

Proposta da Monitoração de Área como Alternativa ao Levantamento Radiométrico em Equipamentos Radiológicos Móveis

Proposal for Area Monitoring as an Alternative to Radiometric Surveying in Mobile Radiological Equipment

Antônio P. Daud¹, Rennan V. S. Rocha¹, Alessandro R. Junior¹, Lorena D. Fontoura¹, Regina B. Medeiros^{1,2}, Marcelo M. Silva^{1,3}, Marcelo B. Freitas^{1,3}

¹Programa de Residência em Área Profissional de Física Médica – UNIFESP, São Paulo, Brasil

²Pós-Graduação em Cardiologia da Escola Paulista de Medicina – UNIFESP, São Paulo, Brasil

³Departamento de Biofísica da Escola Paulista de Medicina – UNIFESP, São Paulo, Brasil

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar a monitoração de área como alternativa ao levantamento radiométrico convencional no contexto do uso de equipamentos radiológicos móveis em hospitais. Foram realizadas medições de kerma no ar e taxa de kerma no ar em quatro serviços de radiologia, envolvendo nove arcos cirúrgicos e oito equipamentos de raios X móveis. No cenário de radiografias em leito, estimou-se o número máximo de exposições semanais que um paciente – considerado um indivíduo do público nesse contexto – poderia receber em um leito adjacente. Já no contexto de procedimentos com arcos cirúrgicos, calculou-se o tempo máximo diário de permanência de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) próximos ao feixe de radiação espalhada. Os cálculos consideraram os limites de dose estabelecidos pela RDC 611 da ANVISA e NN 3.01 da CNEN. O estudo confirma que a exigência de levantamento radiométrico para equipamentos radiológicos móveis pode ser contemplada a partir da metodologia de monitoração de área proposta neste estudo.

Palavras-chave: monitoração de área; levantamento radiométrico; equipamentos radiológicos móveis; proteção radiológica; limites de dose.

Abstract

This study aimed to evaluate area monitoring as an alternative to conventional radiation protection survey in the context of using mobile radiological equipment in hospitals. Air kerma and air kerma rate measurements were conducted in four radiology departments, involving nine C-arms and eight mobile X-ray units. In the bedside radiography scenario, the maximum number of weekly exposures that a patient—considered a member of the public in this context—could receive in an adjacent bed was estimated. In the context of procedures using surgical C-arms, the maximum daily exposure time for occupationally exposed individuals (OEIs) near the scattered radiation field was calculated. The calculations were based on the dose limits established by national regulatory requirements ANVISA RDC 611 and CNEN NN 3.01. The study confirms that the requirement for radiometric surveys of mobile radiological equipment can be addressed through the area monitoring methodology proposed in this study.

Keywords: area monitoring; radiation protection survey; mobile x-ray equipment; radiation protection; dose limits.

1. Introdução

Equipamentos radiológicos móveis, como os arcos cirúrgicos e as unidades portáteis de radiografia, são amplamente utilizados em ambientes hospitalares por sua versatilidade e capacidade de proporcionar imagens em tempo real ou à beira-leito, sendo fundamentais em procedimentos cirúrgicos, emergenciais e em unidades de internação. A proximidade com a fonte de radiação aumenta o risco relacionado à radiação espalhada, tanto para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) quanto para o público em geral. Diante disso, torna-se essencial estimar e controlar os níveis de exposição nesses ambientes clínicos, assegurando a conformidade com os limites estabelecidos pelas normativas nacionais e internacionais, e promovendo práticas eficazes de segurança (1-3).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 611/2022 da ANVISA estabelece limites anuais de equivalente de dose ambiente de 0,5 mSv para áreas livres e 5 mSv para áreas controladas. Já a norma CNEN NN 3.01 define limites anuais de dose efetiva

de 20 mSv para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) e de 1 mSv para o público em geral. A avaliação dos níveis de exposição em diferentes cenários clínicos permite não apenas verificar a conformidade com esses limites, mas também propor estratégias de otimização da proteção radiológica (1-3).

O levantamento radiométrico tem como objetivo avaliar as condições de segurança radiológica em uma instalação, por meio de medições sistemáticas dos níveis de radiação presentes no ambiente, no entorno da sala onde o equipamento radiológico está instalado. A finalidade principal é verificar se a blindagem instalada e a distância são eficazes na contenção da radiação, assegurando a proteção adequada dos profissionais de saúde e das pessoas que circulam nas proximidades. No entanto, no contexto do uso de equipamentos radiológicos móveis, que não permanecem fixos em local determinado, pretende-se adotar a realização de monitoração de área como alternativa ao levantamento radiométrico convencional, atendendo às exigências das autoridades sanitária e

assegurando a avaliação das condições reais de exposição (1-3).

