizante e as doses são, quase sempre, mais altas do que as doses nos procedimentos convencionais de radiologia [1].

A exposição do paciente à radiação, em tomografia computadorizada, é diferente daquela em radiologia convencional. O movimento rotatório do tubo de raios-X e o alto grau de colimação do seu feixe de radiação geram uma distribuição mais uniforme da dose absorvida por toda a região irradiada. Conseqüentemente, para dosimetria em CT são utilizadas grandezas específicas. Uma delas, a mais comum, é o Índice de Dose em Tomografia Computadorizada (CTDI) que é normalmente estimado com uma câmara de ionização própria para CT, denominada câmara de ionização tipo lápis.

Em poucos trabalhos publicados é possível encontrar informações sobre as câmaras de ionização tipo lápis. A maioria dos artigos que trazem este tipo de informação datam do final da década de 70 e do começo da década de 80, quando estas câmaras de ionização foram introduzidas no mundo científico e no mercado [2-7].

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de uma câmara de ionização tipo lápis em feixes padrões de raios-X do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A câmara de ionização tipo lápis utilizada neste trabalho é da marca Victoreen, modelo 660-6, série 140, e foi utilizada acoplada a um eletrômetro também Victoreen, modelo 660, série 854. A câmara não é selada e tem 3,2cm<sup>3</sup> de volume e 10cm de comprimento. A medida da câmara é dada em R.cm ou em R.cm/min e o intervalo de leitura, determinado pelo mostrador do eletrômetro, é de 0,01R.cm/min (0,001R.cm) até 999R.cm/min (99.9R.cm). Em decorrência da unidade de medida adotada, é importante garantir a irradiação de um comprimento determinado da câmara. No caso, a câmara foi irradiada por completo em todos os campos. A uniformidade desses campos foi determinada e os valores encontrados mostraram que ela é maior do que 95% em todo o comprimento da câmara [8].

Foram utilizados dois sistemas de raios-X. O primeiro é um sistema de raios-X diagnóstico da marca *Medicor Mővek Röntgengyara*, modelo *Neo-Diagnomax*, que opera de 40 a 125kV no modo radiográfico e de 45 a 100kV no modo fluoroscópico. Neste sistema estão implantadas qualidades de radiodiagnóstico [9], definidas pela IEC 61267 [10], e cujas características estão apresentadas na Tab. 1. O sistema padrão para essas qualidades é constituído por uma câmara de ionização de

placas paralelas, da PTW, tipo 77334, série 2052, com volume de 1cm<sup>3</sup>, e um eletrômetro, também PTW, modelo UNIDOS 10001, série 10474. Esta câmara possui certificado de calibração da PTW, Alemanha, com rastreabilidade ao laboratório primário PTB, Alemanha.

O segundo é um sistema de raios-X de energias baixas, formado por um gerador *Rigaku Denki Co. Ltd.*, tipo *Geigerflex*, e por um tubo *Phillips*, modelo PW 2184/00. Este equipamento opera de 20 a 60kV. Neste sistema estão implantadas qualidades de radiodiagnóstico [9], dadas pela norma DIN 6872 parte 1 [11], e qualidades de mamografia [8]. Os parâmetros relevantes de cada uma dessas características estão apresentadas nas Tab.2 e 3. Para as qualidades de radiodiagnóstico, o sistema padrão é constituído por uma câmara de placas paralelas, da marca NE, modelo 2536/3B, série R171358, com volume de 0,3cm<sup>3</sup>, e um eletrômetro NE, modelo 2560, série139. Esta câmara possui certificado de calibração do laboratório primário NPL, Inglaterra. Para as qualidades de mamografia, o sistema padrão é constituído por uma câmara de ionização específica para mamografia, da marca *Radcal Corporation*, modelo 10x5-6M, série 8220, com volume de 6cm<sup>3</sup>, e um eletrômetro *Radcal Corporation*, modelo 9015, série 91-0280. Esta câmara possui certificado de calibração do CDRH/FDA, EUA, com rastreabilidade ao laboratório primário NIST, EUA.

TABELA 1. Qualidades de Radiodiagnóstico Implantadas no Equipamento de Raios-X Diagnóstico.

Feixes Não Atenuados				
Qualidade	Tensão (kV)	Filtração Total (mmAl)	CSR <sup>a</sup> (mmAl)	Energia (keV)
RQR3	52	2,5	1,82	32,0
RQR5	70	2,5	2,45	39,2
RQR7	90	2,5	3,10	46,0
Feixes Atenuados				
RQA3	52	12,5	4,0	38,8
RQA4	63	18,5	5,7	45,6
RQA5	70	23,5	7,1	51,8
RQA6	80	29,5	8,4	57,9
RQA7	90	32,5	9,1	62,9

<sup>a</sup> CSR = Camada Semi-Redutora.

