

AVALIAÇÃO DE INCERTEZA NO KERMA NO AR, EM RELAÇÃO AO VOLUME ATIVO DA CAMARA DE IONIZAÇÃO DE CILINDROS CONCÊNTRICOS, POR SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.

Lo Bianco A. S., Oliveira H. P. S., Peixoto J. G. P.

LNMRI/IRD/CNEN, Rio de Janeiro, Brasil, abianco@ird.gov.br

Sumário: Com o objetivo de implantar o padrão primário da grandeza kerma no ar para raios x entre 10 - 50 keV, o Laboratório Nacional de Metrologia em Radiações Ionizantes (LNMRI) deve avaliar todas as incertezas de medição relacionadas com a câmara *Victtoren*, para tal foi avaliada a incerteza no kerma no ar decorrente a imprecisão no volume ativo da câmara usando como ferramenta o cálculo de Monte Carlo através do software PENELOPE.

Palavras-chave: PENELOPE, câmara de ionização, raios x.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos a equipe do LNMRI vem trabalhando para determinar de forma absoluta a grandeza kerma no ar através da implantação da câmara de ionização de ar livre de cilindros concêntricos como um padrão primário para raios x na faixa de 10 – 50 keV.

O kerma no ar é a grandeza difundida pelos protocolos internacionais de dosimetria, como o IAEA/TRS457 e o IEC 61267, usado como indicador de exposição à radiação, e consequentemente como nível de referência na indústria e na medicina.

Além das incertezas no posicionamento e alinhamento da câmara, posição do alvo, espalhamento no obturador e nas laterais dos colimadores, saturação na ionização do ar, umidade e densidade do ar; é necessário verificar a incerteza decorrente da imprecisão no volume ativo da câmara. Como não podemos isolar fisicamente o volume ativo da câmara, a simulação por Monte Carlo é, ate hoje, a melhor opção para a determinação de tais incertezas.

Os valores do kerma no ar foram obtidos através de simulação computacional com auxílio do software PENELOPE, PENetration and Energy LOSS of Positrons and Electrons (2006)¹. Primeiramente foram gerados espectros compatíveis com o arranjo experimental do LNMRI e com as recomendações da norma IEC 61267 (2005)².

Os espectros gerados pelo PENELOPE foram validados por comparação a catálogos de espectros ou publicações

científicas e posteriormente serviram para a simulação da irradiação do volume ativo.

É comum na literatura que incertezas como essa sejam avaliadas utilizando simulações de feixes monocromáticos, como em T. W. M. Grimbergen (1998)³ ou Uei-Tyng Lin (2005)⁴. Esperamos que com a simulação de um espectro contínuo, os resultados obtidos estejam mais próximos do caso real.

Para gerar os espectros um tubo de raios x, *Panalitical*, existente no LNMRI, serviu de modelo para a simulação. Sua geometria e seu funcionamento foram modelados no PENELOPE e os espectros gerados foram validados, por comparação, com outros encontrados na literatura como os encontrados no *Catalogue of Diagnostic X-ray Spectra and Other Data* (1997)⁵ e Albuquerque (2008)⁶.

1.1 INTRODUÇÃO TEÓRICA

A grandeza dosimétrica *kerma no ar* (K) é definida como o quociente entre a energia cinética inicial das partículas carregadas $d\epsilon$, geradas pela interação de radiação não carregada com a quantidade de matéria dm .

$$K = \frac{d\epsilon}{dm} \quad (1)$$

Para determinar essa incerteza no kerma no ar, foi simulada a irradiação de diferentes volumes ativos, gerados pelas incertezas encontradas Cardoso R. S. (2005)⁷.

1.2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é obter a incerteza no kerma no ar decorrente da incerteza no volume ativo da câmara de ionização de cilindros concêntricos, numa das qualidades de referência.

2. MÉTODO

Uma câmara de ar livre *Victtoren* de cilindros concêntricos modelo 481 e o tubo de raios x *Panalitical* modelo PW-2185/00, existentes no LNMRI, foram

utilizados como protótipos para simulação. Tal arranjo se encontra compatível com as recomendações da norma IEC61267.

2.1 AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS NO VOLUME ATIVO

Em Cardoso R. S. (2005) a câmara foi estudada, Fig. 1, e dimensionada, tais medidas serviram como referência para o presente trabalho.

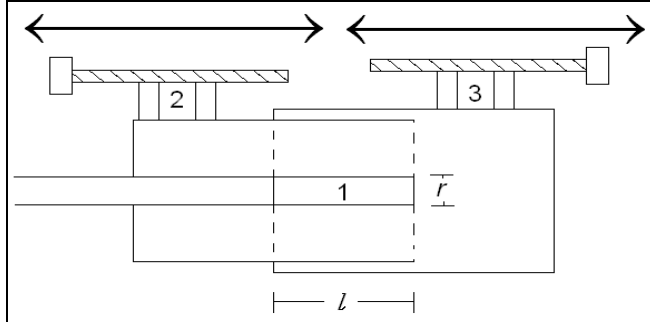


Fig. 1. Esquema dos cilindros concêntricos da câmara de ionização; volume ativo (1); cabeças micrométricas (2 e 3); comprimento do volume ativo (l) e raio do obturador (r).

Como o volume de interesse é cilíndrico, as fontes de incertezas no volume são decorrentes da incerteza no raio do obturador da câmara (r) e no comprimento do volume de interesse (l), onde o parâmetro l é composto da soma quadrática das indicações das duas cabeças micrométricas da câmara. Tais incertezas foram tratadas como incertezas do tipo B. Seus valores e suas incertezas foram obtidos em Cardoso e estão listados na Tabela 1. O fator de abrangência é para tais incertezas é 2.

Tabela 1. Dados dos volumes de interesse.

