

# DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CONVERSÃO MÉDIOS ENTRE KERMA NO AR E $H^*(10)$ USANDO FEIXES DE RAIOS X PRIMÁRIOS, SECUNDÁRIOS E TRANSMITIDOS NA FAIXA DE ENERGIA DA RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA

Josilene C. Santos<sup>1</sup>; Alejandro H.L. Gonzalez<sup>1</sup>, Paulo R. Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

**Resumo:** A regulamentação brasileira adota o valor 1,14 Sv/Gy como único coeficiente para converter o kerma no ar na grandeza operacional equivalente de dose ambiente,  $H^*(10)$ , desconsiderando a sua dependência com a qualidade do feixe de raios X. No presente estudo foram calculados coeficientes de conversão médios a partir de feixes de raios X primários, secundários e transmitidos através de placas de argamassa baritada comumente utilizadas em blindagens de instalações radiográficas, a fim de se obter uma estimativa mais realista de valores de  $H^*(10)$ . A ponderação dos coeficientes de conversão correspondentes a feixes monoenergéticos com a distribuição de energia do espectro em termos de kerma no ar foi usado para calcular os coeficientes de conversão médios. A diferença máxima entre os coeficientes de conversão obtidos e o valor constante recomendado na regulação nacional é de 53,4%. A conclusão, com base nestes resultados, é que o coeficiente de conversão constante não é adequado para derivar a grandeza  $H^*(10)$ .

**Palavras-chave:** Equivalente de dose ambiente, kerma no ar, espectros de raios X, coeficientes de conversão médios.

**Abstract:** *Brazilian regulation establishes 1.14 Sv/Gy as unique conversion coefficient to convert air-kerma into the operational quantity ambient dose equivalent  $H^*(10)$  disregarding its beam quality dependence. The present study computed mean conversion coefficients from primary, secondary and transmitted x-ray beams through barite mortar plates used in shielding of dedicated chest radiographic facilities in order to improve the current assessment of  $H^*(10)$ . To compute the mean conversion coefficients, the weighting of conversion coefficients corresponding to monoenergetic beams with the spectrum energy distribution in terms of air-kerma was considered. The maximum difference between the obtained conversion coefficients and the constant value recommended in national regulation is 53.4%. The conclusion based on these results is that a constant coefficient is not adequate for deriving the  $H^*(10)$  from air-kerma measurements.*

**Keywords:** *ambient dose equivalent, air-kerma, x-ray spectra, conversion coefficients.*

**Introdução:** A grandeza operacional equivalente de dose ambiente,  $H^*(10)$ , é adotada no Brasil como grandeza de referência para estabelecer limites de restrição de dose e para cálculo de blindagem em salas que utilizem equipamentos de diagnóstico por imagem com raios X [1]. A calibração de monitores de radiação para representar suas leituras na grandeza  $H^*(10)$ , por sua definição formal, deve fazer uso de feixes alinhados e expandidos [2], o que resulta em uma complexidade no processo de calibração. Para facilitar a determinação da grandeza  $H^*(10)$  usa-se a grandeza dosimétrica kerma no ar que pode ser correlacionada com o  $H^*(10)$  por meio de coeficiente de conversão. Coeficientes de conversão para feixes monoenergéticos foram publicados no *report 57* da ICRU [3] os quais apresentam uma dependência evidente com a energia do feixe. Por outro lado, a regulamentação brasileira [1] estabelece o valor de 1,14 Sv/Gy como único coeficiente de conversão entre o kerma no ar e  $H^*(10)$  desconsiderando a dependência do coeficiente com a qualidade do feixe em consideração. O *report 57* do ICRU recomenda que, para feixes polienergéticos, a correta estimativa do  $H^*(10)$  a partir do kerma no ar deve ser feita usando coeficientes de conversão médios obtidos ponderando os coeficientes correspondentes a feixes monoenergéticos com a distribuição energética dos fótons do feixe em consideração. O trabalho prévio do Kharrati e Zarrad [4] determinou coeficientes de conversão médios para feixes de raios X primários obtidos a partir de modelos matemáticos polinomiais. No presente trabalho, foi desenvolvida uma metodologia

experimental para as medições de espectros primários [5], secundários e transmitidos [6] através de placas de argamassa baritada visando determinar os respectivos coeficientes de conversão médios. A montagem experimental tentou reproduzir salas de radiologia convencional dedicadas a exames de tórax. A argamassa baritada foi escolhida por ser um material comumente usado no Brasil como material de blindagem em salas de radiologia convencional. A diferença máxima entre o coeficiente de conversão médio calculado e 1,14 Sv/Gy é de 53,4%.

