

CONTROLE DE QUALIDADE DE MEDIDORES DE TENSÃO NÃO-INVASIVOS EM EQUIPAMENTO DE RAIOS X, NÍVEL DIAGNÓSTICO

Renato Assenci Ros¹, Linda V.E. Caldas¹

Resumo Este trabalho apresenta os testes de controle de qualidade feitos em um equipamento de raios X monofásico e em dois sistemas de monitoração não-invasivos. Os resultados foram comparados com os valores apresentados por um sistema de monitoração invasivo e por um detector de germânio hiperpuro, fornecendo fatores de correção para utilização dos medidores de tensão não-invasivos no programa de controle de qualidade de equipamentos de raios X, mostrando a necessidade de calibração e controle periódico.

Unitermos: Radiação X. Controle de qualidade. Sistemas não-invasivos.

Abstract *Quality control of noninvasive voltage meters in X-ray equipment, diagnostic level.*
We present the quality control tests performed on a monophasic X-ray equipment and on two noninvasive monitoring systems. The results were compared with the values obtained using an invasive monitoring system and a hyperpure germanium detector, providing correction factors for utilization of the noninvasive voltage meters in the quality control program of X-ray equipment. We concluded that there is a need for periodic calibration and control.

Key words: X-radiation. Quality control. Noninvasive systems.

INTRODUÇÃO

A verificação periódica dos parâmetros técnicos dos equipamentos de raios X e dos sistemas de registro de imagem visa melhorar a qualidade da imagem, reduzir a exposição do paciente e eliminar toda a radiação que não contribua para a formação da imagem útil.

A necessidade de se garantir a qualidade das imagens radiográficas, dos equipamentos e dos procedimentos relacionados a este processo é para se evitar diagnósticos errados e não-conclusivos que possam levar a uma nova exposição do paciente, acarretando doses desnecessárias e aumento dos custos, devido principalmente à repetição de exames, além do desgaste do equipamento.

Com a expansão da utilização das radiações ionizantes em medicina, surgiu a necessidade de se garantir a qualidade dos serviços de radiodiagnóstico prestados à população, e padronizar os requisitos de proteção radiológica dos estabelecimentos que utilizam sistemas de

raios X, nível diagnóstico. Para isso, foram estabelecidos vários regulamentos e normas técnicas internacionais⁽¹⁻⁷⁾ e nacionais⁽⁸⁻¹⁰⁾, como, por exemplo, a Portaria 453 do Ministério da Saúde⁽¹⁰⁾.

No Laboratório de Calibração de Instrumentos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) foi implementado um programa de garantia da qualidade em um equipamento de raios X com a utilização de um sistema de monitoração invasivo e dois equipamentos não-invasivos. Foram realizados testes periódicos dos parâmetros técnicos do equipamento de raios X, para sua utilização na calibração de câmaras de ionização e monitores portáteis.

Os instrumentos utilizados no controle de qualidade em radiodiagnóstico são fabricados de modo a medir, durante um pulso de radiação, os valores da tensão de pico aplicada ao tubo (kVp), o kerma no ar ou taxa de kerma no ar e o tempo de exposição. Para assegurar a confiança nos valores medidos, são de extrema importância a calibração desses instrumentos e a verificação da dependência de sua resposta com a variação da energia e da taxa de kerma no ar.

Este serviço de calibração é feito, em alguns laboratórios internacionais, utilizando-se divisores de alta tensão invasivos. No presente trabalho, utilizaram-

se as medidas de um espectrômetro de germânio hiperpuro (HPGe), realizadas por Potiens^(cit. in 11), uma câmara de ionização padrão secundário e um sistema de monitoração invasivo para a comparação e estabelecimento de fatores de correção dos valores medidos pelos dois sistemas de monitoração não-invasivos. A calibração desses instrumentos é importante para a sua utilização no controle de qualidade de outros equipamentos de raios X.

MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento de raios X utilizado para implementar os testes de controle de qualidade, do Laboratório de Calibração de Instrumentos do Ipen, foi o aparelho monofásico com retificação de onda completa, modelo Neo-Diagnomax, marca Medicor Mövek Röntgengyara, Hungria, com tensão que varia de 40 a 125 kV. O tubo de raios X possui filtração inerente de 0,8 mmAl, e filtração total permanente do feixe de 2,5 mmAl, em concordância com as normas nacionais^(8,10) e internacionais^(5,7). O tamanho do campo de radiação é limitado por colimadores de chumbo, que possuem aberturas de 5 a 20 mm de diâmetro.