TABELA 2. Qualidades de Radiodiagnóstico Implantadas no Equipamento de Raios-X de Energias Baixas.

Qualidade	Tensão (kV)	Filtração Adicional (mmAl)	CSR <sup>a</sup> (mmAl)	Energia (keV)
DN1	31	2	0,64	19,0
DN2	40	4	2,4	28,2
DN3	50	10	4,0	38,9

<sup>a</sup> CSR = Camada Semi-Redutora.

TABELA 3. Qualidades de Mamografia Implantadas no Equipamento de Raios-X de Energias Baixas.

Qualidade	Tensão (kV)	Filtração Adicional	CSR <sup>a</sup> (mmAl)	Energia (keV)
Feixes de Entrada				
RXM20	20	0,06 mmMo	0,28	13,6
RXM23	22,5		0,32	14,8
RXM25	25		0,33	15,1
RXM28	27,5		0,34	15,3
RXM30	30		0,35	15,6
RXM32	32,5		0,37	16,0
RXM35	35		0,38	16,2
Feixes de Saída				
RXM20x	20	0,06 mmMo + 2mmAl	0,52	18,5
RXM23x	22,5		0,56	18,7
RXM25x	25		0,58	18,8
RXM28x	27,5		0,61	19,0
RXM30x	30		0,67	19,5
RXM32x	32,5		0,72	19,7
RXM35x	35		0,85	21,6

<sup>a</sup> CSR = Camada Semi-Redutora.

### III. RESULTADOS

Para cada uma das qualidades relatadas nas Tab. 1, 2 e 3 foram obtidos fatores de calibração para a câmara de CT, que estão mostrados na Tab. 4 juntamente com seus desvios padrões relativos. Na Tab. 4 pode-se também observar a dependência energética da câmara em cada caso.

As Fig. 1 a 5 mostram as curvas de dependência energética da câmara de CT nas qualidades em que foi calibrada. Observa-se, em todos os casos, um comportamento regular: o fator de calibração diminui com o aumento da energia, aproximando-se de 1 para energias maiores. As energias dos feixes utilizados na prática clínica da CT são maiores do que os relatados neste trabalho. É recomendado pela IEC 61674 [12] que as câmaras de ionização a serem utilizadas em feixes de tomografia computadorizada sejam calibradas nas qualidades RQR9 (120kV, 2,5mmAl de filtração total e 4,5mmAl de CSR), para feixes diretos, e RQA9 (120kV, 42,5mmAl de filtração total e 11,5mmAl de CSR), para feixes atenuados, definidas na IEC 61267 [10]. Essas qualidades, entretanto ainda não foram implantadas no Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN. Contudo, é possível estimar a ordem de grandeza a partir da observação das Fig.1 e 2, de onde se conclui que os fatores de calibração para as energias RQR9 e RQA9 serão menores do que os encontrados para as qualidades RQR7 e RQA7. No caso dos feixes diretos, isso representa um fator de calibração muito próximo de 1, o que é muito bom. Entretanto, para os feixes atenuados o fator de calibração deve ser ainda bem maior do que 1.

TABELA 4. Fatores de Calibração para Câmara de Ionização Tipo Lápis.

Qualidade	Fator de Calibração (adimensional)	Dependência Energética	
RQR3	$1,117 \pm 0,012$	8,24%	
RQR5	$1,058 \pm 0,010$		
RQR7	$1,032 \pm 0,013$		
RQA3	$4,45 \pm 0,15$	149%	
RQA4	$3,45 \pm 0,11$		
RQA5	$2,948 \pm 0,061$		
RQA6	$2,422 \pm 0,027$		
RQA7	$1,786 \pm 0,018$		
DN1	$1,0550 \pm 0,0044$		2,13%
DN2	$1,0380 \pm 0,0055$		
DN3	$1,033 \pm 0,013$		
RXM20	$1,0510 \pm 0,0036$	3,19%	
RXM23	$1,0354 \pm 0,0023$		
RXM25	$1,0294 \pm 0,0020$		
RXM28	$1,0248 \pm 0,0019$		
RXM30	$1,0215 \pm 0,0014$		
RXM32	$1,0207 \pm 0,0015$		
RXM35	$1,0185 \pm 0,0015$		
RXM20x	$2,642 \pm 0,16$	130%	
RXM23x	$2,500 \pm 0,030$		
RXM25x	$1,700 \pm 0,018$		
RXM28x	$1,429 \pm 0,011$		
RXM30x	$1,2878 \pm 0,0078$		
RXM32x	$1,2027 \pm 0,0066$		
RXM35x	$1,1501 \pm 0,0049$		

