

Fator de conversão kerma no ar/equivalente de dose ambiente para raios X: estudo da dependência energética na faixa de radiodiagnóstico

Marco Aurélio Guedes Pereira¹, Paulo Roberto Costa², Ana Carolina Bruno Machado³, Fabio Y. Kanashiro⁴, Ricardo Andrade Terini⁵, Silvio Bruni Herdade⁶

Resumo

OBJETIVOS: Avaliou-se a dependência energética do fator de conversão de kerma no ar para equivalente de dose ambiente, para raios X utilizados em diagnóstico médico, por intermédio do espectro de energia. **MÉTODO:** O fator de conversão Sv/Gy foi determinado para a radiação primária e espalhada por um objeto simulador de paciente, medindo-se o espectro de raios X, para várias tensões de operação de um equipamento Philips de potencial constante. Os espectros foram obtidos utilizando-se um espectrômetro Amptek com um fotodiodo PIN refrigerado. **RESULTADOS:** Verificou-se que o fator de conversão Sv/Gy difere do valor constante de 1,14, recomendado pela Portaria 453 do Ministério da Saúde, de 1998, em até 30%, em concordância com resultados publicados no relatório ICRU 57, de 1998. **CONCLUSÃO:** Fatores de conversão diferentes deveriam ser utilizados nos levantamentos radiométricos realizados com câmaras de ionização, levando em conta a energia máxima do espectro de radiação X, evitando subestimar os valores de dose determinados.

Descritores:

Fator de conversão; Equivalente de dose ambiente; Kerma no ar; Espectros de energia de raios X; Fotodiodo PIN; Dosimetria.

Recebido para publicação em 14/6/2002. Aceito, após revisão, em 25/11/2002.

Trabalho realizado na Seção Técnica de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde/Serviço Técnico de Aplicações Médico-Hospitalares do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (STDTs/STAMH – IEE-USP), São Paulo, SP. Painel apresentado na 32ª Jornada Paulista de Radiologia, abril/2002, São Paulo, SP.

¹ Engenheiro da STDTs/STAMH – IEE-USP, Doutorando no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Ipen/CNEN), Pesquisador.

² Diretor do STAMH – IEE-USP, Professor do Curso de Física da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), Pesquisador.

³ Aluna do Curso de Física da PUC-SP, Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

⁴ Aluno do Curso de Física do Instituto de Física da USP, Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

⁵ Professor do Curso de Física da PUC-SP, Consultor do STAMH – IEE-USP, Pesquisador.

⁶ Consultor do STAMH – IEE-USP, Pesquisador.

Correspondência: Eng. Marco Aurélio Guedes Pereira. Avenida Professor Luciano Gualberto, 1289. São Paulo, SP, 05508-010. E-mail: marschal@iee.usp.br

O levantamento radiométrico em ambientes onde estão instalados equipamentos de raios X para radiodiagnóstico é necessário para a obtenção de dados utilizados no projeto de barreiras para a proteção de trabalhadores e do público externo.

Por outro lado, algumas intervenções em um paciente submetido, por exemplo, a um exame de fluoroscopia, ou de angiografia, exigem que o corpo clínico permaneça no interior da sala de exame, a pequenas distâncias do equipamento de raios X. Nessas distâncias, a taxa de kerma no ar pode atingir valores elevados (em geral, em torno de 2 mGy/h, podendo chegar até cerca de 25 mGy/h na região do abdome do médico sem proteção^[1]).

A grandeza operacional apropriada para verificar a conformidade com os limites de dose em monitoração de área é o equivalente de dose ambiente $H^*(d)$, expresso em mSv, sendo 10 mm o valor recomendado para a profundidade d no âmbito da International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) no caso de radiações penetrantes^[2].

No caso dos exames mencionados, a dose recebida pelo pessoal clínico na sala de exames pode ser consideravelmente reduzida para atender ao limite máximo recomendado para exposições ocupacionais de 50 mSv/ano^[3], desde que certos procedimentos de proteção radiológica sejam adotados. Esses procedimentos, em acordo com o princípio ALARA (“as low as reasonably achievable”), incluem: escolha de uma

técnica (kVp, mAs) conveniente na utilização do equipamento de raios X, uso de dispositivos de proteção individual equivalentes em chumbo (aventais, luvas, protetores de gônadas e tiróide) e redução do tempo de permanência junto ao emissor de radiação. No caso de procedimentos angiográficos, a dose no corpo clínico também é significativamente afetada pela angulação do arco em forma de C, pelo tamanho do paciente (que influencia os parâmetros da técnica usada, devido ao controle automático de exposição), pelo modo de magnificação do intensificador de imagens, a taxa de “frames”/segundo utilizada no exame, a distância do corpo clínico em relação ao sistema emissor, a matriz de “pixels” e também a qualidade do sistema angiográfico.