Os sistemas de monitoração não-invasivos de equipamentos de radiação X

1. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Endereço para correspondência: Dra. Linda V.E. Caldas. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Travessa R, 400, Cidade Universitária. São Paulo, SP, 05508-900. E-mail: lcaldas@net.ipen.br; renatoros@bol.com.br

Aceito para publicação em 10/8/2000.

utilizados no controle de qualidade foram os de modelo NERO 6000M, marca Victoreen, cuja faixa de tensão de operação varia de 27 a 155 kV, e o de modelo RMI 242, marca Gammex, com faixa de tensão de operação de 22 a 165 kV. Para realizar as medições, os detectores foram posicionados a uma distância do ponto focal do tubo de raios X de 66 cm para o NERO e de 100 cm para o RMI, seguindo recomendações dos manuais dos equipamentos.

Foi ligado ao equipamento de raios X Neo-Diagnomax um sistema de monitoração invasivo modelo Dynalyser III, marca Radcal, com limite máximo de tensão de 150 kV. Este divisor de alta tensão é utilizado para a determinação da tensão de pico, corrente e tempo de exposição dos feixes de raios X.

Potiens realizou medidas de espectrometria no equipamento de raios X com um sistema espectrométrico Intertech-nique, da Eurisys Measures, com detector plano de germânio hiperpuro⁽¹¹⁾. As medidas foram feitas nos modos de radioscopia e de fluoroscopia e os valores da tensão de pico foram obtidos com o programa Interpc.

Neste trabalho foi utilizado um detector de radiação modelo 9015, marca Radcal, com câmara de ionização Radcal modelo 10 × 5–180, calibrada⁽¹¹⁾, utilizando-se câmara de ionização cilíndrica com volume de 30 cm³, marca PTW, com rastreabilidade ao Laboratório de Padronização Primária Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Alemanha, para comparação e correção dos valores de kerma no ar e taxa de kerma no ar medidos pelos sistemas de monitoração não-invasivos.

Para as medidas de camada semi-redutora foram utilizadas placas de alumínio com espessuras de 0,1 a 2,0 mm e com pureza maior que 99,9%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Estabilidade dos sistemas de monitoração não-invasivos

Foram realizados testes de repetibilidade e estabilidade a longo prazo com os sistemas de monitoração NERO 6000M e RMI 242, por meio da medida

da exposição, utilizando-se fonte de controle de ⁹⁰Sr, marca PTW, com atividade de 25 MBq durante essas medições.

As medidas foram feitas com a fonte encaixada em um suporte de acrílico, diferente para cada detector, construído de acordo com suas dimensões, para assegurar a reprodutibilidade do posicionamento da fonte. A fonte permanece o mais próximo possível, mas sem encostar, à janela de detecção do medidor.

Na Figura 1 é mostrado o esquema de posicionamento dessas peças no caso do detector NERO 6000M. O tempo mínimo de estabilização dos medidores foi de 15 minutos e foram feitas dez medidas consecutivas com a fonte de controle, para a verificação da repetibilidade das medidas em um intervalo de tempo. A variação máxima na resposta foi de 0,5% e 1,3% para os detectores NERO e RMI, respectivamente

De acordo com a norma internacional⁽¹²⁾, o desvio padrão porcentual das medidas não deve exceder a 0,5% no caso de instrumentos de campo. Esta variação maior apresentada pelo detector RMI pode ser devida ao fato de os valores medidos terem apenas dois algarismos significativos para a atividade da fonte utilizada, e os valores apresentados pelo detector NERO possuem quatro algarismos significativos.

O teste de estabilidade a longo prazo consiste na verificação da estabilidade dos monitores ao longo do tempo, con-

siderando-se o decaimento radioativo da fonte de controle. Como valor de referência, considerou-se a média dos valores obtidos nos dez primeiros testes de repetibilidade.