Fonte de Incerteza	Valor	Incerteza Padrão (U)
r	2,000 mm	0,0019 mm
l_c	5,002 mm	0,008 mm
l_e	80,007 mm	0,006 mm

As incertezas nas cabeças micrométricas devem ser combinadas para encontrar a incerteza no comprimento do volume ativo. Tais incertezas são não-correlacionadas, portanto:

$$u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (2)$$

, onde u_1 e u_2 são as incertezas padrão, nas cabeças micrométricas e u_c é incerteza padrão combinada no comprimento do volume ativo. A incerteza expandida ($k=2$) calculada para comprimento do cilindro é:

$$U_l = 0,010\text{mm.}$$

Para combinar as incertezas no comprimento do volume ativo com a incerteza no raio do obturador, temos:

$$u_c^2 = \left(\frac{\partial V}{\partial X_l} u_l(X_l) \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial X_r} u_r(X_r) \right)^2 \quad (3)$$

, onde V é o volume do cilindro, u_l e u_r são as incertezas padrão no comprimento e no raio do volume ativo.

Foram gerados oito volumes ativos diferentes e foi simulada a irradiação de tais volumes. Os volumes simulados e suas incertezas estão listados na tabela 2.

Tabela 2. Volumes simulados.

Referencia	l (mm)	Volume (mm^3)	Incerteza no volume (mm^3)
5	10.004	125.71	0.14
10	20.008	251.43	0.26
15	30.012	377.14	0.38
20	40.015	502.84	0.51
25	50.019	628.56	0.63
30	60.023	754.27	0.76
35	70.027	879.99	0.88
40	80.007	1005.4	1.00

2.2 RELAÇÃO ENTRE O VOLUME E ENERGIA

O programa PELELOPE fornece os valores de kerma por historia simulada (h). Podemos escrever o elemento infinitesimal de massa dm da equação (1), em função de um volume dV . Assim temos:

$$k = \frac{dE}{dm} = \frac{dE}{\rho dV} \quad (4)$$

A relação entre a incerteza no volume e a incerteza no kerma no ar é dada por:

$$u_k^2 = \left(\frac{\partial k}{\partial v} u_v \right)^2 = \left(k \frac{1}{V} u_v \right)^2 \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras simulações encontram os valores de dose descritos na tabela 3 e foram plotados na figura 2. As unidades de dose e de incerteza são normalizadas pelo número de historias simuladas (h).

Tabela 3. Kerma e volumes.

Volume (mm^3)	Kerma (eV/h)	Incerteza no kerma (eV/h)
125.71	49.50	0.05
251.43	49.00	0.05
377.14	48.50	0.05
502.84	48.00	0.05
628.56	47.50	0.05
754.27	47.00	0.05
879.99	46.50	0.05
1005.4	46.00	0.05

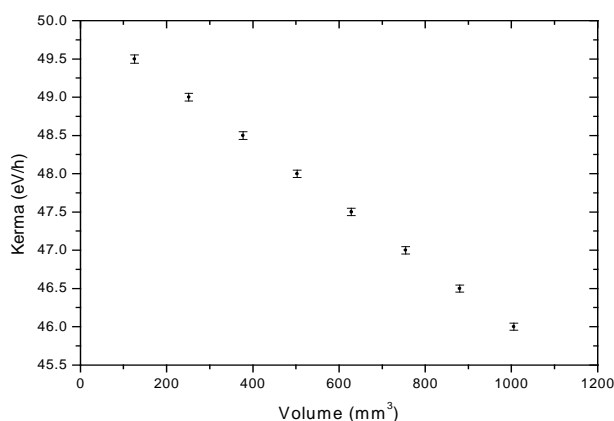


Gráfico 1: Valores do kerma obtidos na simulação para os respectivos volumes. A barra de erro representa as incertezas encontradas nos respectivos volumes.

As incertezas encontradas no kerma no ar decorrentes da imprecisão no volume ativo da câmara de ionização de cilindros concêntricos são da ordem de 0.1%.

4. CONCLUSÃO

As incertezas referentes ao volume ativo foram estimadas e apesar de muito pequenas, 0.001%, foi encontrada uma incerteza nas doses em torno de 0.1%. Assim, além das incertezas no posicionamento e alinhamento da câmara, posição do alvo, espalhamento, densidade do ar, entre outras; é necessário que a incerteza decorrente da imprecisão no volume ativo da câmara também seja considerada.

REFERENCIAS

PENELOPE: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport (2006) – *Facultat de Física (ECM) – Universitat de Barcelona*

IEC 61267 – Equipement de diagnostic medical à rayonnement x – conditions de rayonnement pour utilisation dans la détermination des caractéristiques (2005).

T. W. M. Grimbergen, Evan Dijk and Wde Vries – Correction factors for the NMi free-air ionization chamber for medium-energy x-ray calculated with the monte carlo method – *Phys. Med. Biol.* 43 (1998).

Uei-Tyng Lin and Chien-Hau Chu – Correction factors for the INER-improved free-air ionization chambers calculated with the Monte Carlo method (2005) - *Applied Radiation and Isotopes*

Catalogue of Diagnostic X-ray Spectra and Other Data (1997) – Diagnostic Radiology and Magnetic Resonance Special Interest Group of the Institute of Physics and Engineering in Medicine

Marcos Aurélio Gomes de Albuquerque. “Estudo de Dose e Espectro em Profundidade em um Simulador de mama - utilizando o Método de Monte Carlo –CÓDIGO PENELOPE”. Em publicação.

Cardoso R. S. “Teste de Desempenho para Implantação de um Padrão Primário de Feixes de Raios x de Baixa Energia”. IRD/CNEN.

Armando Albertazzi G. Jr., André R. de Sousa. “Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial”. Ed. Manole.