

# Teste de linearidade em medidor de atividade: utilização do radioisótopo $^{99m}\text{Tc}$ versus $^{18}\text{F}$ \*

*Dose calibrator linearity test:  $^{99m}\text{Tc}$  versus  $^{18}\text{F}$  radioisotopes*

José Willegaignon<sup>1</sup>, Marcelo Tatit Sapienza<sup>2</sup>, George Barberio Coura-Filho<sup>3</sup>, Alexandre Teles Garcez<sup>4</sup>, Carlos Eduardo Gonzalez Ribeiro Alves<sup>5</sup>, Marissa Anabel Rivera Cardona<sup>6</sup>, Ricardo Fraga Gutterres<sup>7</sup>, Carlos Alberto Buchpiguel<sup>8</sup>

Willegaignon J, Sapienza MT, Coura-Filho GB, Garcez AT, Alves CEGR, Cardona MAR, Gutterres RF, Buchpiguel CA. Teste de linearidade em medidor de atividade: utilização do radioisótopo  $^{99m}\text{Tc}$  versus  $^{18}\text{F}$ . Radiol Bras. 2015 Jan/Fev;48(1):26–32.

**Resumo** **Objetivo:** Avaliar a viabilidade de substituir o radioisótopo  $^{18}\text{F}$  pelo  $^{99m}\text{Tc}$  no teste de linearidade em medidores de atividade.

**Materiais e Métodos:** O teste foi realizado empregando-se fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  (62 GBq) e  $^{18}\text{F}$  (12 GBq), cujas atividades foram mensuradas até valores abaixo de 1 MBq. As razões e desvios entre as atividades experimentais e teóricas foram calculados e comparados.

**Resultados:** Os desvios médios entre as atividades experimentais e teóricas para o  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  foram, respectivamente, 0,56 ( $\pm 1,79$ )% e 0,92 ( $\pm 1,19$ )%. A razão média entre as atividades indicadas pelo equipamento para a fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  quando mensurada no equipamento pré-ajustado para medir o  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  foi 3,42 ( $\pm 0,06$ ), e para o  $^{18}\text{F}$  este valor foi 3,39 ( $\pm 0,05$ ), razões consideradas constantes ao longo de todo o período de medida.

**Conclusão:** Os resultados do teste utilizando o  $^{99m}\text{Tc}$  são compatíveis com os adquiridos com o  $^{18}\text{F}$ , implicando na possibilidade de utilização de ambos os radioisótopos na realização do teste de linearidade. Esta informação, aliada ao elevado potencial de exposição e custos de aquisição do  $^{18}\text{F}$ , sugere que o  $^{99m}\text{Tc}$  seja empregado na realização do teste de linearidade para clínicas que utilizam  $^{18}\text{F}$ , sem prejuízo para o procedimento e garantia da qualidade de um serviço de medicina nuclear.

**Unitermos:** Medicina nuclear; Medidor de atividade; Teste de linearidade; Instrumentação nuclear.

**Abstract** **Objective:** The present study was aimed at evaluating the viability of replacing  $^{18}\text{F}$  with  $^{99m}\text{Tc}$  in dose calibrator linearity testing.

**Materials and Methods:** The test was performed with sources of  $^{99m}\text{Tc}$  (62 GBq) and  $^{18}\text{F}$  (12 GBq) whose activities were measured up to values lower than 1 MBq. Ratios and deviations between experimental and theoretical  $^{99m}\text{Tc}$  and  $^{18}\text{F}$  sources activities were calculated and subsequently compared.

**Results:** Mean deviations between experimental and theoretical  $^{99m}\text{Tc}$  and  $^{18}\text{F}$  sources activities were 0.56 ( $\pm 1.79$ )% and 0.92 ( $\pm 1.19$ )%, respectively. The mean ratio between activities indicated by the device for the  $^{99m}\text{Tc}$  source as measured with the equipment pre-calibrated to measure  $^{99m}\text{Tc}$  and  $^{18}\text{F}$  was 3.42 ( $\pm 0.06$ ), and for the  $^{18}\text{F}$  source this ratio was 3.39 ( $\pm 0.05$ ), values considered constant over the measurement time.

**Conclusion:** The results of the linearity test using  $^{99m}\text{Tc}$  were compatible with those obtained with the  $^{18}\text{F}$  source, indicating the viability of utilizing both radioisotopes in dose calibrator linearity testing. Such information in association with the high potential of radiation exposure and costs involved in  $^{18}\text{F}$  acquisition suggest  $^{99m}\text{Tc}$  as the element of choice to perform dose calibrator linearity tests in centers that use  $^{18}\text{F}$ , without any detriment to the procedure as well as to the quality of the nuclear medicine service.

**Keywords:** Nuclear medicine; Dose calibrator; Linearity test; Nuclear instrumentation.

\* Trabalho realizado no Serviço de Medicina Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira (Icesp), São Paulo, SP, Brasil.

1. Doutor, Físico Chefe do Serviço de Medicina Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira (Icesp), São Paulo, SP, Brasil.

2. Livre-docente, Professor do Departamento de Radiologia e Oncologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), São Paulo, SP, Brasil.

3. Doutor, Médico Assistente do Serviço de Medicina Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira (Icesp), São Paulo, SP, Brasil.