A variação obtida foi de 0,6% e 1,0%, para os detectores NERO e RMI, respectivamente, considerando-se ainda o fator de correção da resposta para temperatura e pressão. O limite de variação aceitável pela norma internacional⁽¹²⁾ é de 1,0% para instrumentos de campo, apresentando para os dois medidores valores aceitáveis.

O teste periódico da estabilidade é um parâmetro importante de verificação desses equipamentos, pois são utilizados no programa de controle de qualidade de equipamentos de raios X, sendo freqüentemente transportados para diversos locais de medição.

B. Variação da tensão em função da corrente

Antes de se iniciar as medidas de exatidão da tensão com os medidores de tensão não-invasivos, foi verificado o comportamento da tensão do equipamento de raios X Neo-Diagnomax em função da variação da corrente, utilizando-se o sistema de monitoração invasivo Dynalyser III. A tensão nominal variou de 40 a 100 kV, no modo radioscópico, e de 50 kV a 100 kV, no modo fluoroscópico, em razão da limitação do painel de comando.

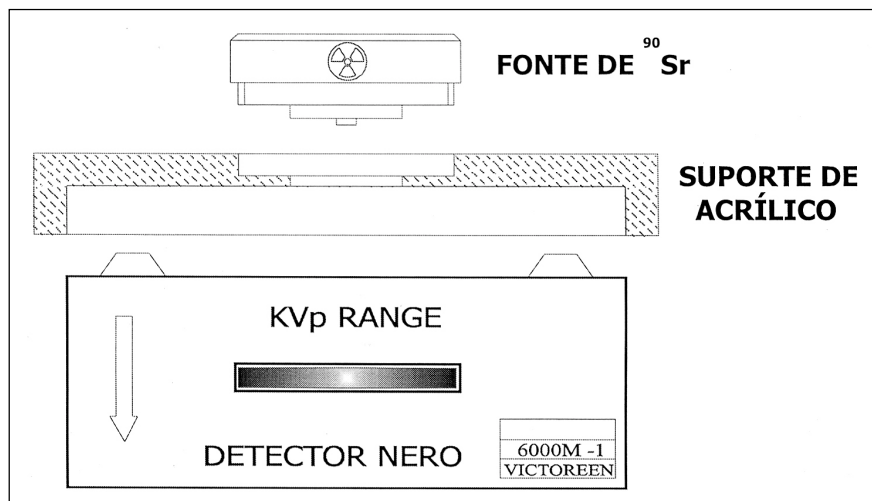


Figura 1. Diagrama esquemático do posicionamento da fonte no suporte de acrílico para o teste de estabilidade do detector NERO 6000M.

No modo de radioscopia, o tempo de exposição foi mantido fixo em 1,0 segundo e o produto da corrente pelo tempo de exposição variou entre 32 e 200 mAs, apresentando variação maior que 10% para valores de tensão abaixo de 80 mAs, como mostra a Figura 2. No modo de fluoroscopia, a corrente variou entre 0,5 e 4,0 mA, com tempo de exposição de 5,0 segundos, com variação máxima de 1% em toda a faixa de corrente.

De acordo com a Portaria 453⁽¹⁰⁾, o indicador de tensão do tubo pode apresentar um desvio de $\pm 10\%$ para quaisquer correntes selecionadas do tubo de raios X. Para a utilização deste equipamento de raios X na calibração de equipamentos, a variação do valor da tensão com a corrente deve ser pequena.

Foi mantido, por isso, um valor fixo do produto da corrente pelo tempo de exposição em toda a faixa de tensão, selecionando-se o valor de 125 mAs para o modo de radioscopia. No caso do modo de fluoroscopia, a corrente foi mantida fixa em 1,0 mA. Nestas condições, têm-se valores máximos de tensão.

C. Variação da tensão em função do tempo de exposição

Além da corrente, outro fator que modifica o valor da tensão é o tempo de exposição. Foram feitas medidas do valor da tensão em função do tempo de exposição, utilizando-se o sistema de

monitoração invasivo Dynalyser III, nas faixas de tensão já descritas.

No modo de radioscopia, o tempo de exposição variou entre 0,63 e 4,0 segundos, com um produto da corrente pelo tempo de exposição fixo em 125 mAs. Os valores de tensão medidos apresentaram variação maior que 10% para tempos de exposição acima de 2,5 segundos, como mostra a Figura 3.

