

# Caracterização de uma câmara de extrapolação em feixes padrões de raios X, nível radiodiagnóstico

Eric A. B. da Silva e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear,  
IPEN/CNEN-SP,  
05508-000 - São Paulo – SP, BRASIL  
ebrito@usp.br

**Resumo.** A câmara de extrapolação é uma câmara de ionização utilizada para detectar radiação de energias baixas e pode ser utilizada como instrumento padrão para feixes de radiação beta. Este tipo de câmara de ionização tem como característica principal a variação do volume sensível. Neste trabalho foi realizado um estudo de caracterização de uma câmara de extrapolação comercial da marca PTW, no intervalo de energia das qualidades de radiodiagnóstico convencional.

## 1 Introdução

Em medições de grandezas relacionadas às radiações ionizantes o termo “Garantia da Qualidade” e o conceito relacionado a ele tem relevância significativa, já que medições desse tipo envolvem riscos à saúde. Dessa forma, quanto mais acuradas forem as medições, maiores serão o controle, a segurança e a confiabilidade nos resultados das grandezas.

A preocupação com as medições de grandezas dosimétricas cada vez mais exatas com conhecimento de suas incertezas, baseadas num programa de Garantia de Qualidade e rastreabilidade, é relacionada principalmente à proteção radiológica de trabalhadores, meio ambiente e público em geral. Além disso, há grande necessidade de se garantir os valores corretos das doses em procedimentos de radioterapia e radiodiagnóstico. Diminuir os efeitos nocivos das radiações ionizantes e das substâncias radioativas e ao mesmo tempo possibilitar à raça humana desfrutar de todos os benefícios que podem se originar do uso da energia nuclear são algumas das finalidades da proteção radiológica.

A câmara de extrapolação é utilizada para detecção de radiação pouco penetrante, principalmente radiação beta. Estas câmaras apresentam como principal vantagem a possibilidade de determinação de doses superficiais. Estas câmaras podem ser utilizadas como padrões primários [1,3] e na calibração de aplicadores dermatológicos e oftálmicos [4,5]

Neste trabalho a caracterização de uma câmara de extrapolação comercial da marca Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW) foi realizada em qualidades padronizadas de radiação X, nível radiodiagnóstico para demonstrar uma possibilidade de aplicação da câmara de extrapolação neste intervalo de energia.

## 2 Metodologia

A câmara de extrapolação utilizada foi da marca Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW), modelo M23391T-055, nomeada câmara PTW, com janela de entrada de Mylar de espessura de 0,025 mm e eletrodo coletor de alumínio, com 40 mm de diâmetro. A câmara foi posicionada a 100,0 cm do foco do sistema de raios-X. As correntes de ionização foram medidas em polaridades negativas e positivas, e os valores médios foram considerados. A corrente do tubo foi mantida fixa em 10 mA, exceto para o teste de linearidade em que a corrente do tubo foi variada de 10 até 35 mA. Um eletrômetro Keithley 6517a foi utilizado. Para a determinação das taxas de kerma no ar das qualidades RQR, Tabela 1, conforme a norma IEC 61267[6], foi utilizada uma câmara de ionização PTW, modelo 23344, calibrada no laboratório alemão primário Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

**Tabela 1:** Características dos feixes padronizados de radiação X de Radiodiagnóstico Convencional.

	Qualidade da radiação	Tensão ( kV )	Filtração adicional ( mmAl )	Camada semirredutora ( mmAl )	Taxa de kerma no ar (mGy/min)
Feixes diretos	RQR2	40	2,3	1,4	11,96 ± 0,08
	RQR3	50	2,4	1,8	21,60 ± 0,18
	RQR4	60	2,7	2,2	28,65 ± 0,32
	RQR5	70	2,8	2,6	37,88 ± 0,32
	RQR6	80	3,0	3,0	46,17 ± 0,35
	RQR7	90	3,1	3,5	54,17 ± 0,42
	RQR8	100	3,2	4,0	67,45 ± 0,54
	RQR9	120	3,5	5,0	89,30 ± 0,59
	RQR10	150	4,2	6,6	120,01 ± 1,02
	Feixes atenuados	RQA2	40	7,3	2,2
RQA3		50	12,4	3,8	3,46 ± 0,01
RQA4		60	18,7	5,4	3,11 ± 0,01
RQA5		70	23,8	6,8	3,45 ± 0,01
RQA6		80	29,0	8,2	4,04 ± 0,01
RQA7		90	33,1	9,2	4,99 ± 0,01
RQA8		100	37,2	10,1	5,93 ± 0,02
RQA9		120	43,5	11,6	8,06 ± 0,02
RQA10		150	49,2	13,3	13,48 ± 0,03

