

# Estimativa das incertezas correlacionadas e não correlacionadas associadas aos testes de desempenho de ativímetros

**CHS Sousa<sup>1,2</sup>, GJ Teixeira<sup>1,3</sup>, JGP Peixoto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN

<sup>2</sup>Nuclear Scan Imagem e Terapia Ltda. – Petrópolis

<sup>3</sup>Universidade Estácio de Sá

E-mail: [chenrique@ird.gov.br](mailto:chenrique@ird.gov.br), [gt@ird.gov.br](mailto:gt@ird.gov.br), [guilherm@ird.gov.br](mailto:guilherm@ird.gov.br)

**Resumo:** Ativímetros devem ser submetidos a testes de desempenho para a verificação da funcionalidade conforme recomendações técnicas. Este trabalho estimou as incertezas expandidas associadas não correlacionadas aos resultados dos testes realizados em três instrumentos, sendo dois com detectores tipo câmara de ionização e um tipo Geiger Müller. Para isso foi utilizada uma fonte padrão referência certificada e rastreada pelo National Institute of Standardization and Technology. A metodologia desta pesquisa baseou-se nos protocolos indicados no documento técnico da Agência Internacional de Energia Atômica. Posteriormente duas grandezas foram correlacionadas apresentando correlação verdadeira, e melhorando a incerteza expandida em 3,7%.

**Palavras-chave:** incertezas, ativímetro, correlação

**Abstract:** Activimeters should undergo performance for verifying the functionality tests as technical recommendations. This study estimated the associated expanded uncertainties uncorrelated to the results conducted on three instruments, two detectors with ionization chamber and one with Geiger Müller tubes. For this we used a standard reference source and screened certified by the National Institute of Technology and Standardization. The methodology of this research was based on the protocols listed in the technical document of the International Atomic Energy Agency. Later two quantities were correlated presenting real correlation and improving expanded uncertainty 3.7%.

**Keywords:** uncertainties, activimeter, correlation

## 1. INTRODUÇÃO

A metrologia é utilizada atualmente com os mais diversos objetivos, seja para estimativa de grandezas ou lucros monetários. É muito frequente a apresentação de resultados de medições sem parâmetros metrológicos e a falta

de parâmetros em uma medição pode comprometer qualquer conclusão fundamentada nos resultados da série de medições.

De acordo com as recomendações técnicas da Agência Internacional de Energia Atômica (1991) – (IAEA, de International Atomic Energy Agency), a instrumentação utilizada em medicina

nuclear deve passar por testes de desempenho para a verificação da qualidade dos resultados obtidos.

A aceitação dos resultados é determinada por testes de desempenho, cujos limites para as respostas são comparados com os valores de padrões rastreados, verificando o percentual de variação dos resultados em relação aos valores referência (Sousa, 2013 abud CNEN, 1996).

O objetivo deste trabalho foi determinar as incertezas correlacionadas e não correlacionadas associadas aos testes periódicos de desempenho realizados em ativímetros, determinando a significância de cada grandeza de entrada envolvida neste processo e verificar seu impacto no resultado final.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Foram utilizados três ativímetros, cujas características principais estão descritas na Tabela 1. Para os testes de exatidão, precisão e reprodutibilidade, foi utilizada uma fonte-padrão referência selada ( $^{57}\text{Co}$ ), rastreada pelo National Institute of Standards and Technology -NIST (Sousa, 2013 abud RADQUAL, 2012).

No teste de linearidade foi utilizado um frasco de vidro tipo P6 e o radionuclídeo Tecnécio-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

**Tabela 1:** Características mais relevantes dos ativímetros utilizados neste estudo.

	CALIBRADORES	
	A <sup>a</sup> e B	C
Resolução (MBq)	0,001	0,370
Exatidão (%)	$\pm 2,0$	Ni <sup>b</sup>
Precisão (%)	$\pm 0,1$	Ni
Linearidade (%)	$\pm 2,0$	3,4
Tempo de Resposta (s)	$\approx 10$	$\approx 50$
Tipo de detector	CI	GM

<sup>a</sup>Referência dosimétrica

<sup>b</sup>Não informado

### 2.2 Métodos

A metodologia aplicada nos testes de desempenho foi definida e recomendada pelo AIEA/TECDOC 602 (1991), sendo que para o teste de linearidade foi aplicado o método de decaimento da amostra. Foi considerado o volume médio, não inferior a 95,0% ou superior a 110,0% do volume declarado (Sousa, 2013 abud ANVISA, 2010).

Foram realizadas dez medições com intervalos de 15 segundos para cada série. Destas, foram determinadas as médias e os desvios padrões. Também foi realizada uma série de medições de radiação de fundo intercalada entre as medições das fontes de referência, para correlação.

Os valores foram registrados na planilha eletrônica EXCEL<sup>®</sup> para a determinação da densidade de probabilidades e inserção em um gráfico de escala log-linear. A avaliação das incertezas fundamentou-se nas recomendações do Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição (INMETRO, 2012).

A incerteza tipo A, considerou o desvio padrão percentual das séries de medições dos testes de exatidão ( $\sigma_e$ ) e radiação de fundo ( $\sigma_f$ ). As incertezas tipo B, vislumbraram as outras contribuições que não foram consideradas repetitividade, como a precisão ( $\sigma_p$ ), reprodutibilidade ( $\sigma_r$ ), linearidade ( $\sigma_L$ ), resolução ( $\sigma_{res}$ ), impurezas radionuclídicas da fonte padrão ( $\sigma_i$ ), volume ( $\sigma_v$ ) e a incerteza declarada no certificado de calibração da fonte-padrão referência.

