

Confiabilidade metrológica do procedimento de calibração em termos de kerma no ar com a câmara de ionização NE2575

Margarete Cristina Guimarães¹, Paulo H. G. Rosado², Teógenes Augusto da Silva¹

¹ Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, Belo Horizonte ; ² Instituto de Radioproteção e Dosimetria- IRD, Rio de Janeiro

E-mail: margaretecristinag@gmail.com

Resumo: Metrology laboratories are expected to provide X radiation beams that were established by international standardization organizations to perform calibration and testing of dosimeters. Reliable and traceable standard dosimeters should be used in the calibration procedure. The aim of this work was to study the reliability of the NE 2575 ionization chamber used as standard dosimeter for the air kerma calibration procedure adopted in the CDTN Calibration Laboratory.

Key words: reliability of standard dosimeter, air kerma calibration procedure,

1. INTRODUÇÃO

Na área de metrologia das radiações ionizantes, radiações de referência de feixes de raios X e gama foram estabelecidas internacionalmente, para calibração e estudos de dependência energética de dosímetros (ISO, 1996).

A dosimetria das radiações X e gama de referência, é a base para a calibração de instrumentos utilizados na área de proteção radiológica, são realizadas em termos de Kerma no ar, com instrumentos padrões metrologicamente confiáveis e rastreáveis ao sistema internacional de metrologia.

Instrumentos considerados “padrão primário ou nacional” possuem a mais alta qualidade metrológica em um campo de radiação específico e são mantidos em Laboratórios Nacionais para promover a calibração e, conseqüentemente, a rastreabilidade de dosímetros de referência usados no laboratório de calibração de um país (IAEA, 2000)

O Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LCD/CDTN) mantém dosímetros padrões rastreáveis ao Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LNMRI/IRD) para feixe de radiação gama do ^{137}Cs , porém, a rastreabilidade ao LNMRI/IRD para feixes de raios X para fins de calibração no nível de radioproteção ainda não havia sido estabelecida.

O objetivo desse trabalho foi estabelecer a rastreabilidade do dosímetro padrão para radiações X de referência, que foram implantadas no LCD/CDTN, buscando demonstrar a confiabilidade metrológica do procedimento de calibração em termos de kerma no ar.

2. METODOLOGIA E RESULTADOS

A confiabilidade metrológica da câmara de ionização de 600 cc modelo 2575C, série 509 fabricante NE (Nuclear Enterprises) foi avaliada a partir dos testes das medições do valor da corrente de fuga, testes de repetibilidade e estabilidade.

O teste de corrente de fuga avalia a influência da corrente gerada sem a presença de radiação na resposta obtida com o conjunto câmara de ionização e eletrômetro.

A determinação da corrente de fuga da câmara de ionização NE2575 foi feita por meio da medida da carga acumulada em um intervalo de 900 segundos. A corrente de fuga foi calculada pela equação (1), em que valor da carga medida no tempo inicial de zero segundo e o valor da carga medida depois de transcorridos 900 segundos.

(1)

$$I_f = \frac{q_{inicial(t=0)} - q_{final(t=900s)}}{900s}$$

Os valores medidos para a corrente de fuga da câmara de ionização NE2575 durante a realização deste trabalho são mostrados, em função do tempo transcorrido a partir da medida de referência $8,211\text{E}-15$ realizada em 2013.

A análise por meio da média dos valores obtidos nos teste de repetibilidade, ao longo de um tempo, permite que se estabeleça a estabilidade a longo prazo. A norma da ISO 4037-2 estabelece que os limites de variação devem estar dentro de 2%.

O sistema dosimétrico de referência, composto pela câmara de ionização, apresentou-se estável ao longo do tempo e com corrente desprezável de fuga dentro do limite estabelecido de 1% pelo laboratório LCD, isto aumentou a confiabilidade metrológica das medições realizadas.

Nota-se que os valores de corrente de fuga em relação à medida de referência estão bem abaixo dos valores estabelecidos, conforme apresentado na figura 1, o que demonstra uma boa estabilidade na corrente de fuga da câmara de NE2575 ao longo do trabalho.

O teste de repetibilidade avalia a condição de medição num conjunto de condições, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo (INMETRO, 2012).

