



PARTICIPAÇÕES DO LNMRI EM COMPARAÇÕES INTERLABORATORIAIS NAS MEDIDAS DE KERMA NO AR E DOSE ABSORVIDA NA ÁGUA UTILIZANDO FEIXES DE CO-60 EM RADIOTERAPIA.

*Cosme Norival Mello da Silva*¹, *Paulo Henrique Gonçalves Rosado*²

¹ Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brasil, cosme@ird.gov.br

² Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brasil, phrosado@ird.gov.br

Resumo: Com o objetivo de garantir que as medidas de uma grandeza tenham alto grau de confiabilidade e rastreabilidade são organizadas comparações interlaboratoriais. O LNMRI tem participado de diversas destas comparações interlaboratoriais. No período de 2000 a 2009 o LNMRI participou de 4 comparações interlaboratoriais para a medida dos coeficientes de kerma no ar e coeficientes de dose absorvida na água. Os resultados das comparações interlaboratoriais indicam que as medidas realizadas no LNMRI estão adequadas com relação à exatidão e a precisão de medição destas grandezas.

Palavras chave: kerma no ar, dose absorvida na água, comparação interlaboratorial.

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes faz parte do sistema Interamericano de Metrologia (SIM), como laboratório designado pelo INMETRO na área de Metrologia das Radiações Ionizantes e é considerado um Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL) pelo Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Para garantir a confiabilidade das medidas realizadas e o respaldo internacional o LNMRI, vem passando ao longo dos anos por auditorias e comparações interlaboratoriais.

Em tais comparações um conjunto de câmaras de ionização e eletrômetros são enviados pelo laboratório piloto para os laboratórios participantes para realizarem as medidas de determinadas grandezas utilizando protocolos específicos [1, 2, 3 e 4]. As grandezas utilizadas nestas intercomparações são o coeficiente de calibração em kerma no ar e o coeficiente de calibração em dose absorvida na água. Depois de realizado as medidas o laboratório envia os resultados ao organizador da intercomparação para avaliação dos resultados.

A corrente de ionização medida é normalizada para condições de referência de temperatura, pressão e umidade relativa de $T = 293,15$ K, $P = 101,325$ kPa e $h = 50$ %. A umidade relativa deve permanecer entre 20% e 80% durante

as medições, caso contrário deve-se aplicar um fator de correção para $h=50\%$.

A dose absorvida na água é o quociente entre $d\bar{\epsilon}$ e dm , isto é, a energia média depositada em um material de massa dm . A dose absorvida na água à profundidade de referência, indicada na figura 1, de 5 g/cm^2 para um feixe de qualidade Q_0 (^{60}Co) e na ausência da câmara é determinada por:

$$D_w(mGy) = M(ue) \cdot N_{D,w}(mGy ue^{-1}) \quad (1)$$

onde $N_{D,w}$ é o coeficiente de calibração do dosímetro padrão

em termos de dose absorvida na água e $M(ue)$ é a indicação de leitura do eletrômetro, em unidade de escala, sob as mesmas condições de referência usadas no laboratório de referência.

O kerma é definido como a soma de todas as energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas pelas partículas não carregadas incidentes em um material de massa dm . O kerma é determinado através da equação:

$$K = M \cdot N_K \quad (2)$$

onde:

K – é o kerma medido em (mGy);

N_K – é o coeficiente de calibração do dosímetro de referência em termos de kerma no ar ($mGyue^{-1}$);

M – é a indicação de leitura do eletrômetro, em unidade de escala (ue).