Foram correlacionadas posteriormente, as séries de medições de radiação de fundo/ruído intercaladas com as séries de medições da fonte, aplicando-se o momento de Pearson (1).

$$r_{xy} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left( \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n} \right)}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^n \left( x_i - \bar{x} \right)^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n \left( y_i - \bar{y} \right)^2 \right)}} \quad (1)$$

em que,  $x_i$  corresponde às leituras independentes da medida realizada,  $\bar{x}$  a média aritmética das medições realizadas,  $y_i$  as leituras independentes da radiação de fundo e  $\bar{y}$  a média aritmética das medições de radiação de fundo (Sousa, 2013 abud Mendenhall, 1985). Uma vez estabelecida a correlação entre as grandezas de entrada determinou-se a variância combinada das grandezas de entrada  $x_i$  e  $y_i$ , sendo estas do tipo A (Sousa, 2013 abud Peixoto 2010), conforme (2).

$$S(\bar{x}, \bar{y}) = \left( \frac{1}{n(n-1)} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2)$$

### 3 RESULTADOS

O teste da radiação de fundo/ruído observou que nenhum dos resultados foi maior que 20% do maior valor obtido nas medições. Os resultados dos testes de desempenho para os 3 ativímetros não ultrapassaram os limites recomendados pela literatura.

O resultado do teste de linearidade do calibrador de doses A foi realizado pelo SEMRA-LNMRI e apresentou um desvio percentual médio de 2% para um período de 30 horas. O ativímetro B apresentou um desvio percentual médio de 3,0% para um período de 105 horas e o ativímetro C, um desvio percentual médio de 6,8% para um período de 63 horas como mostra a figura 1.

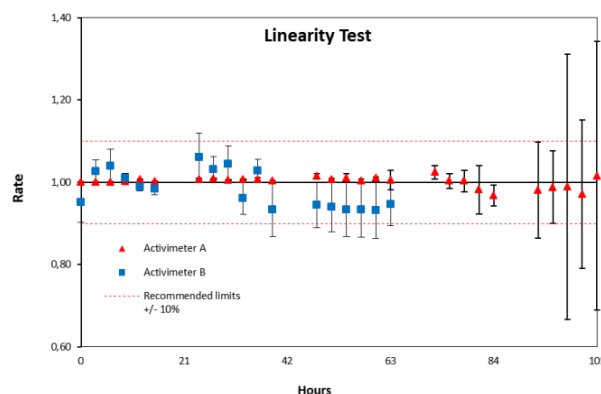


Figura 1 – Teste de linearidade dentro dos limites de aceitação.

O resultado percentual do teste de reprodutibilidade nas três faixas de energia para o calibrador A foi de 0,16%, para o calibrador B de 0,14 e para o calibrador de doses C 0,68%.

Os resultados das incertezas tipo A e tipo B das grandezas de entrada independentes que formam a incerteza padrão combinada e a incerteza expandida, para os testes de desempenho aplicados são apresentados a seguir na tabela 2.

### 3 CONCLUSÕES

As duas variáveis aleatórias, radiação de fundo/ruído e exatidão, apresentaram uma correlação verdadeira, e possibilitaram a estimativa de seus coeficientes de correlação, sendo que para o calibrador de doses A e B os resultados não foram expressivos clinicamente, porém, para o calibrador de doses C, a correlação de apenas estas duas grandezas melhorou a incerteza expandida em 3,7%, permitindo-nos inferir que, caso outras grandezas de entrada sejam correlacionadas, os resultados finais podem sofrer alterações importantes.

Tabela 2: Tabela comparativa das incertezas tipo A e tipo B das grandezas de entrada independentes dos testes não correlacionados e correlacionados que formam a incerteza padrão combinada e a incerteza expandida para a fonte padrão-referência  $^{57}\text{Co}$  dos três ativímetros testados.

Fontes de Incerteza		Calibrador A				Calibrador B				Calibrador C			
Cobalto-57	N	Não Correlacionada		Correlacionada		Não Correlacionada		Correlacionada		Não Correlacionada		Correlacionada	
		Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
Volume			0,043		0,043		0,043		0,043		0,043		0,043
Fundo/ruído	10	0,052				0,109				4,82			
Radioimpureza $^{56}\text{Co}$			0,003		0,003		0,003		0,003		0,003		0,003
Radioimpureza $^{58}\text{Co}$			0,003		0,003		0,003		0,003		0,003		0,003
Resolução			0,004		0,004		0,004		0,004		1,617		1,617
Exatidão	10	0,097		0,008		0,144		0,019		2,08		0,457	
Precisão			0,02		0,02		0,037		0,037		0,476		0,476
Reprodutibilidade			0,046		0,046		0,057		0,57		1,212		1,212
Linearidade			2		2		3		3		6,8		6,8
Incerteza padrão combinada			2,004		2,001		3,006		3,001		8,838		7,124
Incerteza expandida	$U =$		4		4		6,01		6		17,9		14,2
	$k =$		2		2		2		2		2,03		2

\* Nível de confiança de 95,45%.

#### 4. REFERÊNCIAS

IAEA 1991, Quality control of nuclear medicine instruments, *International Atomic Energy Agency TECDOC 602*

INMETRO 2012, Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. 94p – 1ª ed

SOUSA C H S 2013, Estimativa das Incertezas Associadas aos Testes de Desempenho de Calibradores de Doses, *Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN, Mestrado stricto sensu*