Os testes de repetibilidade consistiram na realização mensal de medidas de corrente de ionização, utilizando uma geometria fixa e reproduzível do campo de radiação, para a determinação do desvio padrão máximo aceitável após o histórico de dez medidas. Para tal, utilizou-se a fonte teste de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, com número de série 8921-1349 fabricante Kontrollvorrichtung e atividade de 30 MBq na data de referência, a fonte foi acoplada na janela de entrada da câmara NE 2575. Foram realizadas dez medidas para calcular a média da corrente de ionização e o desvio padrão, conforme a tabela 1.

Tabela 1. Repetibilidade da câmara NE2575 em função da corrente de ionização e seus respectivos desvios padrão.

Data	Corrente (A)	Desvio Padrão (%)
31/1/2013	1,081E-10	0,17
26/2/2013	1,079E-10	0,06
26/3/2013	1,080E-10	0,08
25/4/2013	1,082E-10	0,09
22/5/2013	1,081E-10	0,15
21/6/2013	1,080E-10	0,08
20/8/2013	1,082E-10	0,15
22/11/2013	1,079E-10	0,10
25/4/2014	1,077E-10	0,18
24/11/2014	1,071E-10	0,11
24/2/2015	1,082E-10	0,04
21/5/2015	1,079E-10	0,12
25/8/2015	1,076E-10	0,16
10/11/2015	1,089E-10	0,12
23/2/2016	1,080E-10	0,21

Fonte: Dados da pesquisa

A câmara de ionização NE2575 apresentou uma adequada repetibilidade das medidas, com valores abaixo de 0,22 % do desvio padrão, em relação às leituras corrigidas durante todo o período, demonstrando boa estabilidade do sistema de medição.

O teste de estabilidade avalia a medição num conjunto de condições, as quais compreendem o mesmo procedimento de medição, o mesmo local e medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares, ao longo de um período extenso de tempo, mas pode incluir outras condições submetidas a mudanças. (INMETRO, 2012).

O teste de estabilidade consistiu na comparação dos valores da corrente de ionização de cada teste de repetibilidade, em relação ao valor da medida de referência, considerada como a primeira realizada.

A corrente de ionização medida em cada teste de repetibilidade foi corrigida pela lei de decaimento definida na equação (2), uma vez que a fonte teste de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ sofre constantes desintegrações.

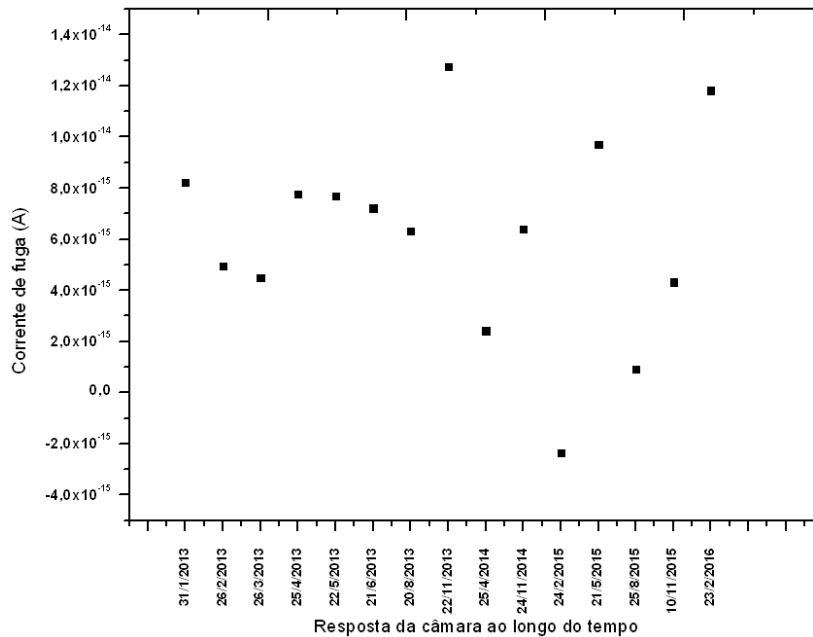
(2)

$$A=A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

A figura 2 apresenta os valores das médias relativas aos testes de estabilidade realizados de 2013 á 2016 com a câmara de ionização NE2575.