No modo de fluoroscopia, o tempo de exposição variou entre 5,0 e 10,0 segundos, para uma corrente de 1,0 mA, com variação máxima de tensão de 1% em toda a faixa de tempo de exposição.

Para se reduzir a variação do valor da tensão no modo de radioscopia, deve ser mantido fixo o valor do tempo de exposição. Foi escolhido 1,0 segundo por fornecer valor máximo de tensão. No modo de fluoroscopia, não foi adotado um valor fixo do tempo de exposição para as medidas de controle de qualidade, devido à pequena variação apresentada.

D. Teste de exatidão da tensão

O teste de exatidão da tensão verifica se o valor de tensão selecionado no painel de comando corresponde à tensão de saída do feixe de raios X.

Para o teste de exatidão da tensão foram utilizados o sistema de monitoração invasivo Dynalyser III e os equipamentos de monitoração não-invasivos NERO 6000M e RMI 242, mantendo-se

fixos os parâmetros técnicos de 125 mAs, 1,0 segundo, no modo de radioscopia, e corrente de 1,0 mA, no modo de fluoroscopia.

A Tabela 1 apresenta os valores de tensão de pico medidos com os equipamentos de monitoração, para cada valor nominal de tensão, selecionados no painel de comando. No modo de radioscopia, nota-se que os valores de tensão medidos pelos equipamentos Dynalyser III, NERO 6000M e RMI 242 não apresentaram variação maior que 10% do valor nominal de tensão. Entretanto, nota-se que, no modo de fluoroscopia, a variação do valor de tensão foi cerca de 10 kV abaixo do valor nominal de tensão, para todas as tensões medidas. Estes valores de tensão serão mantidos para se evitar ajustes no equipamento de raios X.

A incerteza nas medidas de tensão foi em torno de 1% para todos os equipamentos de monitoração, exceto para a tensão nominal de 100 kV, que apresentou variação de 3%, devido à instabilidade do equipamento de raios X nesta faixa de tensão. No modo de fluoroscopia, o equipamento RMI 242 não apresentou sensibilidade para se medir as tensões mais baixas.

Os valores das tensões de pico obtidos foram comparados com as medidas de espectrometria realizada nesses feixes de raios X⁽¹¹⁾. A utilização de um espectrômetro de germânio hiperpuro

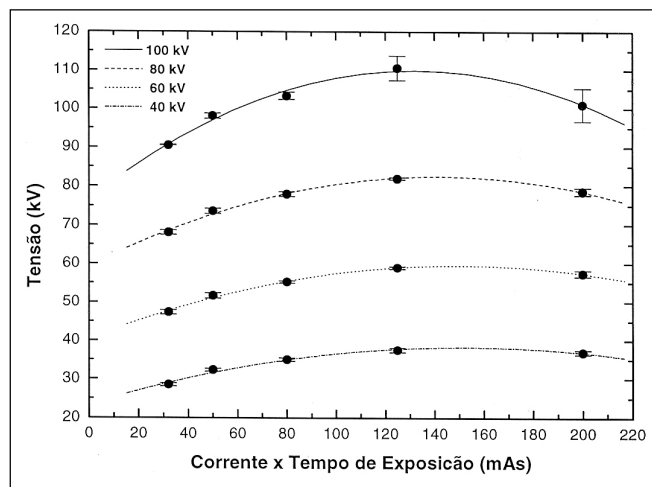


Figura 2. Medidas da tensão em função do produto da corrente pelo tempo de exposição, no modo de radioscopia, utilizando-se o equipamento Dynalyser III. O tempo de exposição foi mantido fixo em 1,0 segundo.