2. Materiais e Métodos

Foram realizadas medidas de radiação espalhada (monitoração de área) em 17 equipamentos radiológicos, sendo 8 equipamentos de raios X convencionais móveis e 9 arcos cirúrgicos, de diferentes fabricantes, distribuídos em serviços de radiologia de 4 grandes hospitais gerais.

Para simular a situação clínica envolvendo o uso de equipamentos, foram considerados dois cenários: 1) raios X convencional móvel para realização de radiografias de abdome anteroposterior (AP) em paciente internado em leito hospitalar, com outros pacientes em leitos nas proximidades, considerados como indivíduos do público; 2) arco operando com controle automático de exposição (CAE) para realização de procedimentos em centros cirúrgicos, nos quais profissionais de saúde, ou seja, indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), permanecem em posições próximas ao paciente durante o procedimento. O objetivo foi estimar (no 1º cenário) o número máximo semanal de exposições que um paciente em um leito nas proximidades (diferentes distâncias) poderia receber – áreas livres, ou (no 2º cenário) o tempo diário máximo de permanência dos IOEs próximos ao paciente durante o procedimento com radiação – áreas controladas, ambos com base nos valores de equivalente de dose ambiente apresentados na Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) N° 611 (3) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) ou nos limites de dose efetiva anual estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear na sua publicação NN 3.01 (1) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores anuais de equivalente de dose ambiente (RDC 611) e de dose efetiva (CNEN NN3.01), em mSv, para indivíduos do público – áreas livres – e indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) – áreas controladas.

Grupo	RDC 611 (mSv)	CNEN NN 3.01 (mSv)
Indivíduos do público	0,5	1,0
Indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs)	5,0	20,0

Fonte: O autor (2025).

Em ambos os cenários, foi utilizado um objeto espalhador para simular o corpo do paciente de 19,4 cm de espessura (CIRS modelo 903). Um conjunto eletrômetro (modelo *Accu-Dose*) e câmara de ionização (180 cm³) da marca *Radcal*, devidamente calibrado, foi empregado para medidas de kerma no ar (raios X convencionais móveis) e de taxa de kerma no ar (arcos cirúrgicos). Para realização das medidas, a câmara de ionização foi posicionada a 0,5m do objeto espalhador em pontos estratégicos definidos para os dois cenários (Figuras 1 e 2, respectivamente), que foram utilizados para determinação do número máximo semanal de exposições para indivíduos do público (1º cenário) ou

de tempo máximo diário de permanência dos IOEs (2º cenário).

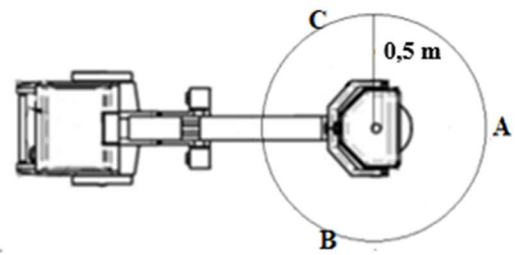


Figura 1. Pontos de medição de kerma no ar ao redor do objeto espalhador no equipamento de raios X móvel, utilizados para estimativa do número máximo de exposições de indivíduos do público no entorno.

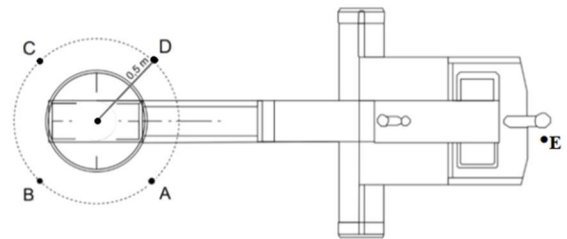


Figura 2. Pontos de medição de taxa de kerma no ar ao redor do objeto espalhador, simulando o uso do arco cirúrgico por indivíduos ocupacionalmente expostos.

No 1º cenário, o número máximo semanal de exposições, foi calculado considerando que há a possibilidade de realização de radiografias durante 50 semanas no ano e empregando um fator de 1,14 Sv/Gy (ICRP 74) (4) para conversão do valor de kerma no ar medido K (mGy) em equivalente de dose ambiente e dose efetiva (mSv). O respectivo valor anual estabelecido pelas normativas nacionais (RDC 611 e CNEN NN 3.01) (1,3) para indivíduos do público – L (mSv), foi empregado no cálculo do número máximo de exposições semanais (N) a uma dada distância (d) do paciente irradiado:

$$N(d) = \frac{L}{50 \cdot 1,14 \cdot K} \quad (1)$$

No 2º cenário, os tempos diários máximos (em minutos) foram calculados a partir da estimativa de 5 dias úteis em uma semana e um ano com 50 semanas, totalizando 250 dias de trabalho para um IOE. Além disso, levou-se em conta que a utilização de vestimentas plumbíferas por parte do IOE atenua a radiação em um fator de 10 (ICRP 117) (5). Considerando o mesmo fator de 1,14 Sv/Gy, para conversão da taxa de kerma no ar medida TK (mGy/min) em equivalente de dose ambiente e dose efetiva (mSv), o tempo máximo diário T (minutos) de permanência de um IOE próximo ao paciente foi calculado:

$$T = \frac{L}{250 \cdot 1,14 \cdot 10 \cdot TK} \quad (2)$$

3. Resultados

A Tabela 2 apresenta os valores médios de kerma no ar corrigidos a distância de 1,0m, em diferentes equipamentos de raios X convencionais móveis, utilizando os respectivos protocolos (tensão – kV e produto corrente-tempo – mAs) empregados na rotina clínica para realização de radiografias de abdome de um paciente no leito.

Os valores de kerma no ar @1,0m foram corrigidos para diferentes distâncias (1,5; 2,0 e 2,5m),

simulando as possíveis posições que um paciente em leitos próximos ao irradiado poderia ocupar durante a realização da radiografia.

A partir destes valores de kerma no ar e dos valores anuais para áreas livres da RDC 611 (3) e para indivíduos do público estabelecidos pela CNEN NN 3.01 (1) (Tabela 1) foi estimado o número máximo de exposições semanais, para cada uma das distâncias consideradas, utilizando a equação (1) (Tabela 2).

Tabela 2. Número máximo semanal de exposições, para diferentes distâncias, considerando os limites da RDC 611 e CNEN 3.01.

Raios X Convencional Móvel	Protocolo		Kerma médio (μGy) @1,0m	RDC 611				CNEN NN 3.01			
	kV	mAs		1,0m	1,5m	2,0m	2,5m	1,0m	1,5m	2,0m	2,5m
RX1M1	73	25	3,0 \pm 0,2	3	7	12	18	6	13	23	36
RX2M1	73	25	2,2 \pm 0,2	4	9	16	24	8	18	31	49
RX3M1	80	50	2,5 \pm 0,2	3	8	14	22	7	16	28	43
RX4M2	80	10	1,4 \pm 0,2	6	14	24	38	12	27	49	76
RX5M3	85	25	2,2 \pm 0,4	4	9	16	25	8	18	32	50
RX6M3	85	25	2,7 \pm 0,1	3	7	13	20	6	15	26	41
RX7M3	85	25	2,5 \pm 0,3	4	8	14	22	7	16	28	44
RX8M4	85	25	3,2 \pm 0,4	3	6	11	17	5	12	22	34

Fonte: O autor (2025)

A Tabela 3 apresenta os valores das taxas médias de kerma no ar (mGy/min) medidas no entorno dos diferentes arcos cirúrgicos (0,5m) e os parâmetros de operação (tensão - kV e corrente – mA) com uso do controle automático de exposição (CAE).

A partir da equação (2), foi calculado o tempo diário máximo de permanência (minutos) para os IOEs que participam de procedimentos com arcos cirúrgicos (Tabela 3), considerando os valores anuais para áreas controladas da RDC 611 (3) e para indivíduos ocupacionalmente expostos estabelecidos pela CNEN NN 3.01 (1) (Tabela 1).

Tabela 3. Tempos diários máximos (minutos) de permanência dos IOEs que participam de procedimentos com arcos cirúrgicos, considerando os valores anuais para indivíduos ocupacionalmente expostos da CNEN NN 3.01 e áreas controladas da RDC 611.

Arco Cirúrgico	Protocolo		Taxa média kerma ($\mu\text{Gy}/\text{min}$)	RDC 611 (min)	CNEN NN 3.01 (min)
	kV	mA			
AC1M1	78	7,50	20 \pm 2	8,8	35,1
AC2M2	94	2,90	28 \pm 1	6,4	25,5
AC3M2	88	2,50	15 \pm 2	11,7	46,8
AC4M3	84	2,49	33 \pm 1	5,4	21,5
AC5M4	72	2,76	10 \pm 1	18,2	72,7
AC6M5	78	7,00	31 \pm 2	5,7	22,8
AC7M6	83	7,00	30 \pm 1	5,8	23,1
AC8M6	78	7,50	23 \pm 1	7,7	30,9
AC9M6	110	5,30	40 \pm 1	4,4	17,5

Fonte: O autor (2025)