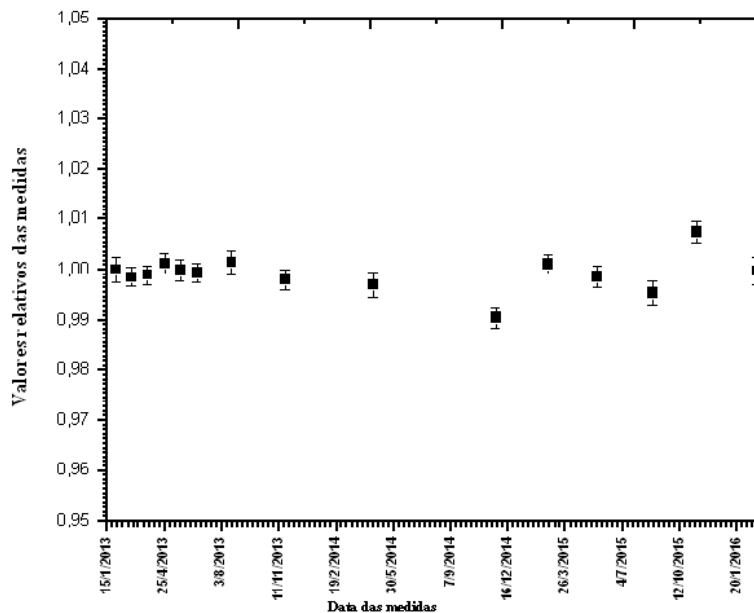
Os valores relativos da corrente de ionização no teste de estabilidade apresentaram uma variação máxima de 0,7 % e -0,9 %. Verifica-se que as suas variações estão dentro do limite de 2%, conforme recomendado pelo Laboratório de Calibração do CDTN (LCD/CDTN), demonstrando uma boa estabilidade da câmara de ionização no período do trabalho.

Figura 1. Corrente de fuga da câmara NE2575 em função do tempo decorrido em relação à medida de referência.



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 2. Estabilidade da câmara NE 2575 ao longo do tempo.



Fonte: Dados da pesquisa

Estabelecimento da rastreabilidade metrológica da câmara NE2575

A Rastreabilidade metrológica em termos fundamentais e gerais de metrologia define-se como, propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição (INMETRO, 2012).

A credibilidade das medições está fortemente associada ao termo rastreabilidade, definida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial como sendo a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas (IAEA, 2000)

Foram realizados os estudos relativos ao estabelecimento da rastreabilidade da câmara de ionização NE2575 do LCD/CDTN ao sistema internacional de metrologia, por meio da calibração contra o dosímetro padrão do IRD/Rio de Janeiro (câmara de ionização, fabricante NE Nuclear Enterprises modelo 2575 número de série 507), para radiações X de referência da ISO de espectros estreitos N60, N80 e N100 e espectros largos W60, W80 e W110.

Para a calibração, as duas câmaras foram posicionadas com as janelas de entrada distanciando de 1,0 m do foco do tubo do equipamento de raios-X industrial Pantak Seifert, modelo isovolt HS 320 de potencial constante do LCD.

As câmaras foram acopladas em um sistema móvel que permitiu movê-las no eixo lateral, mantendo a distância até o foco de raios-X, o que possibilitava a alternância dos detectores para a realização das medidas conforme o arranjo experimental na figura 3. As

tensões aplicadas nas câmaras do LCD e IRD foram, respectivamente, -250 V e +250 V.

Figura 3. Arranjo experimental para calibração da câmara NE2575 do LCD/CDTN com o Dosímetro Padrão Nacional (câmara NE2575) do IRD, em feixes de raios X.



Fonte: arquivo pessoal

Para cada radiação X de referência, mediu-se a taxa de Kerma no ar com o dosímetro padrão do IRD, realizando-se dez medidas da carga acumulada em 60 s. A taxa de Kerma no ar \bar{K} foi determinada conforme equação (3), corrigindo as medidas para as condições ambientais de referência (20°C e 101,325 kPa).

(3)

$$\bar{K} = \frac{I \cdot N_K \cdot K_Q}{t}$$

Onde **I**, é o valor de corrente medida da câmara de ionização NE2575.

N_k é o valor do coeficiente de calibração da câmara do IRD.

k_q é o valor do fator de correção do N_k para cada qualidade.

t tempo das medidas de carga acumulada.