O coeficiente de calibração, $N_{D,w}$, é o fator multiplicativo que converte o valor de carga indicado pelo dosímetro e dividido pelo tempo, normalizado para as condições ambientais de referência, em taxa de dose absorvida na água, \dot{D}_w , no ponto de medida:

$$N_{D,w}(mGy/ue) = \frac{\dot{D}_w(mGys^{-1})}{M(ue s^{-1})} \quad (3)$$

Uma das suas diretrizes do LNMRI é manter e disseminar a grandeza dose absorvida na água utilizado como padrão nacional na dosimetria em radioterapia. Para

que este padrão seja metrologicamente aceitável sua precisão e exatidão tem que ser aferidas ao longo do tempo

Os padrões de kerma no ar e de dose absorvida na água de um laboratório primário de calibração são usados, a fim de determinar o coeficiente de calibração da câmara de ionização de referência dos laboratórios secundários. Esta câmara de referência, por sua vez, é utilizada na calibração do dosímetro do cliente no laboratório secundário, obtendo-se assim um coeficiente de calibração em termos de kerma no ar ou dose absorvida na água. No entanto, o interesse do cliente no hospital consiste em utilizar este coeficiente de calibração para determinar a taxa de dose absorvida no tumor para feixes de radiação usados na radioterapia.

2. PROCEDIMENTO

Em todas as comparações interlaboratoriais cada câmara de ionização foi posicionada em um ponto de referencia. Para a dose absorvida na água a câmara é colocada em sua luva à prova d'água e posicionada em um *phantom* de dimensões 30 cm x 30 cm x 30 cm. Seu eixo é colocado à profundidade de 5 g/cm² na água (FIGURA 1). A profundidade inclui a janela do *phantom* (PMMA, 1,19 g/cm³). A marca na luva, assim como a da câmara é orientada em direção ao feixe de radiação. Para o kerma no ar não há a necessidade da utilização do *phantom* (FIGURA 2). A distância de referência foi à mesma utilizada pelo laboratório piloto que organizou a comparação e estabeleceu os valores de referencia para a taxa de dose absorvida na água e a taxa de dose absorvida no ar. Os coeficientes de calibração são $N_{dw}=D_w/I_{corr}$ e $N_{Kar}=K_{ar}/I_{corr}$ onde I_{corr} representa a medida da corrente de ionização corrigida por quantidades de influencia.

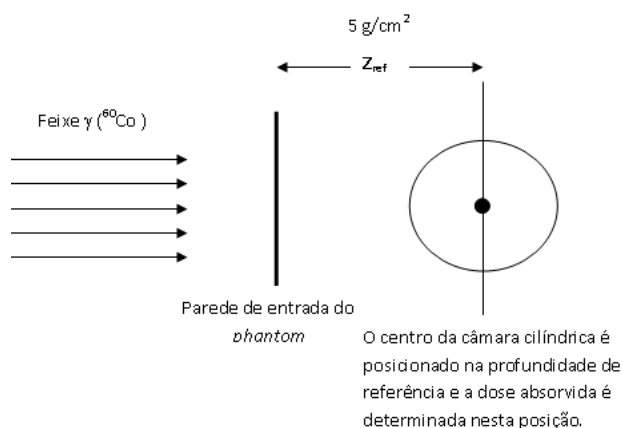


FIG 1-Arranjo para o posicionamento da câmara de ionização para medida da dose absorvida na água.



FIG 2-Posicionamento da câmara em frete ao ⁶⁰Co para medida do kerma no Ar.

A uma distância fonte-superfície de entrada do feixe (DFS) de 100 cm, o feixe de radiação ocupa uma área de 10x10 cm² (figura 3). No centro geométrico deste campo posicionamos o ponto de referência da câmara, figura 1. Ela deve estar com seu eixo de simetria na posição vertical. Um termistor (com leitura externa à sala de irradiação) está instalado na mesa de calibração, colocado dentro de uma câmara de ionização falsa, ao lado da câmara a calibrar e fora do campo de radiação, para simular a temperatura real a ser medida na câmara. A determinação da pressão é feita por um barômetro que fornece a leitura da pressão atmosférica para todo o laboratório.

