

Coeficientes de Transferência de Energia em Massa para Raios X-Ar: A Relação kV e Energia Efetiva

Teixeira GJ^{1,2}, Sousa CHS¹, Peixoto JGP¹

¹ Instituto de Radioproteção e Dosimetria; ² Universidade Estácio de Sá

E-mail: gt@ird.gov.br

Resumo: O objetivo do trabalho foi determinar, através de software específico, os coeficientes de transferência de energia em massa referentes a feixes de raios X-ar de 30 a 150 kV. Foram gerados, através do programa *Spectrum Processor*, os espectros e calculados os respectivos coeficientes mássicos. Os resultados encontrados se comportaram numericamente de forma decrescente, variando de 0,3733 e 0,0439 cm²/g, inversamente proporcionais à tensão, diferindo do comportamento de feixes monos-energéticos acima de 100 keV. Os valores se alinham às definições literais da interação da radiação com a matéria, sendo úteis para dosimetria, inclusive por sistemas que não utilizam câmara de ionização.

Palavras-chave: Kerma no Ar, Coeficiente Mássico, Câmara de ionização.

Abstract: The objective was to determine, through specific software, the mass-energy transfer coefficients by X-ray beams in air between 30-150 kV. Were generated by the Spectrum Processor program, the spectra and calculated their mass coefficients. The results behaved numerically decreasing order, ranging between 0.3733 and 0.0439 cm²/g, inversely proportional to the voltage used and differing behavior of mono-energetic beams above 100 keV. Values align with literal definitions of the interaction of radiation with matter, being useful for dosimetry in diagnostic radiology, including for systems not using an ionization chamber.

Keywords: Air Kerma, Mass Coefficient, Ionizing chamber.

1. INTRODUÇÃO

O Kerma no ar de Entrada na Superfície e o Kerma no Ar Incidente são grandezas derivadas da grandeza Kerma no Ar (IAEA, 2007), sendo ótimas para relacionar o desempenho do equipamento e doses praticadas no serviço de radiodiagnóstico.

O objetivo desse trabalho foi determinar os coeficientes de transferência de energia em massa para espectros de raios X, variando de 30 a 150 kVp.

Coeficientes mássicos raios X-ar para fontes multi-energéticas não foram contemplados pelos estudos de Attix (1986), restando como referência apenas coeficientes para fontes mono-energéticas e razões de coeficientes água-ar para raios X (Peixoto & Andreo, 2000; Teixeira, 2013 abud IAEA-CIT 277, 1990).

A determinação dos coeficientes de transferência de energia em massa é de grande relevância, pois alguns sistemas não utilizam a câmara de ionização como detector. Alguns conjuntos dosimétricos utilizam detectores de estado sólido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

A determinação dos coeficientes foi realizada com o *Spectrum Processor* (Teixeira, 2013 abud IPPEM, 1997), que é um software capaz de gerar espectros de raios X, fornecendo a fluência de fótons (fótons/ mAs mm²) com intervalos de 0,5 keV, a partir de informações físicas pré-arquivadas na matriz, variando do zero até a energia máxima do feixe. Além do espectro para cada tensão, o programa fornece também o Kerma no Ar por mAs a 75 cm do ponto focal por kVp selecionado e energia principal para cada feixe.

O programa foi desenvolvido pelo Instituto de Física e Engenharia na Medicina (IPPEM, de *Institute of Physics and Engineering in Medicine*). A interface do Software permite inserir dados como kVp, filtração total, angulação do ânodo, Tensão de Ripple e material alvo; permite ainda, salvar o espectro gerado em outros formatos, para dessa forma, exportar o arquivo para planilhas eletrônicas. A utilização do programa exige um sistema operacional Windows 16 ou 32 bit, configurado para idioma local em inglês americano.