O primeiro teste de caracterização realizado foi a obtenção da curva de saturação. É importante conhecer a região de saturação para se definir a região de operação da câmara de ionização. Aplicando-se tensão com valores bem acima desta região pode-se ocasionar um aumento na ionização do ar, devido aos elétrons acelerados decorrentes dos valores altos de campo elétrico que podem provocar mais ionização, e aplicando-se valores de tensão bem abaixo da região de saturação, os íons negativos e positivos podem se recombinar antes de serem coletados. A curva de saturação é obtida medindo-se a corrente de ionização em função da tensão aplicada. Neste caso, a tensão aplicada foi variada entre -100 V e +100 V. A profundidade da câmara (distância inter-eletródica) foi mantida fixa em 0,75 mm e 1,25 mm, obtendo-se uma curva de saturação para cada profundidade.

Outro objetivo de se realizar este estudo é para se determinar a eficiência de coleção de íons. A partir da determinação da eficiência de coleção de íons pode-se obter os fatores de recombinação, que serão aplicados às leituras da câmara de extrapolação. O fator de recombinação corresponde ao inverso da eficiência de coleção de íons.

No teste de polaridade, a resposta da câmara de extrapolação foi comparada quando exposta à radiação com o mesmo valor de tensão aplicado, em módulo, mas com polaridade invertida.

Outro teste realizado foi o teste de estabilidade a curto prazo, que consiste em se medir a repetitividade da resposta das câmaras de extrapolação dentro de um conjunto de 10 medições, mantendo-se a profundidade fixa em 1,25 mm. As medições com radiação X, na qualidade RQR 5, foram obtidas a cada 15 segundos.

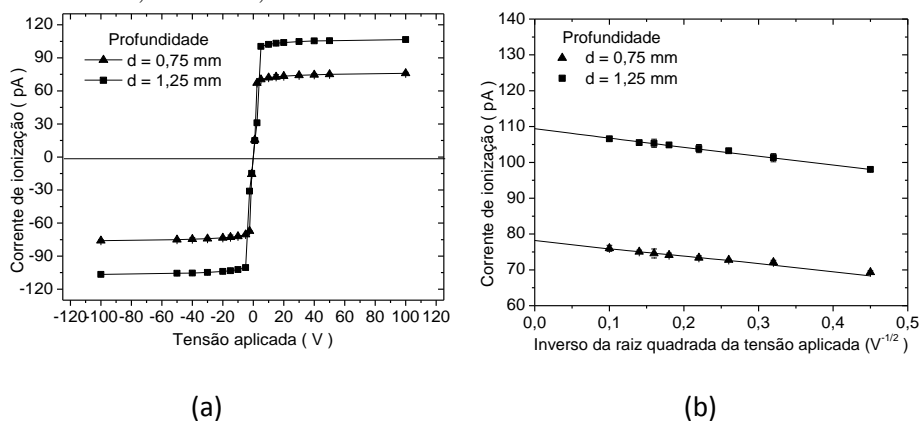
A câmara de extrapolação tem como vantagem principal a possibilidade de variação do seu volume sensível, mediante a variação da distância entre o eletrodo coletor e a janela de entrada. Medindo-se a corrente de ionização para cada profundidade e mantendo-se o campo elétrico fixo, obtém-se a curva de extrapolação. O coeficiente angular desta curva de extrapolação está relacionado com a taxa de kerma no ar da radiação incidente.