A tabela 2 apresenta os resultados das medidas da taxa de kerma no ar com o dosímetro padrão do IRD, para as radiações de referência N e W; os coeficientes de calibração foram fornecidos pelo PTB (certificado 60062-13). A incerteza expandida para um fator de abrangência igual 2 foi determinada considerando as fontes de incertezas mais relevantes. A dispersão das 10 medidas realizadas, dadas pelo desvio padrão, variou de 0,24 a 0,33%, evidenciando a adequada repetibilidade das medidas.

Tabela 2. Taxas de kerma no ar determinadas com o Dosímetro Padrão Nacional (câmara NE2575) do IRD, para radiações X de referência.

Radiação de referência	Corrente de ionização (A)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de calibração, N_K ($Gy.C^{-1}$)	Taxa de kerma no ar ($Gy.s^{-1}$)	Incerteza expandida (%)
N-60	9,020E-11	0,24	4,35E+04	2,35E-04	1,80
N-80	3,430E-11	0,33	4,36E+04	8,97E-05	1,80
N-100	3,420E-11	0,25	4,30E+04	8,83E-05	1,80
W-60	2,150E-10	0,26	4,37E+04	5,63E-04	1,80
W-80	1,630E-10	0,27	4,36E+04	4,26E-04	1,80
W-110	2,670E-10	0,27	4,32E+04	6,90E-04	1,80

Fonte: Dados da pesquisa

Apesar da câmara de ionização ser independente da taxa de Kerma no ar, neste trabalho buscou-se ajustar a corrente no tubo de raios-X de tal forma que os valores fossem próximos.

Os resultados da Tabela 2 mostram que nas radiações de referência N, a taxa de Kerma ficou próxima a $9 Gy.s^{-1}$, exceto para N60 por causa da baixa tensão no tubo e alta filtração; nas radiações de referência W, a taxa de Kerma ficou entre 4 e $7 Gy.s^{-1}$.

De forma similar a dosimetria da câmara do IRD, foi realizada para a câmara NE2575 do LCD/CDTN. Foram realizadas dez medidas da carga acumulada em 60 s e calculada a corrente de ionização I, corrigida para as condições ambientais. Os coeficientes de calibração, (N_K^{LCD}), foram calculados pela equação (4).

(4)

$$N_K^{LCD} = \frac{\bar{K}}{I^{LCD}}$$

Onde \bar{K} é o valor da taxa de Kerma no ar determinada pelo dosímetro padrão do IRD.

I^{LCD} é o valor da corrente de ionização da câmara do LCD.

A tabela 3 apresenta os coeficientes de calibração da câmara padrão NE2575 do LCD/CDTN para as respectivas radiações de referência nas qualidades ISO N e W em feixes de raios X contínuos. A incerteza expandida para um fator de abrangência igual 2 foi determinada considerando as fontes de incertezas mais relevantes.

Tabela 3. Coeficientes de calibração da câmara NE2575 do LCD, determinados por comparação com o Dosímetro Padrão Nacional (câmara NE2575) do IRD, para radiações X de referência.

Radiação de referência	Corrente de ionização (A)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de calibração, N_K ($Gy.C^{-1}$)	Incerteza expandida (%)
N-60	9,126E-11	0,25	4,299E+04	2,28
N-80	3,498E-11	0,31	4,273E+04	2,28
N-100	3,490E-11	0,26	4,216E+04	2,28
W-60	2,164E-10	0,26	4,337E+04	2,25
W-80	1,646E-10	0,35	4,314E+04	2,25
W-110	2,710E-10	0,24	4,245E+04	2,25

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados da tabela 3 evidenciam a variação do coeficiente de calibração, N_K^{LCD} , com energia da radiação. Para o espectro estreito (N) a variação máxima foi de 1,98% e para o espectro largo (W) 2,17%. Dentro das incertezas, não há diferença relevante dos valores de N_K entre o espectro estreito e largo evidenciando a baixa dependência energética da câmara.

A dispersão das 10 medidas realizadas, dadas pelo desvio padrão, variou de 0,24 a 0,35%, são coerentes com os resultados da Tabela 2, adequada repetibilidade das medidas.

O coeficiente de calibração para espectro estreito e espectro largo apresentou uma variação máxima de 1%. Isso evidencia a baixa influência dos espectros na câmara de ionização.