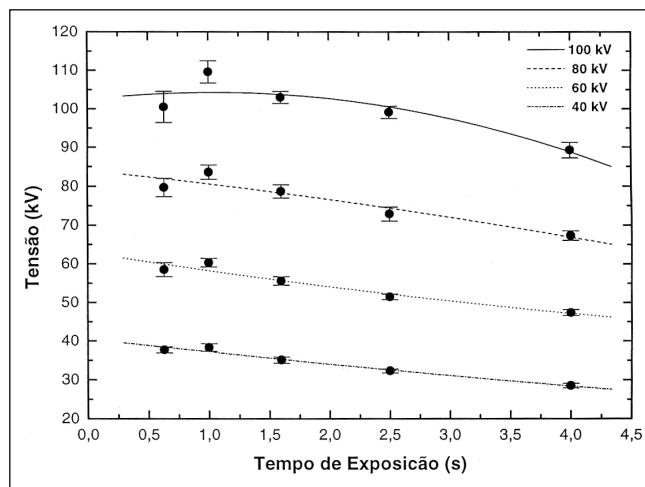


Figura 3. Medidas da tensão em função do tempo de exposição, no modo de radioscopia, utilizando-se o equipamento Dynalyser III. O produto da corrente pelo tempo de exposição foi mantido fixo em 125 mAs.

Tabela 1 Valores médios da tensão de pico, medidos com os equipamentos Dynalyser III, NERO 6000M e RMI 242.

	Tensão nominal (kV)	Dynalyser III (kV)	NERO 6000M (kV)	RMI 242 (kV)
Radioscopia 125 mAs	40	37,8	36,9	40,5
	50	49,0	47,3	50,8
	60	59,0	57,7	59,4
	71	72,1	71,4	72,1
	80	82,1	80,9	82,1
	90	94,6	93,8	93,5
	100	107,0	107,0	105,0
Fluoroscopia 1 mA	50	42,8	40,1	–
	60	51,5	44,9	–
	71	60,9	57,5	59,2
	80	69,8	67,6	70,5
	90	79,6	77,8	80,2
	100	88,7	85,3	87,8

como referência para a calibração de medidores de tensão é válida, pois a calibração do espectrômetro pode ser realizada de forma simples, com a utilização dos picos de emissão de uma fonte de ²⁴¹Am calibrada⁽¹³⁻¹⁵⁾. Os valores de tensão de pico obtidos com a espectrometria estão apresentados na Tabela 2, nos modos de radioscopia e fluoroscopia.

As medidas de espectrometria apresentaram incerteza inferior a 0,1 kV, exceto para a tensão de 100 kV, no modo de radioscopia, que apresentou variação de 0,5 kV. Utilizando-se como referência os valores de tensão obtidos a partir da espectrometria, pode-se determinar um fator de correção para cada equipamento de monitoração e para cada valor de tensão^(14,15). O fator de correção corresponde à razão entre o valor de tensão medido pelo espectrômetro e o valor de

Tabela 2 Valores médios da tensão de pico obtidos por espectrometria nos modos de radioscopia e fluoroscopia⁽¹¹⁾.

Tensão (kV)	Tensão (kV)	
	Radioscopia 125 mAs	Fluoroscopia 0,5 mA
50	–	43,13
60	58,31	52,01
71	69,19	62,89
80	78,92	70,33
90	89,23	80,07
100	98,10	89,80

tensão medido em cada equipamento de monitoração. Estes resultados são apresentados na Tabela 3.

Pode-se notar que os fatores de correção apresentaram variação menor que 10% no modo de radioscopia, atingindo um valor máximo de 16% no modo de fluoroscopia. Este resultado mostra a necessidade da determinação de fatores de correção para os equipamentos de monitoração não-invasivos, pois a variação máxima da tensão, estabelecida por normas^(5,8,10), é de 10%.

E. Teste de exatidão do tempo de exposição

O teste de exatidão do tempo de exposição verifica se o tempo selecionado

no painel de comando corresponde ao tempo de disparo do feixe. Para o teste de exatidão do tempo de exposição foram utilizados o equipamento de monitoração invasivo Dynalyser III e os equipamentos de monitoração não-invasivos NERO 6000M e RMI 242. O tempo de exposição selecionado no painel de comando variou de 0,63 a 4,0 segundos, para valores de tensão entre 40 e 100 kV, mantendo-se fixa a condição técnica de 125 mAs. Os valores médios do tempo de exposição medidos pelos equipamentos de monitoração estão apresentados na Tabela 4. Nesta tabela nota-se que todos os tempos de exposição medidos pelos equipamentos de monitoração apresentam variação média de 12% em relação aos valores nominais do painel. A repetibilidade das medidas apresentou variação inferior a 2% para todos os medidores. Para se evitar ajustes no painel de comando do equipamento de raios X, os valores de tempo de exposição medidos pelo sistema de monitoração invasivo Dynalyser III foram adotados como referência. Os valores de tempo de exposição medidos com os medidores de tensão não-invasivos apresentaram variação em torno de 1% em relação aos valores medidos pelo Dynalyser III.