O teste de linearidade também foi executado, onde neste caso a resposta das câmaras de ionização foi analisada variando-se a corrente do tubo de raios X para as qualidades de radiodiagnóstico convencional, isto é, variando-se a taxa de kerma no ar. A corrente do tubo de raios X foi variada de 10 a 35 mA, mantendo-se fixa a profundidade da câmara em 1,25 mm. Para tensões do tubo acima de 100 kV não foi possível aplicar correntes maiores que 30 mA. Para todos os testes, exceto o teste de linearidade, a corrente do tubo utilizada foi de 10 mA.

### **3 Resultados e discussão**

Na câmara de extrapolação PTW foram estudadas as características principais, como curva de saturação, eficiência de coleta de íons, efeito da polaridade, repetitividade da resposta, linearidade da resposta, curva de extrapolação e dependência energética. A seguir, serão apresentados os resultados dos testes de caracterização das câmaras, a começar pelo teste de saturação da corrente de ionização que também fornece os dados para a determinação da eficiência de coleção de íons para a câmara de extrapolação.

Nas Figuras 1a e 1b são mostradas as curvas de saturação e as correntes de saturação para a qualidade de radiodiagnóstico convencional RQR 5, para duas profundidades da câmara: 0,75 mm e 1,25 mm.



**Figura 1:** (a) Curvas de saturação da câmara PTW em feixes diretos de radiodiagnóstico (RQR5). (b) Correntes de saturação obtidas das curvas de saturação para a câmara PTW.

Na Tabela 2 são apresentados os valores da eficiência de coleção de íons para as qualidades de radiodiagnóstico convencional. A determinação da eficiência de coleção de íons é realizada dividindo-se a corrente de ionização, obtida para cada valor da tensão aplicada, pela corrente de saturação,  $I_s$ .

**Tabela 2:** Eficiência de coleção de íons da câmara PTW nas qualidades de radiodiagnóstico convencional.

Qualidade	RQR 3		RQR 5		RQR 8		RQR 10	
	Distância entre os eletrodos (mm)							
	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	1,25	0,75	1,25
Tensão Aplicada (V)								
1,0	0,222	0,165	0,198	0,136	0,202	0,035	0,126	0,085
2,5	0,871	0,905	0,856	0,873	0,854	0,871	0,844	0,866
5,0	0,934	0,941	0,935	0,947	0,930	0,929	0,921	0,908
10,0	0,938	0,960	0,958	0,955	0,951	0,933	0,930	0,927
20,0	0,946	0,968	0,966	0,967	0,964	0,953	0,941	0,934
30,0	0,962	0,969	0,973	0,979	0,973	0,969	0,959	0,942
50,0	0,967	0,978	0,983	0,984	0,983	0,976	0,976	0,951
100,0	0,981	0,987	0,983	0,984	0,984	0,988	0,986	0,989

Segundo a norma IEC 61674 [7], a eficiência de coleção de íons não deve ser menor que 95 % para as qualidades de radiodiagnóstico. Pode-se observar que a eficiência de coleção de íons atinge 95,0 %, como recomendado pela norma IEC 61674 quando a polaridade aplicada é 50 V, valor menor do que utilizado na rotina.

Na Tabela 3 são mostrados os valores da resposta da câmara PTW para o teste de polaridade na qualidade de radiodiagnóstico RQR 5. Nesta tabela é apresentada a razão entre as cargas coletadas positivas (Q+) e negativas (Q-) em módulo para as tensões de polarização positiva e negativa respectivamente.

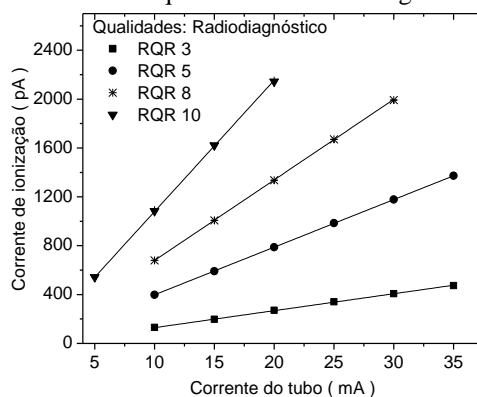
**Tabela 3:** Efeito de polaridade da câmara PTW, na qualidade de radiodiagnóstico convencional RQR 5.