Confiabilidade metrológica do procedimento de calibração em termos de kerma no ar

A confiabilidade metrológica da câmara de ionização NE2575 foi avaliada a partir da calibração de uma câmara de ionização do IRD modelo TK30 e número de série 109. Realizou-se uma comparação entre os valores de N_k determinados no LCD e no IRD.

A câmara de referência NE2575 foi posicionada livre no ar, no interior do campo de radiação, a uma distância de 1,5 m do ponto focal do tubo de raios-X e exposta por um tempo de 120 s, estabelecido pelo bloqueador de radiação. Após as medidas, pelo método de substituição, a câmara em calibração TK30 foi posicionada no mesmo ponto de referência de medida e irradiada nas mesmas condições da câmara de referência NE2575.

A câmara de referência NE2575 foi conectada ao eletrômetro modelo UnidosE, número de série 001178 e a câmara TK30 foi conectada ao eletrômetro Keithley, modelo 6517A número de série 0972953. As câmaras de ionização foram irradiadas nos feixes de raios-X de referência da ISO 4037-3, implantados no LCD/CDTN, nas qualidades N60, N80, N100 e W110. A grandeza de calibração foi o kerma no ar, determinada a partir da câmara de referência NE2575 conforme demonstrado no arranjo experimental da figura 4.

Figura 4. Arranjo experimental da calibração da câmara de ionização TK-30 contra a câmara de referência NE2575 do LCD/CDTN.



Fonte: arquivo pessoal

Os valores das taxas de kerma no ar determinadas pela câmara de referência NE2575, os desvios padrões das medidas e os coeficientes de calibração da câmara TK-30, para as radiações de referência utilizadas, são apresentados na tabela 4. A rastreabilidade da grandeza de calibração, kerma no ar, é estabelecida pela calibração do dosímetro de referência do LCD/CDTN contra o dosímetro de referência do LNMRI/IRD.

Tabela 4. Coeficientes de calibração do LCD em termos de Kerma no ar da câmara TK-30, determinados contra a câmara de referência.

Radiação de Referência	Taxa de kerma no ar (Gy/min)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de calibração N_k ($Gy \cdot C^{-1}$)	Incerteza expandida U(%)
N-60	2,354E-04	0,24	1,023E+06	2,28
N-80	3,593E-04	0,33	1,035E+06	2,28
N-100	2,222E-04	0,20	1,036E+06	2,28
W-110	6,903E-04	0,27	1,037E+06	2,25

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados evidencia uma variação mínima de energia, nas qualidades de espectro estreito e largo em torno de 2,4%.

A tabela 5 apresenta a comparação dos coeficientes de calibração, N_k determinado no LCD e IRD.

Tabela 5. Comparações dos coeficientes de calibração determinados no do LCD e IRD

Radiação de referência	Coeficiente de calibração LCD (Gy.C ⁻¹)	Coeficiente de calibração N _k de calibração (Gy.C ⁻¹)	Varição dos N _k (%)	Incerteza Expandida IRD U(%)
N-60	1,023E+06	1,022E+06	0,13	2,30
N-80	1,035E+06	1,039E+06	-0,43	2,30
N-100	1,036E+06	1,028E+06	0,82	2,40
W-110	1,037E+06	1,040E+06	-0,26	2,30

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados evidenciam a variação máxima dos coeficientes de calibração do LCD e IRD de 0,8% e com incerteza de 2,3%, demonstrando a confiabilidade do procedimento de calibração em termos kerma ar.

CONCLUSÃO

A confiabilidade metrológica do procedimento de calibração em termos de kerma no ar, nas radiações de referência da ISO para radioproteção, com base na câmara de ionização NE2575, foi demonstrada.

REFERÊNCIAS

- IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Calibration of radiation protection monitoring instruments: Vienna: IAEA 2000. 153 p. (Safety reports series, 16).
- INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL e SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. 2012. Vocabulário internacional de metrologia - conceitos

fundamentais e gerais e termos associados (VIM): Editora Brasileira, 2012.

- ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4037. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Geneva: International Organization for Standardization, 1996.

AGRADECIMENTOS

Margarete Guimarães agradece a CNEN pela bolsa de Doutorado. Este trabalho faz parte do projeto INCT Metrologia das Radiações em Medicina e da Rede Metroradi/Sibratec.