F. Camadas semi-redutoras

A camada semi-redutora representa a qualidade do feixe de raios X para uma determinada tensão e filtração total do tubo de raios X. Foram utilizados, para estas medidas, os sistemas de monito-

Tabela 3 Fatores de correção de tensão para cada equipamento de monitoração em relação aos valores de espectrometria.

	Tensão nominal (kV)	Dynalyser III	NERO 6000M	RMI 242
Radioscopia	60	0,988	1,011	0,982
	71	0,960	0,969	0,960
	80	0,961	0,976	0,961
	90	0,943	0,951	0,954
	100	0,917	0,917	0,934
Fluoroscopia	50	1,008	1,076	–
	60	1,010	1,158	–
	71	1,033	1,094	1,062
	80	1,008	1,040	0,998
	90	1,006	1,029	0,998
	100	1,012	1,053	1,023

Tabela 4 Valores médios do tempo de exposição, medidos com os equipamentos Dynalyser III, NERO 6000M e RMI 242, para tensões de 40 a 100 kV e 125 mAs.

Tempo (s)	Dynalyser III (s)	NERO 6000M (s)	RMI 242 (s)
0,63	0,717	0,709	0,714
1,0	1,11	1,10	1,11
1,6	1,77	1,76	1,77
2,5	2,83	2,80	2,82
4,0	4,78	4,76	4,78

ração não-invasivos NERO 6000M e RMI 242 e placas de alumínio de diversas espessuras. Os valores obtidos das camadas semi-redutoras são apresentados na Tabela 5.

Os valores das camadas semi-redutoras do equipamento de raios X obtidos pelos dois medidores de tensão não-invasivos estão de acordo com os valores mínimos de camadas semi-redutoras exigidos pela Portaria 453⁽¹⁰⁾, como mostra a Tabela 6, dentro de 6% de variação máxima.

G. Taxa de kerma no ar

A medida do kerma no ar em radiologia diagnóstica é um parâmetro importante para se estimar os riscos biológicos potenciais dos exames e também para se adequar o desempenho do equipamento de raios X^(16,17). Foi verificada a

Tabela 5 Primeiras camadas semi-redutoras para cada tensão do tubo de raios X, determinadas com os equipamentos de monitoração.

	Tensão nominal (kV)	NERO 6000M (mmAl)	RMI 242 (mmAl)
Radioscopia	40	1,12	1,16
	50	1,48	1,49
	60	1,69	1,80
	71	1,95	2,10
	80	2,23	2,30
	90	2,43	2,54
	100	2,71	2,80
Fluoroscopia	50	1,42	1,49
	60	1,66	1,83
	71	1,99	2,16
	80	2,38	2,31
	100	2,82	2,86

dependência da taxa de kerma no ar dos medidores não-invasivos por meio de exposições no modo de radioscopia e fluoroscopia, com correntes de 125 e 1 mA, respectivamente. Além disso, verificou-se a dependência energética dos medidores por meio da variação de tensão de 40 a 100 kV.

As medidas foram feitas com os equipamentos NERO 6000M e RMI 242, que possuem câmaras de ionização de placas paralelas com volumes sensíveis de 36 e 51 cm³, respectivamente, e comparadas com uma câmara de ionização de volume de 180 cm³, marca Radcal, que possui diversos fatores de calibração, de acordo com a energia do feixe de raios X medido. As medidas foram feitas a uma distância de 100 cm do ponto focal do tubo de raios X e estão apresentadas na Tabela 7.

No modo de radioscopia, o kerma no ar medido pelos equipamentos de monitoração não-invasivos apresentou variações em torno de 3% em relação aos valores da câmara de ionização, e a taxa de kerma no ar, no modo de fluoroscopia, apresentou variações de até 7% para tensões menores.

Tabela 6 Valores das primeiras camadas semi-redutoras para cada tensão, de acordo com a Portaria 453⁽¹⁰⁾.