Tensão de polarização ( V )	Carga ( nC )	Razão  Q+ / Q-
+10 / -10	+0,6487 / -0,6485	0,998
+25 / -25	+0,6490 / -0,6510	0,998
+50 / -50	+ 0,6506 / -0,6520	0,998
+100 / -100	+0,6516 / -0,6528	0,998

Segundo as recomendações da norma IEC 60731, o efeito de polaridade, deve ser no máximo de 1,0 %; caso contrário, os fatores de correção deverão ser determinados para se corrigir a resposta da câmara. As tensões aplicadas estudadas variaram desde 10 V até 100 V, positiva e negativamente. Observa-se que o efeito de polaridade se manteve dentro das recomendações da norma.

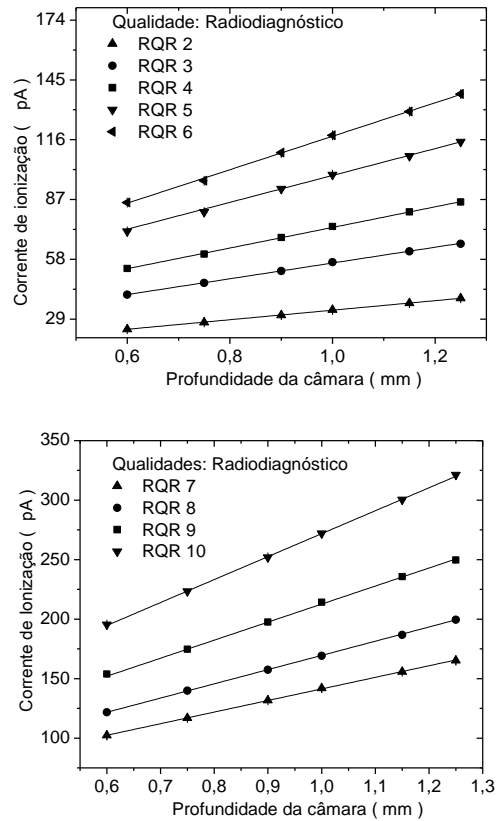
No teste de estabilidade a curto prazo, teste de repetitividade, o desvio padrão ficou sempre abaixo de 0,5%, o que está de acordo com as recomendações da norma IEC 60731[8].

O próximo teste realizado foi a resposta da câmara em função da variação da corrente do tubo. Na Figura 2 são mostrados os valores obtidos da resposta da câmara variando-se a corrente do tubo nas qualidades de radiodiagnóstico convencional.



**Figura 2:** Resposta da câmara de extrapolação PTW nas qualidades de radiodiagnóstico, com a variação da corrente do tubo de raios X

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de extrapolação para as qualidades de radiodiagnóstico convencional da câmara PTW.



**Figura 3:** Curvas de extrapolação da câmara PTW para as qualidades de radiodiagnóstico convencional (feixes diretos)

O coeficiente de variação máximo para os dois gráficos foi de 0,15 %. A partir de cada curva de extrapolação tem-se o coeficiente angular para cada qualidade da radiação. Dividindo-se a taxa de kerma no ar pelo coeficiente angular, obtém-se o fator de calibração. Com a determinação destes valores, a câmara de extrapolação PTW poderá ser utilizada como instrumento de referência para calibração de outros instrumentos como padrões de trabalho.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os valores dos coeficientes angulares, das taxas de kerma no ar e dos fatores de calibração para as qualidades de radiodiagnóstico convencional, feixes diretos e atenuados, para a câmara PTW.

**Tabela 4:** Fatores de calibração da câmara PTW nas qualidades de radiodiagnóstico convencional, feixes diretos, normalizado para a qualidade de RQR 5

Qualidade da radiação	Coeficiente Angular ( $\times 10^{-2}$ pA/mm)	Taxa de kerma no ar (mGy/s)	Fator de calibração (mGy/s . mm/pA)	Normalização para RQR 5	Variação (%)
RQR2	2,312	0,216	$9,343 \pm 0,121$	0,964	3,24
RQR3	3,820	0,366	$9,581 \pm 0,155$	0,988	1,30
RQR4	5,000	0,478	$9,560 \pm 0,114$	0,986	1,44
RQR5	6,510	0,631	$9,693 \pm 0,050$	1,000	0,00
RQR6	8,108	0,769	$9,484 \pm 0,189$	0,979	2,12
RQR7	9,733	0,966	$9,925 \pm 0,060$	1,024	2,36
RQR8	11,950	1,124	$9,406 \pm 0,121$	0,970	2,94
RQR9	15,150	1,498	$9,888 \pm 0,095$	1,020	1,30
RQR10	19,290	1,961	$10,166 \pm 0,089$	1,049	4,86