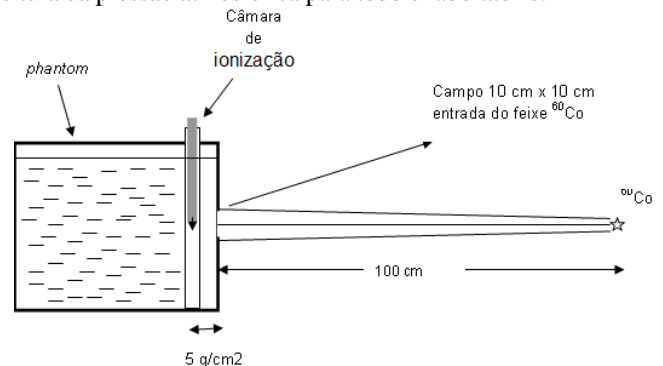


Figura 3-Posicionamento da câmara de ionização para medida da dose absorvida na água.

Para a medida da taxa de kerma no ar, a câmara de ionização é posicionada verticalmente na mesa de calibração através de suportes próprios e centralizada no feixe de radiação, utilizando como referência uma haste de metal (pointer) e uma mira telescópica (o pointer deve estar nivelado). Utilizando-se a mira telescópica, deve-se coincidir a marcação horizontal desta com aquela que costuma vir na capa de equilíbrio eletrônico da câmara.

À distância fonte-câmara correta (100 cm) é obtida, ajustando o traço vertical da mira telescópica com a face da câmara voltada para o feixe. A mesa de calibração é deslocada então em direção a fonte, por um valor igual ao raio da capa de equilíbrio eletrônico. O valor do deslocamento é verificado através do transdutor de posição acoplado a mesa de

calibração. A marca vertical na haste da câmara é orientada em direção ao feixe de radiação.

O LNMRI declara uma incerteza expandida de 1,4% para medida do kerma no ar e 1,5% para a medida de dose absorvida na água, valores estes publicados no CMC. Estas duas grandezas são rastreáveis em relação ao BIPM. As maiores fontes de incertezas na determinação da taxa de dose absorvida na água e kerma no ar são devidas a: coeficiente de calibração do certificado de calibração fornecido pelo BIPM, calibração do eletrômetro, estabilidade da câmara ao longo do tempo, variação da pressão e da umidade, dependência energética e não uniformidade do campo.

Todas as medições efetuadas com uma câmara de ionização não selada devem ser corrigidas para as condições ambientais de referência, utilizando a expressão:

Onde:

$$\phi(P,T) = \left(\frac{273,15+T}{273,15+T_0} \right) \cdot \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (4)$$

Onde

T - é a temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$;

T_0 - é a temperatura de referência em $^{\circ}\text{C}$, usualmente 20°C ;

P - é a pressão ambiente;

P_0 - é a pressão do ar de referência, usualmente 101,325 kPa.

No período de 2000 a 2009 o LNMRI participou de 4 comparações interlaboratoriais para a medida dos coeficientes de kerma no ar e coeficientes de dose absorvida na água.

Entre os anos 2000 a 2002 foram realizadas comparações interlaboratoriais envolvendo seis laboratórios participantes do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM) e a AIEA, sendo o NRC (Canadá) o laboratório piloto responsável pela comparação interlaboratorial. Foram realizadas medidas de kerma no ar e dose absorvida na água em feixes de Co-60. Três câmaras de ionização modelo Exradin A12 seriais 101, 149 e 150 foram utilizadas Tabela 1. Nesta intercomparação cada laboratório utilizou um eletrômetro diferente.

Característica	Valor nominal
Diâmetro interno	6,1 mm
Volume	0,65 cm ³
Voltagem	+300 V
Material da parede	Plástico C552

Tab.1 Principais características da câmara da Exradin A12.

Entre os anos 2005 a 2008 foram realizadas outras comparações interlaboratoriais entre 25 laboratórios da rede EUROMET, sendo o MKEH (Hungria) o laboratório piloto. Foram utilizadas 4 câmaras de ionização: uma câmara NE

2561 serial 084, uma câmara PTW 30001 serial 2118, Uma câmara Wellhoffer FG-65 serial 518 e uma câmara ND 1006 serial 8503 e dois tipos de eletrômetros o PTW UNIDOS 2.30 serial 20381 e o PAM 2001 serial 2306. A tabela 2 mostra as principais características destas câmaras de ionização sendo que a NE2561 e a PTW 30001 são a prova d'água.