2.2. Métodos

Foram gerados, através do *Spectrum Processor*, 13 espectros variando de 10 em 10 unidades, sendo de 30 à 150 kVp e obtidos os valores de Kerma no Ar correspondentes; a distância do ponto focal ao ponto de medição foi estabelecido como 100 cm; filtração com 2,5 mmAl e angulação anódica de 20°. Os dados foram exportados para uma planilha eletrônica e tratados. O tratamento consistiu em calcular a Fluência de Energia através de (1), onde foi determinada a fluência de energia para cada energia constante dos espectros. O segundo tratamento foi a determinação da fluência total de energia através de (1), pela integração dos termos.

$$\psi_E = \int E \phi_E \quad (1)$$

Os coeficientes para cada tensão do tubo, no intervalo de 30 a 150 kVp, foram calculados através do Kerma no Ar e, a fluência total de energia por (2). Os coeficientes encontrados foram comparados com os coeficientes presentes em Attix (1986) e interpolados por Oliveira (Teixeira, 2013 abud Oliveira, 2011).

$$K = \int_{E=0}^{E_{\max}} \psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z} \quad (2)$$

A Dose Absorvida foi considerada igual ao Kerma, devido à baixa contribuição do componente de Kerma de radiação (K_r) para as faixas de energias do espectro de radiodiagnóstico, onde a diferença entre μ_{tr}/ρ e μ_{en}/ρ é desprezível.

3. RESULTADOS

Os coeficientes de transferência de energia em massa gerados são apresentados na figura 1 em função da energia principal do feixe e a DDP nominal virtual do *Spectrum Processor*. A comparação com os valores presentes em Attix (1986) e Oliveira (2011) são apresentados na tabela 1. A diferença entre os valores deste trabalho e os presentes em Attix é demonstrada, porém as fontes radioativas utilizadas na metodologia descrita pelo Autor são pontuais e monoenergéticas.

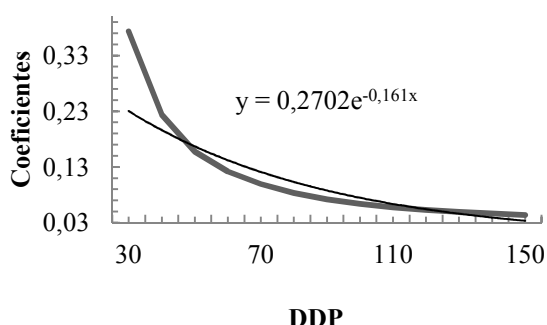


Figura 1 - Coeficientes teóricos de transferência de energia em massa para o ar.

4. DISCUSSÃO

Pode ser observado que os valores de coeficientes mássicos encontrados neste trabalho se comportam de maneira decrescente quanto maior é a tensão no tubo. Esse comportamento está atribuído ao fato de quanto maior a energia média do feixe, menor é a deposição de dose num mesmo ponto no ar e isto se repetiria, inclusive, para materiais com outras densidades, ou seja, a maior contribuição de dose depositada vai

ocorrendo em pontos geometricamente além dos limites do ponto de medição inicial.

Oliveira (Teixeira, 2013 abud Oliveira, 2011) obteve os coeficientes de transferência de energia em massa por interpolação linear dos valores de Attix. Os resultados de Oliveira são aceitáveis tendo em vista a falta de coeficientes de espectros multi-energéticos na Literatura.

Tabela 1 - Comparação entre os valores deste trabalho, Attix e os valores interpolados por Oliveira.

Energia Principal (keV)	DDP (kV)	μ_{tr}/ρ		Energia (keV)
		Teixeira, Sousa & Peixoto	Attix	
23,1	30	0,3733	0,1480	30
27,8	40	0,2233	0,0668	40
31,8	50	0,1575	0,0406	50
35,4	60	0,1219	0,0305	60
38,7	70	0,0997	*0,0274	70
42,2	80	0,0833	0,0243	80
45,4	90	0,0717	*0,0238	90
48,3	100	0,0636	0,0234	100
51,0	110	0,0575	*0,0237	110
53,5	120	0,0529	*0,0240	120
55,8	130	0,0493	*0,0244	130
58,1	140	0,0463	*0,0247	140
60,3	150	0,0439	0,0250	150

* valores encontrados por interpolação linear realizada por Oliveira (2011) à partir dos coeficientes de Attix (1986).