O fator de conversão kerma no ar/equivalente de dose ambiente adotado pela Portaria 453 de 1998 do Ministério da Saúde^[3] tem o valor fixo de 1,14 Sv/Gy, independente da energia dos raios X. Por outro lado, o Relatório ICRU 57^[2] mostra que esse fator varia com a energia, conforme se vê na Fig. 1, e recomenda que os fatores médios para espectros contínuos sejam determinados por integração ao longo de todo o espectro de energias do feixe. A utilização do valor constante para o fator de conversão, adotado na Portaria MS 453 e incluído automaticamente na conversão de grays para sieverts em alguns medidores de radiação, pode levar a uma subestimativa do equivalente de dose ambiente.

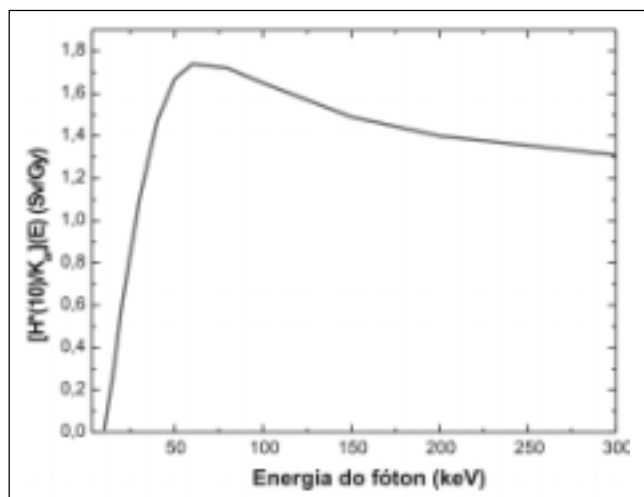


Fig. 1 – Fator de conversão entre kerma no ar K_{ar} (Gy) e equivalente de dose ambiente $H^*(10)$ (Sv) vs. energia do fóton (keV)^[3].

O principal escopo do presente trabalho foi avaliar o valor médio do fator de conversão de kerma no ar para equivalente de dose ambiente $H^*(10)/K_{ar}$ (Sv/Gy) para feixes de raios X utilizados em diagnóstico médico, através da medição do espectro de energias do feixe de radiação,

levando em conta a dependência energética do fator de conversão apontada no relatório ICRU 57.

MATERIAL E MÉTODO

O fator de conversão Sv/Gy foi determinado para feixes primários e para a radiação espalhada em várias direções por um objeto simulador de paciente (“phantom”) de polimetil-metacrilato (PMMA) e alumínio (Al), medindo-se o espectro de raios X para várias tensões de operação de um equipamento Philips MGC40 de potencial constante. A filtração adicional utilizada foi de 3,0 mm Al e o “phantom” foi situado a 1 m do ponto focal do tubo, de modo que o campo de radiação era de 400 cm² na superfície do simulador.

Os espectros foram obtidos utilizando-se um espectrômetro Amptek XR-100CR (Amptek, Inc.), com detector constituído por um fotodiodo de silício do tipo PIN refrigerado por células Peltier, e um analisador multicanal acoplado a um microcomputador. A calibração em energia do sistema foi realizada usando-se fontes radioativas padronizadas. O kerma no ar, em cada caso, foi medido simultaneamente com duas câmaras de ionização Radcal (Radcal Corp.), uma de 6 cm³ para a medição dos feixes primários e outra de 180 cm³ para radiação espalhada. Os feixes espalhados foram medidos a 1 m do centro do espalhador, como ilustra a Fig. 2, e os feixes primários, a 4,24 m do ponto focal, fazendo-se as devidas correções para distância e atenuação no ar. Para todas as condições, o kerma no ar e o espectro medidos foram subtraídos da parcela correspondente à radiação espalhada pelas paredes e outros objetos no laboratório.

Os espectros foram, então, corrigidos em relação à variação da eficiência do detector com a energia dos fótons^[4]. Em seguida, foram convertidos em unidades de fluência para se determinar o kerma no ar; dessa forma, utilizando o fator de conversão Sv/Gy, calcularam-se os respectivos valores do equivalente de dose ambiente. Comparando os resultados obtidos com o fator Sv/Gy constante e dependente da energia do fóton, determinaram-se quais valores para esse fator seriam adequados a cada kVp e ângulo de espalhamento.

RESULTADOS

A Fig. 3 mostra, como exemplo, os espectros corrigidos, na unidade mGy/mAs.keV, obtidos a partir das medições feitas com tensão de 80 kV aplicada ao tubo de raios X. A Tabela 1 mostra os valores médios obtidos para o fator de conversão Sv/Gy adequados a cada configuração de medida.

Fig. 2 – Montagem experimental utilizada para a medição dos espectros dos feixes espalhados pelo “phantom” de PMMA, mostrando o tubo de raios X Philips, o espectrômetro Amptek XR100CR, a câmara de ionização Radcal e a câmera de vídeo Sony para a monitoração externa da leitura do eletrômetro.