Tipo	N _{dw}	Vol. (cm ³)	Voltagem (V)	Material da parede
NE2561	101	0,33	+200	Grafite
PTW3001	54	0,60	+400	PMMA
Wellhoffer	45	0,65	+300	Grafite
ND 1006	120	0,28	+250	Delrin

Tab. 2 Principais características das câmaras de ionização utilizadas.

A taxa de dose dos feixes de ⁶⁰Co nos laboratórios estava na faixa de 0,18 mGy/s a 34,8 mGy/s.

As medidas da corrente de ionização de cada câmara foram realizadas com 2 eletrômetros: PTW UNIDOS 2.30 #20381 e o PAM 2001 #2306. Ambos eletrômetros foram conectados a um notebook e a aquisição de dados foi realizada com seus programas específicos. As leituras de pressão e temperatura realizadas com o PAM 2001, foram obtidas por meio de um barômetro interno e de um sensor de temperatura à prova d'água PT 200, acoplado ao eletrômetro. No caso do PTW UNIDOS, estas medidas foram obtidas externamente. As 4 câmaras foram calibradas usando os 2 eletrômetros. Os programas específicos de cada eletrômetro geraram arquivos textos, que foram armazenados no notebook e puderam ser vistos pelos participantes. Foram também gerados arquivos textos adicionais, contendo todos os detalhes das medidas, que foram armazenados em locais escondidos e acessíveis unicamente pelo laboratório organizador.

Em 2005 foi realizada outra comparação interlaboratorial com a AIEA nas grandezas kerma no ar e dose absorvida na água. Uma câmara de ionização modelo NE-2561 serial 169 foi utilizada em feixes de Co-60. A taxa de dose foi de 360 mGy/min.

Característica	Valor nominal
Volume	0,3 cm ³
Voltagem	200 V
Material da parede	Grafite

Tabela 3. Principais características da câmara de ionização NE - 2561.

Em 2009 foi realizada outra comparação interlaboratorial com a IAEA nas grandezas kerma no ar e dose absorvida na água. Uma câmara de ionização modelo NE-2561 (Tabela 3) serial 287 foi utilizada em feixes de Co-60. A taxa de dose foi de 200 mGy/min.

3. RESULTADOS

Na comparação interlaboratorial do SIM os valores da razão entre o coeficiente de calibração de kerma no ar medido no LNMRI e o coeficiente de calibração de kerma no ar de fornecido pelo NRC foram de 1,000; 0,9985 e 1,0009 para as três câmaras utilizadas. A incerteza expandida destes valores foi de 1,5% para $k=2$. Os valores da razão dos coeficientes de dose absorvida na água medido no LNMRI e o coeficiente de calibração de dose absorvida na água fornecido pelo NRC foram de 1,0144; 1,007 e 1,0136. A incerteza expandida destes valores foi de 1,8% para $k=2$.

Na comparação interlaboratorial com a AIEA em 2005, os valores da razão entre os coeficientes LNMRI/ AEIA foram de 1,00 e 1,00 para kerma no ar e dose na água respectivamente. Os limites considerados toleráveis pela AIEA estão entre 0,985 a 1,015. A incerteza expandida destes valores foi de 1,6% para o kerma no ar e 1,8% para dose na água utilizando $k=2$.

Na comparação interlaboratorial com a AIEA em 2009 os valores da razão entre os coeficientes AEIA/LNMRI foram de 0,998 e 1,000 para kerma no ar e dose na água respectivamente. Os limites considerados toleráveis estão entre 0,985 a 1,015. A incerteza expandida destes valores foi de 1,6% e 1,8% respectivamente para $k=2$.