4. Discussão

Os resultados da Tabela 2 para a distância de 1,0m indicam um número máximo de exposições semanais

variando de 3 a 6 e de 5 a 12, considerando os valores anuais estabelecidos pela RDC 611 (áreas livres) (3) ou pela CNEN NN 3.01 (indivíduos do público) (1), respectivamente. Esses resultados são coerentes com a prática clínica de radiografias diárias em leito e reforçam que mesmo muito próximos do paciente irradiado (1,0m), os pacientes no entorno estão em condições adequadas de proteção radiológica quando equipamentos de raios X convencionais móveis são empregados na realização de radiografias simples de pacientes em leitos, tanto considerando os valores mais restritivos da RDC 611 (0,5 mSv) (3), quanto os menos restritivos da CNEN NN 3.01 (1 mSv) (1). O número de exposições para as demais distâncias reforça a relevância da otimização das condições de proteção radiológica, com aumento da distância entre os leitos. Associado a isso, as condições consideradas no cálculo do número de exposições semanais são extremamente conservadoras, já que pressupõem que o mesmo paciente no entorno do leito irradiado permanecerá nessa condição durante todo ano, ou seja, há a transposição de um limite anual para semanal.

Na Tabela 3, os tempos máximos diários de permanência dos IOEs variaram de 4,4 a 18,2 minutos ou de 17,5 a 72,7 minutos, considerando o valor anual da RDC 611 para áreas controladas (5 mSv) (3) ou da CNEN NN 3.01 para IOEs (20 mSv) (1). Estes resultados indicam que o uso do limite anual da CNEN NN 3.01 para IOEs de 20 mSv (1) permitiria a realização de uma quantidade semanal considerável de procedimentos com arcos cirúrgicos, compatível com a rotina clínica de procedimentos mais complexos ou de grandes centros cirúrgicos, mas exigindo a implementação de processos de otimização. Por outro lado, os valores anuais para

áreas controladas da RDC 611 (5 mSv) (3) limitam o tempo de exposição diário dos IOEs em procedimentos com arcos cirúrgicos, garantindo condições mais conservadoras de proteção radiológica.

Neste estudo, adotou-se o fator de correção de 1/10 para estimar a atenuação dos aventais plumbíferos (ICRP 117) (5). No entanto, é importante destacar que essa correção pode representar uma estimativa conservadora, conforme estudo realizado por Christodoulou e colaboradores em 2003 (6). De acordo com esse estudo, o uso de aventais com equivalência de 0,5 mmPb e 0,25 mmPb pode representar atenuações bem maiores, com transmissões médias de 1,0% e 7,1%, respectivamente, a 70 kVp em média, dependendo do fabricante e do material utilizado.

5. Conclusões

A realização da monitoração de área no entorno de equipamentos radiológicos móveis, a partir da metodologia proposta neste estudo, demonstrou ser uma alternativa ao levantamento radiométrico tradicional para equipamentos fixos. Além de atender aos requisitos das instruções normativas da ANVISA (7,8), tem o potencial de impactar positivamente na segurança dos indivíduos do público e dos trabalhadores, principalmente quando os valores anuais da RDC 611 (3) são empregados, permitindo o gerenciamento adicional da dose ocupacional, da distância entre leitos adjacentes e das medidas de proteção radiológica necessárias. Além disso, a caracterização detalhada dos níveis de radiação no entorno dos pacientes submetidos a procedimentos com radiação, seja na radiologia convencional ou nos procedimentos com fluoroscopia, contribui para promover a cultura de segurança radiológica no ambiente hospitalar, criando condições para a implementação de boas práticas de proteção radiológica.

Dessa forma, a monitoração de área proposta neste estudo não apenas possibilita o cumprimento das normas vigentes da ANVISA (7,8), mas também orienta ações de proteção radiológica. O estudo confirma que a exigência de levantamento radiométrico para equipamentos radiológicos móveis pode ser contemplada a partir da metodologia de monitoração de área proposta neste estudo.

Agradecimentos

A toda equipe responsável pelos serviços de radiologia dos hospitais participantes deste estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro e institucional. (FAPESP 21/10117-9).

Referências

1. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Norma NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica*. Rio de Janeiro: 2014.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). *Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation*. IAEA Safety Standards Series No. SSG-46. Vienna: 2018.
3. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022*, Brasília: 2022.
4. International Commission on Radiological Protection. *Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation*. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).1996.
5. International Commission on Radiological Protection. *Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department*. ICRP Publication 117. Ann. ICRP 40 (6). 2010.
6. Christodoulou EG, Goodsitt MM, Larson SC, Darner KL, Satti J, Chan HP. *Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter*. Med Phys. 2003;30(6):1033-38.
7. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Instrução Normativa nº 90, de 27 de maio de 2021*. Brasília: 2022.
8. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Instrução Normativa nº 91, de 27 de maio de 2021*. Brasília: 2022.

Contato:

Marcelo Baptista de Freitas
Universidade Federal de São Paulo
Departamento de Biofísica
Rua Botucatu, 862 - 7.º andar - Vila Clementino - São Paulo - SP - CEP: 04023-062
mfreitas@unifesp.br