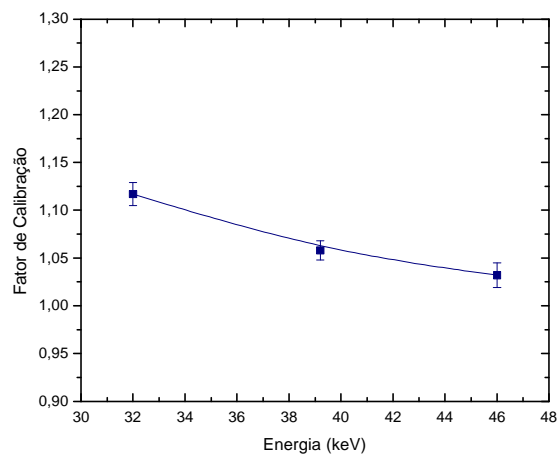


Figura 1. Dependência Energética da Câmara de CT nas Qualidades de Radiodiagnóstico, Feixes Diretos, Equipamento *Medcor Mövek Röntgengyara*.

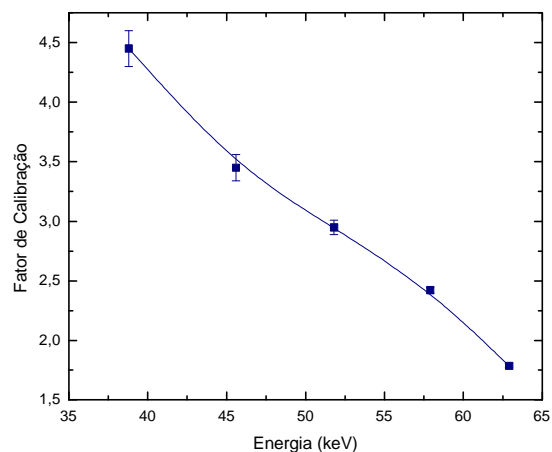


Figura 2. Dependência Energética da Câmara de CT nas Qualidades de Radiodiagnóstico, Feixes Atenuados, Equipamento *Medcor Mövek Röntgengyara*.

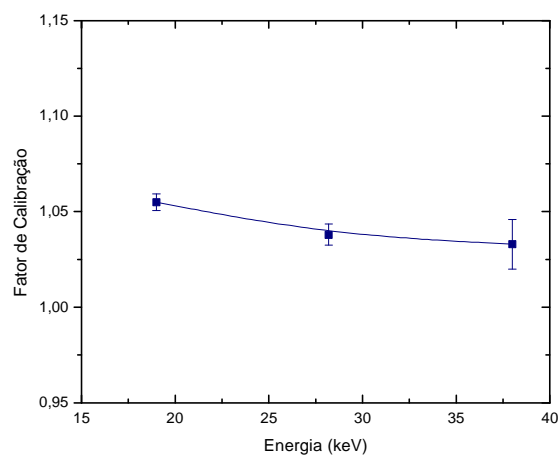


Figura 3. Dependência Energética da Câmara de CT nas Qualidades de Radiodiagnóstico, Equipamento *Rigaku Denki*.

#### IV. CONCLUSÃO

O comportamento da câmara de ionização tipo lápis é adequado para ser utilizada tanto em feixes próprios de CT, para os quais ela foi desenvolvida, como para diversas outras qualidades de radiodiagnóstico e de mamografia, sobretudo quando os feixes são pouco atenuados. Para feixes muito atenuados é necessário uma calibração precisa da câmara em uma qualidade próxima à do feixe prático.

O estudo do comportamento da câmara de CT em diversos qualidades de feixes permite que sua aplicação se torne mais ampla, possibilitando que instituições que só possuem este tipo de câmara possam realizar dosimetria em feixes de energias variadas.

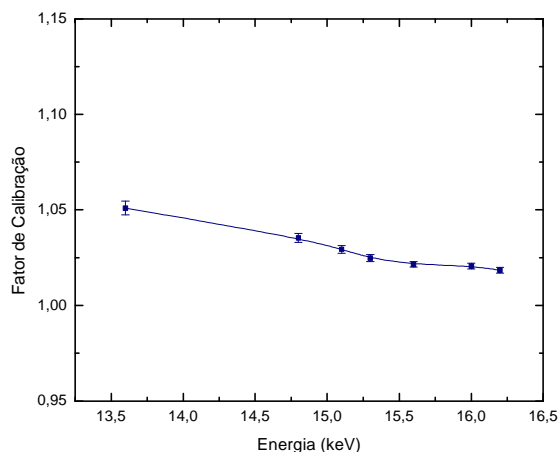


Figura 4. Dependência Energética da Câmara de CT nas Qualidades de Mamografia, Feixes de Entrada, Equipamento *Rigaku Denki*.