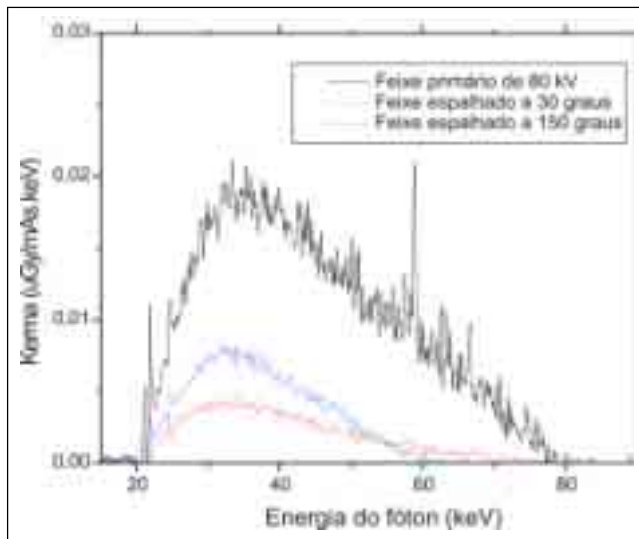


Fig. 3 – Espectros obtidos experimentalmente para os feixes primário e espalhado a 30 e 150 graus, para tensão nominal no tubo de 80 kV, após correção dos dados em função da eficiência de detecção^[4] em mGy/mAs.keV.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o valor médio do fator de conversão $H^*(10)/K_{ar}$ (Sv/Gy) difere do valor constante de 1,14, recomendado pela Portaria 453 do Ministério da Saúde, entre -17% e +30%, dependendo da energia máxima do espectro de radiação X, conforme os resultados publicados no ICRU 57^[2].

TABELA 1 – Valores médios do fator de conversão Sv/Gy determinados experimentalmente para cada ângulo de espalhamento e tensão aplicada ao tubo, tanto para os feixes primários quanto para os espalhados, levando em conta, nos cálculos, a dependência energética do fator de conversão.

kVp (kV)	Feixe primário	Ângulos de espalhamento		
		30°	60°	90°
40	1,070	1,021	1,034	0,948
50	1,218	1,151	1,175	1,088
60	1,307	1,201	1,330	1,182
70	1,364	1,312	1,333	1,265
80	1,483	1,377	1,386	1,321
90	1,483	1,419	1,417	1,361

CONCLUSÕES

Diferentes fatores de conversão entre kerma no ar e equivalente de dose ambiente devem ser utilizados na prática do levantamento radiométrico e na avaliação da taxa de kerma no ar no corpo clínico em exames fluoroscópicos e angiográficos, realizados com câmaras de ionização, levando em conta a energia máxima do espectro de radiação X, evitando subestimar os valores determinados para o equivalente de dose ambiente. Sugere-se a utilização dos valores apresentados na Tabela 1. As diferenças nos valores medidos podem ser bastante significativas, por exemplo, para valores próximos aos limites de dose permitidos.

Agradecimentos

Agradecemos à mestra em tecnologia nuclear Patrícia Lammoglia, pelas contribuições e sugestões elucidativas. Este trabalho teve apoio parcial da Fapesp e do CNPq.

REFERÊNCIAS

1. Lammoglia P. Elaboração e implementação de testes de controle de qualidade em equipamentos de angiografia por subtração digital. (Dissertação de mestrado). São Paulo: Ipen/CNEN-SP, 2001.
2. International Commission on Radiation Units and Measurements. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Bethesda, MD: ICRU Report 57, 1998.
3. Ministério da Saúde do Brasil, Portaria Ministerial 453. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Diário Oficial da União, 2 de junho de 1998.
4. Terini RA, Costa PR, Furquim TAC, Herdade SB. Measurements of discrete and continuous X-ray spectra with a photodiode at room temperature. *Appl Rad Isot* 1999;50:343-53.

Abstract. *Air kerma conversion factor/ambient dose equivalent for x-rays: study of the energy dependence within the radiodiagnostic range.*

OBJECTIVES: We evaluated the energy dependence of the conversion factor from air kerma to ambient dose equivalent for x-ray equipment used for medical diagnosis through the measurement of the energy spectra. **METHOD:** The conversion factor Sv/Gy was determined for the primary beam and the radiation was scattered on a patient equivalent phantom. The x-ray spectrum was then measured at several operation potentials of a constant potential Philips equipment. Spectra were obtained using an Amptek spectrometer with a cooled PIN photodiode. **RESULTS:** The Sv/Gy conversion factor was up to 30% different from the constant value 1.14, recommended by the regulation no. 453 from the Ministry of Health, in agreement with the published results from ICRU Report 57. **CONCLUSION:** Different conversion factors should be used in practical radiometric surveys, made with ionization chambers, taking into account the maximum x-ray spectrum energy, avoiding underestimation of the determined dose.

Key words: Conversion factor; Ambient dose equivalent; Air kerma; X-ray energy spectra; PIN photodiode; Dosimetry.