**Tabela 5:** Fatores de calibração da câmara PTW nas qualidades de radiodiagnóstico convencional, feixes atenuados, normalizados para a qualidade de RQA 5

Qualidade da radiação	Coeficiente angular ( $\times 10^{-3}$ pA/mm)	Taxa de kerma no ar (mGy/s)	Fator de calibração (mGy/s . mm/pA)	Normalização para RQR 5	Variação (%)
RQA 2	3,480	0,0434	$12,474 \pm 0,325$	1,010	0,90
RQA 3	2,480	0,0274	$11,048 \pm 0,553$	0,894	10,70
RQA 4	2,060	0,0235	$11,408 \pm 0,518$	0,923	7,80
RQA 5	2,210	0,0273	$12,535 \pm 0,650$	1,000	0,00
RQA 6	2,370	0,0289	$12,194 \pm 0,388$	0,987	1,43
RQA 7	3,140	0,0354	$11,274 \pm 0,564$	0,913	8,82
RQA 8	3,160	0,0443	$14,019 \pm 0,726$	1,135	13,37
RQA 9	4,060	0,0597	$14,704 \pm 0,745$	1,190	18,96
RQA 10	6,310	0,0965	$15,293 \pm 0,863$	1,238	23,73

A recomendação da norma IEC 61674 sobre a variação da resposta da câmara em função da energia é de 5,0 % para as qualidades de radiodiagnóstico. Pode-se observar que para as qualidades radiodiagnóstico, feixes diretos, a variação do valor do fator de calibração foi menor em comparação ao caso de feixes atenuados. Concluiu-se que a câmara PTW é mais adequada para as radiações de feixes diretos

do que para feixes atenuados, onde a resposta da câmara se apresentou com valor maior do que a norma recomenda.

## **4 Conclusão**

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que a câmara de extrapolação PTW, apesar da sua recomendação principal para uso em campos de radiação beta, ela também apresenta utilidade nas qualidades de radiodiagnóstico, feixes diretos e feixes atenuados.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem as agências de fomento FAPESP, CNPQ, CAPES e ao MCT: projeto INCT: Metrologia das Radiações na Medicina, pelo suporte financeiro parcial.

## **Referências**

1. Soares, C. G.; Vynckier, S.; Järvinen, H.; Cross, W. G.; Sipilä, P.; Flühs, D.; Schaeken, B.; Mourrada, F. A.; Bass, G. A.; Williams, T. T. Dosimetry of beta-ray ophthalmic applicators: Comparison of different measurement methods. *Med. Phys.* v. 28, n. 7, (2001) p. 1373-1384.
2. Oliveira, M. L.; Caldas, L. V. E. A special mini-extrapolation chamber for calibration of  $^{90}\text{Sr}$  +  $^{90}\text{Y}$  sources, *Phys. Med. Biol.* v.50, (2005) p.2929-2936.
3. Soares, C. G.; Douysset, G.; Mitch, M. G. Primary standards and dosimetry protocols for brachytherapy sources. *Metrologia* v.46 p80–98, 2009.
4. Oliveira, M. L. Desenvolvimento de um sistema de referência e de uma metodologia para calibração de aplicadores oftálmicos utilizados em braquiterapia. 2005. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
5. Dias, S. K. Desenvolvimento de uma câmara de extrapolação como instrumento de referência para dosimetria de radiação beta. 1996. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
6. International Electrotechnical Commission. Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC 61267. Genève: IEC, 2005.
7. International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment - dosimeters with ionization chambers and/or semi-conductor detectors as used in X-ray diagnostic imaging. IEC 61674. Genève: IEC, 1997a.
8. International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment-dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy. Draft IEC 60731. Genève: IEC, 1997b.