Os valores presentes em Attix também demonstram um comportamento decrescente quanto maior é a energia do feixe, porém para o feixe de 150 keV, o coeficiente apresenta um aumento de 0,0016 cm²/g em relação ao feixe de 100 keV (tabela 1). Esse incremento de ação contrária ao espectro de raios X ocorre devido à possível contribuição do componente kerma radiativo (K_r). Em raios X convencional a energia máxima do feixe ocorre com baixíssima intensidade, enquanto para um feixe monoenergético, 100% dos fótons, obviamente, são de mesma energia e a probabilidade de

espalhamento Compton aumenta para energias superiores a 100 keV em função do número atômico do material absorvedor, nesse caso, o ar.

As interpolações lineares de Oliveira (tabela 1) mostram o mesmo comportamento decrescente para 70 keV, 90 keV e 110 keV, porém entre 110 keV e 140 keV, o comportamento crescente (incremento) supracitado, volta a se repetir, trazendo assim, uma maior confiabilidade nos resultados das interpolações lineares realizadas pelo Autor.

Peixoto e Andreo (2000) compararam as razões ar-água dos coeficientes de absorção de energia em massa de alguns trabalhos na faixa de 10 a 160 kV. O comportamento decrescente e posterior aumento também podem ser observados, porém o incremento começa a ocorrer a partir de 2 mmAl de HVL, ou seja, aproximadamente 70 kV, segundo os protocolos analisados pelos Autores.

Nos trabalhos apresentados na tabela 3 (Attix e Oliveira), o incremento passa a ocorrer a partir de aproximadamente 100 keV, porém em Peixoto e Andreo, esse comportamento é antecipado. Esse fenômeno é atribuído à inserção do componente água na relação, pois dessa maneira o componente Kerma de colisão (K_c) aumenta, devido ao aumento de densidade de um dos materiais envolvidos na medição, concordando assim, com a equação 3.

5. CONCLUSÕES

Os coeficientes gerados se comportaram de forma esperada para um feixe de raios X diagnóstico, ou seja, apresentou comportamento decrescente em seus valores com o aumento da DDP. Em trabalhos que apresentam feixes monoenergéticos como referência, deve-se ter critério na inserção desses coeficientes, pois dessa forma, outros efeitos para um mesmo ponto

de medição podem surgir, aumentando a incerteza do resultado e obviamente o ponto exato de medida, devido a uma deposição de dose não focal para faixas de energia maiores que 100 keV.

Não se pode considerar que os coeficientes de transferência de energia em massa para feixes monoenergéticos sejam iguais aos coeficientes de absorção de energia em massa, devido aos elétrons secundários e deposição de energia “não-local” para os níveis de energias “superiores” (≥ 100 keV). Recomenda-se calibração adequada para câmaras ou outros sistemas dosimétricos de uso clínico (radiodiagnóstico) para feixes com energias superiores a 90 keV e/ou tensão superior a 90 kV. É necessária a correta modelagem da camada de build up, para dessa forma obter o equilíbrio eletrônico desejado.

REFERÊNCIAS

ATTIX F. H., 1986, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, New York, Ed. John Wiley&Sons Inc.

IAEA, International Atomic Energy Agency, 2007, Dosimetry in Diagnostic Radiology: an international code of practice In: Technical Reports Series nº 457, Vienna.

PEIXOTO J. G. & ANDREO P., 2000, Determination of absorbed dose to water in reference conditions for radiotherapy kilovoltage x-rays between 10 and 300 kV: a comparison of the data in the IAEA, IPEMB, DIN and NCS dosimetry protocols, Phys. Med. Biol. 45, pp. 563-575.

TEIXEIRA G. J., 2013, Coeficientes de Transferência de Energia em Massa para Raios X Diagnóstico: Determinação e Análise, dissertação de mestrado, IRD, Rio de Janeiro.