Na comparação interlaboratorial da EUROMET os valores da razão entre o Kerma no ar medido no LNMRI e o kerma no ar do laboratório responsável foram de 1,003; 1,003; 1,003 e 1,001 para as câmaras NE 2561; PTW 30001; Wellhoffer FG-65 ND 1006 respectivamente. A incerteza expandida destes valores foi de 1,5% para $k=2$. Para medidas da dose na água os valores das razões foram 1,000; 0,998; 1,003; 1,009 para as câmaras NE 2561; PTW 30001; Wellhoffer FG-65 e ND 1006 respectivamente. A incerteza expandida destes valores foi de 1,8% para $k=2$.

A figura 1 mostra a razão entre o coeficiente de kerma no ar medido pelo LNMRI e o coeficiente de kerma no ar do laboratório piloto da comparação interlaboratorial.

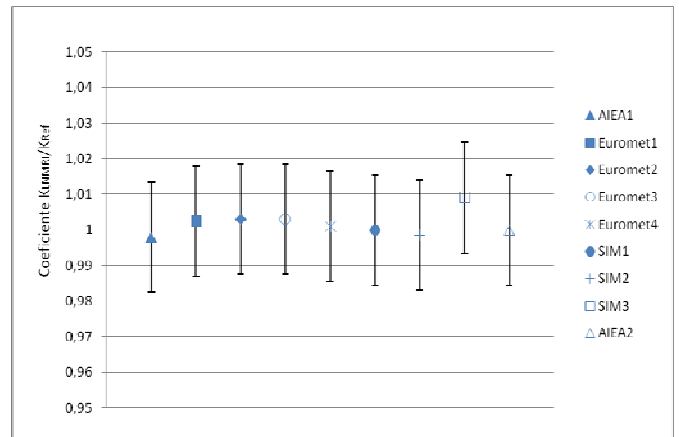


Figura 1- Razão entre os coeficientes de calibração de kerma no ar.

A figura 2 mostra a razão entre o coeficiente de calibração em dose absorvida na água medido pelo LNMRI e coeficiente de calibração em dose absorvida na água medido pelo laboratório piloto para as comparações interlaboratoriais realizadas.

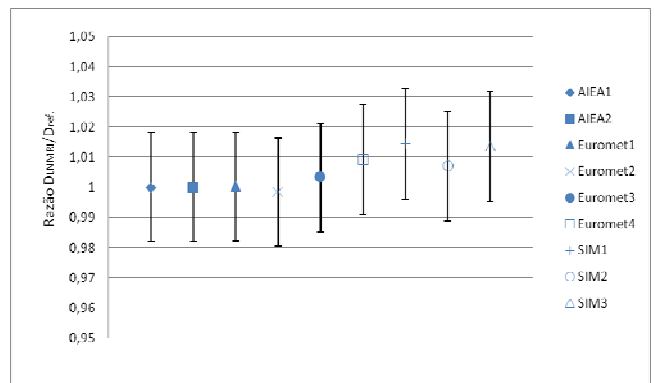


Figura 2 – Razão entre coeficiente de calibração em dose absorvida na água.

4-CONCLUSÃO

Os resultados das comparações interlaboratoriais indicam que as medidas realizadas no LNMRI estão adequadas com relação à exatidão e a precisão de medição destas grandezas. As comparações interlaboratoriais servem de instrumento para garantir e demonstrar a confiabilidade e rastreabilidade das medidas de um laboratório, e o LNMRI alcançou resultados satisfatórios nestas comparações interlaboratoriais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos laboratórios participantes e os laboratórios organizadores (AIEA, NRC e MKEH) e todo o corpo técnico do Instituto de Radioproteção e Dosimetria especialmente aos funcionários do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes.

REFERÊNCIAS

[1] International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. Technical Report Series No. 398. Vienna: IAEA, 2000.

[2] International Atomic Energy Agency. Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy. Technical Report Series No. 469. Vienna: IAEA, 2009.

[3] International Atomic Energy Agency. Measurement Uncertainty . TECDOC 1585. Vienna: IAEA, 2008.

[4] International Commission on Radiological Protection (ICRP), Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. ICRP Publication 60, 1998.