**Método:** No presente trabalho, a formulação de Kharrati e Zarrad [4] foi adequada para determinar coeficientes de conversão médios a partir de espectros experimentais expressados em termos do kerma no ar. A equação 1 mostra a formulação usada.

$$\bar{C}_k = \frac{\int_0^{E_{max}} C_k(E) \Phi(E, \theta) E \left( \frac{\mu_{ab}(E)}{\rho_{ar}} \right) \exp(-\mu(E)x) dE}{\int_0^{E_{max}} \Phi(E, \theta) E \left( \frac{\mu_{ab}(E)}{\rho_{ar}} \right) \exp(-\mu(E)x) dE} \quad (1)$$

Na equação (1),  $C_k(E)$  são os coeficientes de conversão da Tabela A.21 do ICRU 57.  $\Phi(E, \theta)$  é o espectro de fluência de fótons definido como a fluência de fótons de energia  $E$  a um ângulo de espalhamento  $\theta$  por intervalo de energia. Para um espectro primário,  $\theta=0$ . O termo  $\mu_{ab}(E)/\rho$  é o coeficiente mássico de absorção de energia. A função  $\exp(-\mu(E)x)$  expressa o fator de atenuação correspondente à espessura  $x$  de uma placa de argamassa baritada com coeficiente de atenuação total  $\mu(E)$ . A montagem experimental usada para medir os espectros de raios X visou com reproduzir adequadamente uma sala de raios X convencional dedicada a exames de tórax. A radiação primária emitida por um tubo de raios X Philips modelo MCN 421 atingiu um objeto simulador antropomórfico Rando® Man (Alderson Research Laboratories, USA) para produzir a radiação transmitida e espalhada pelo simulador. A câmara de ionização Radcal modelo 10x5-1800 (Radcal Co., Monrovia, CA) e um detector de CdTe (Amptek Inc., Bedford, MA, USA) foram usados para medir o kerma no ar e a distribuição energética dos fótons, respectivamente, para cada tipo de feixe. Placas de argamassa baritada foram usadas como simuladores de blindagens em salas de radiologia convencional.

**Resultados:** A Figura 1 mostra os coeficientes médios calculados a partir de espectros primários, secundários e transmitidos em função da energia média do espectro. A incerteza correspondente a cada coeficiente foi determinada considerando a distribuição de Poisson para cada canal dos espectros correspondentes.

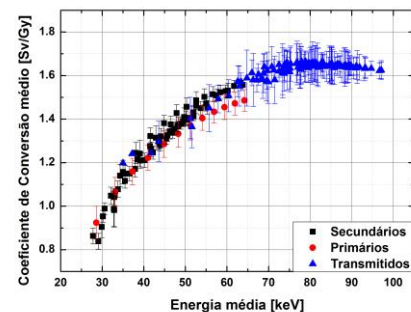


Figura 1 – Coeficientes de conversão médios.

**Discussão e Conclusões:** Coeficientes de conversão médios foram calculados a partir de espectros de raios X experimentais. Os resultados mostram uma forte dependência do coeficiente em função da energia média e da qualidade do feixe, isto significa que o melhor método a ser usado para estimar o  $H^*(10)$  deve considerar a qualidade do feixe correspondente. Portanto, valores de  $H^*(10)$  estimados utilizando o coeficiente 1,14 Sv/Gy não representa adequadamente o  $H^*(10)$  a ser usado para verificar a conformidade de blindagens em salas de radiologia convencional.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem o suporte parcial do INCT de Metrologia das Radiações na Medicina (CNPq e FAPESP) e do Programa de Excelência Acadêmica (Proex) da Capes por financiar a bolsa de mestrado.

**Referências:**

1. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde. Portaria n. 453, de 1 de junho de 1998. Brasil, 1998.
2. ICRU 51. Quantities and units in radiation protection dosimetry. Bethesda, MD, 1993.
3. ICRU 57. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Bethesda, MD, 1998.
4. Kharrati H, Zarrad B, Computation of conversion coefficients relating air-kerma to  $H_p(0.07)$ ,  $H_p(10)$  and  $H^*(10)$  for x-ray narrow spectrum from 40 to 140 kV. Med Phys. 2004; 31(2): 277-284.
5. Santos JC, Mariano L et al. Evaluation of conversion coefficients relating air-kerma to  $H^*(10)$  using primary and transmitted x-ray spectra in the diagnostic radiology energy range. J Radiol Prot. 2016; 36: 117-132.
6. Lopez AH. Estudo experimental das relações entre kerma no ar e equivalente de dose ambiente em barreiras secundárias de salas radiológicas. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo. Instituto de Física da Universidade de São Paulo; 2014.