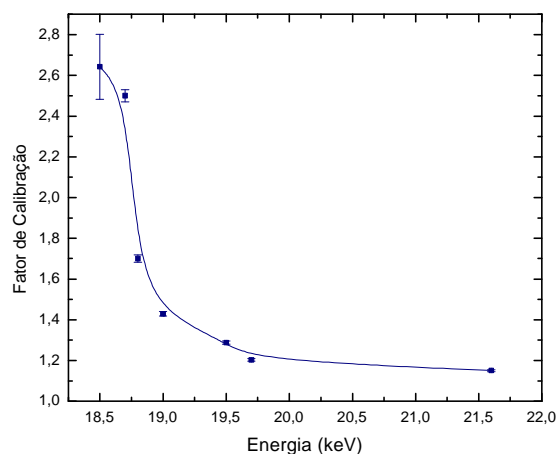


Figura 5. Dependência Energética da Câmara de CT nas Qualidades de Mamografia, Feixes de Saída, Equipamento *Rigaku Denki*.

Os resultados das curvas mostraram que a dependência energética da câmara de ionização tipo lápis é adequada para os feixes pouco atenuados, ficando entre 2,13 e 8,24%, Fig. 1, 3 e 4.

Entretanto, para feixes com grande atenuação (feixes de radiodiagnóstico atenuados e feixes de saída de mamografia) a dependência energética encontrada foi muito alta, maior do que 100%. Portanto, a câmara de ionização em questão só deverá ser utilizada em feixes atenuados se houver uma calibração precisa numa qualidade muito próxima das características do feixe prático.

#### AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro parcial.

#### REFERÊNCIAS

- [1] SHRIMPTON, P. C.; WALL, B. F The increasing importance of X-ray computed tomography as a source of medical exposure. **Radiat. Prot. Dosim.**, v.57, n.1-4, p.413-415, 1995.
- [2] JUCIUS, R. A.; KAMBIC, G. X. Radiation Dosimetry in Computed Tomography (CT). **SPIE**, v.127, p.286-295, 1977.
- [3] KAMBIC, G. X.; WAKE, R. H. Computed tomography with an X-ray transmission pencil beam scanner. **IEEE Trans. Nucl. Sci.**, v.24, n.2, p.874-880, 1977.
- [4] SUZUKI, A.; SUZUKI, M. N. Use of a pencil-shaped ionization chamber for measurement of exposure resulting from a computed tomography scan. **Med. Phys.**, v.5, n.6, p.536-539, 1978.
- [5] PAVLICEK, W. Evaluation of the MDH Industries, Inc. pencil chamber for direct beam CT measurements. **Health Phys.**, v.37, p.773-774, 1979.
- [6] POLETTI, J. L. An ionization chamber based CT dosimetry system. **Phys. Med. Biol.**, v.29, p.725-731, 1984.
- [7] BOCHUD, F. O.; GRECESCU, M.; VALLEY, J.F. Calibration of ionization chambers in air kerma length. **Phys. Med. Biol.**, v.46, p.2477-2487, 2001.
- [8] GUERRA, A. B. **Estabelecimento e controle de qualidade de feixes padrões de radiação X para**

**calibração de instrumentos, nível mamografia.** 2001. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

[9] POTIENS, M. P. A. **Metodologia dosimétrica e sistemas de referência para radiação X nível diagnóstico.** 1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

[10] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Medical diagnostic X-ray equipment - Radiation conditions for use in determination of characteristics.** 1994, Genève. (IEC 61267).

[11] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Strahlenqualitäten für Messungen in der radiologischen Technik.** Deutsche Norm, Nov. 1992, Berlin. (DIN 6872, teil 1).

[12] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Medical electrical equipment - Dosimeters with ionization chamber and/or semiconductor detectors as used in X-ray diagnostic imaging.** 1997, Genève. (IEC 61674).

#### **ABSTRACT**

A Victoreen pencil ionization chamber, model 660-6, specially designed to be used in beam dosimetry of computed tomography, was evaluated and calibrated in standard X-rays beams. An X-ray diagnostic equipment, which operates up to 125kV, and a low energy X-ray equipment, which operates up to 60kV, were utilized in this work. The chamber was calibrated in the standard beams already established at the Calibration Laboratory of IPEN. The energy dependence was adequate to not attenuated beams. However, for attenuated beams the energy dependence was higher than 100%.