Tensão nominal (kV)	Portaria 453 (mmAl)
40	–
50	–
60	–
70	2,1
80	2,3
90	2,5
100	2,7

Tabela 7 Kerma no ar e taxa de kerma no ar medidas com as câmaras de ionização dos instrumentos Radcal, NERO 6000M e RMI 242.

	Tensão nominal (kV)	Radcal	NERO 6000M	RMI 242
Radioscopia 125 mAs (mGy)	40	0,60	0,62	0,59
	60	4,12	4,02	4,06
	80	7,15	6,98	6,98
Fluoroscopia 1 mA (mGy/min.)	40	1,01	0,95	0,96
	60	3,04	2,97	3,17
	80	3,67	3,68	3,65

CONCLUSÕES

A implantação de uma metodologia de controle de qualidade para o equipamento de raios X, nível diagnóstico, do Laboratório de Calibração de Instrumentos do Ipen, permitiu uma verificação periódica dos parâmetros que modificam os feixes de raios X, mantendo-se as condições adequadas para a calibração de detectores de radiação utilizados em radiodiagnóstico.

Os resultados obtidos neste trabalho dos sistemas de monitoração não-invasivos no programa de controle de qualidade do equipamento de raios X, a verificação periódica da estabilidade e a obtenção de fatores de correção da tensão e da taxa de kerma no ar com sistemas padrões de referência levam à conclusão que estes monitores podem ser recomendados para a verificação dos parâmetros técnicos de outros equipamentos de raios X, em prestações de serviços de controle de qualidade.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro parcial.

REFERÊNCIAS

1. International Commission on Radiological Protection. Summary of the current ICRP principles for protection of the patient in diagnostic radiology. ICRP Report of Committee 3. Oxford and New York: Pergamon Press, 1993.
2. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 26. ICRP 26. Oxford and New York: Pergamon Press, 1977.
3. World Health Organization. Quality assurance in diagnostic radiology. Genève: WHO, 1982.
4. Hospital Physicists' Association. Quality assurance measurements in diagnostic radiology. Conference Report Series 29. London: HPA, 1979.
5. National Council on Radiation Protection and

- Measurements. Quality assurance for diagnostic imaging. NCRP Report 99. Bethesda, MD: NCRP, 1988.
6. Commission of the European Communities. Quality criteria for diagnostic radiographic images. EUR 16260. Brussels: CEC, 1996.
 7. International Electrotechnical Commission. Radiation conditions for use in the determination of characteristics of diagnostic X-ray equipment. IEC 1267. Génève: 1994
 8. Secretaria de Estado da Saúde. Uso, posse e armazenamento de fontes de radiação ionizante no âmbito do Estado de São Paulo. Resolução SS-625. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 14 de dezembro de 1994.
 9. Centro de Vigilância Sanitária. Programas de garantia de qualidade em radiologia odontológica. Portaria CVS-3. São Paulo, 2 de junho de 1997.
 10. Ministério da Saúde. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria 453. Diário Oficial da União, Brasília, 2 de junho de 1998.
 11. Albuquerque MPP. Metodologia dosimétrica e sistema de referência para radiação X nível diagnóstico. [Tese de doutoramento]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Universidade de São Paulo, 1999.
 12. International Organization for Standardization. X and gamma reference radiations for calibrating doseimeters 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.
 13. Freitas LC, Drexler G. The role of secondary standard dosimetry laboratories in diagnostic radiology. *Radiat Prot Dosim* 1992;43:99-102.
 14. Green S, Palethorpe JE, Peach DE, Bradley DA. Development of a calibration facility for test instrumentation in diagnostic radiology. *Radiat Prot Dosim* 1996;67:41-6.
 15. Green S, Palethorpe JE, Peach DE, Bradley DA. Performance assessment of patient dosimetry services and X-ray quality assurance instruments used in diagnostic radiology. *Appl Radiat Isot* 1999;50:137-52.
 16. Wagner LK, Fontenla DP, Kimme-Smith C, Rothenberg LN, Shepard J, Boone JM. Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters: report of AAPM Diagnostic X Ray Imaging Task Group No. 6. *Med Phys* 1992;19:231-41.
 17. Wagner LK. Studies on the performance of diagnostic ionisation air kerma meters in the United States. *Radiat Prot Dosim* 1992;43:127-30.