4. Físico do Serviço de Medicina Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira (Icesp), São Paulo, SP, Brasil.

5. Mestre, Tecnologista da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

6. Doutora, Tecnologista da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

7. Doutor, Chefe de Departamento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O medidor de atividade é um dos equipamentos imprescindíveis na área de medicina nuclear, sendo amplamente utilizado para medir quantidades de radioisótopos a serem administrados a pacientes em procedimentos diagnósticos ou terapêuticos. Para uma avaliação e manutenção do bom

8. Livre-docente, Professor Titular do Departamento de Radiologia e Oncologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), São Paulo, SP, Brasil.

Endereço para correspondência: Dr. José Willegaignon. Avenida Doutor Arnaldo, 251, 4º Subsolo (Medicina Nuclear), Cerqueira César. São Paulo, SP, Brasil, 01246-000. E-mail: willegaignon@hotmail.com.

Recebido para publicação em 12/3/2014. Aceito, após revisão, em 28/7/2014.

funcionamento desse equipamento, ele deve ser submetido rotineiramente a testes de desempenho, dentre os quais se destaca o teste de linearidade<sup>(1)</sup>. Este teste visa avaliar se o instrumento mantém a capacidade de medir atividades de radioisótopos em diferentes magnitudes, uma vez que as quantidades utilizadas em procedimentos diagnósticos e terapêuticos podem diferir em ordens de grandeza.

Existem vários trabalhos na literatura indicando a importância do teste de linearidade e os procedimentos técnicos para a sua execução<sup>(1-4)</sup>. Este teste visa avaliar a resposta linear do equipamento produzida por diferentes atividades de um dado radioisótopo, desde uma fonte com atividade próxima à resolução mínima do sistema de medida (MBq) até uma fonte de alta atividade (GBq). Na prática, em geral, parte-se de uma fonte de alta atividade, que irá decrescer de acordo com o decaimento físico do radioisótopo. Embora o teste de linearidade possa ser realizado empregando-se diferentes radioisótopos, o tecnécio-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) tem sido o elemento de escolha em virtude da sua meia-vida física curta (6 horas), facilidade de obtenção, baixo custo e de ser o elemento com maior representatividade nas clínicas de medicina nuclear. Por outro lado, o crescente número de clínicas dedicadas à realização de tomografias com emissores de pósitrons, utilizando principalmente o flúor-18 ( $^{18}\text{F}$ ), leva ao questionamento sobre a possibilidade de uso do  $^{99m}\text{Tc}$  na realização do teste de linearidade nessas clínicas, tendo em vista o custo elevado de aquisição do  $^{18}\text{F}$ .

O objetivo principal deste estudo é avaliar a utilização dos radioisótopos  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  no teste de linearidade, por comparação dos resultados, e indicar o radioisótopo de menor custo operacional para as clínicas de medicina nuclear.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O teste de linearidade foi realizado empregando fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  e utilizando o medidor de atividade modelo CRC-25R e número de série 252090 (Capintec Inc.) do Serviço de Medicina Nuclear do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo Octavio Frias de Oliveira (Icesp). Este equipamento é baseado em uma câmara de ionização pressurizada, apresentando características próprias para ser utilizada na área de medicina nuclear. Os testes de precisão, exatidão, geometria da fonte e os controles diários foram realizados no medidor de atividade previamente ao início dos testes de linearidade, garantindo a boa qualidade do equipamento antes do início do estudo.

A atividade inicial da fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  (62 GBq) foi obtida por processo de eluição de gerador de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , número 350IP0039, e adquirido via procedimento de compra do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen). A fonte de  $^{18}\text{F}$  (atividade inicial de 12 GBq), lote 131213-0101, foi adquirida do Ciclotron do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo via doação. Ambas as fontes estavam em forma física líquida, com respectivos volumes de 6,0 mL e 2,5 mL e acondicionadas em frascos de vidro.

A fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  foi medida ao longo de cinco dias e a fonte de  $^{18}\text{F}$  ao longo de dois dias, partindo-se da atividade inicial de, respectivamente, 62 GBq e 12 GBq, o que permitiu obter 13 pontos de medida para a fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  e 10 para a fonte de  $^{18}\text{F}$ . A atividade considerada em cada ponto de medida foi a média aritmética de cinco medidas. Tanto a atividade de  $^{99m}\text{Tc}$  quanto a de  $^{18}\text{F}$  foram medidas até que as atividades atingissem valores compatíveis com a resolução inferior do sistema de medida indicada pelo fabricante ( $\sim 1$  MBq) e de acordo com a atividade mínima a ser utilizada no teste e indicada em diferentes recomendações<sup>(4-7)</sup>.

O método adotado para avaliar a linearidade de resposta do detector em relação à variação das atividades das fontes foi o método de decaimento, o qual consiste em medir a atividade de uma dada fonte ao longo do tempo, permitindo construir o gráfico “atividade *versus* tempo” e comparar os valores das atividades experimentais com os valores teóricos esperados para a fonte nos diferentes tempos de medida. Os cálculos das atividades teóricas levaram em consideração a meia-vida física do  $^{99m}\text{Tc}$  (6 horas) e do  $^{18}\text{F}$  (1,83 hora)<sup>(6)</sup>. Os limites aceitáveis para o desvio entre os valores teóricos e experimentais foram  $\pm 5\%$  e  $\pm 10\%$ , de acordo com as recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e normativas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)<sup>(3,4,8)</sup>.

Tanto a fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  quanto a de  $^{18}\text{F}$  foram medidas com o equipamento pré-ajustado para medir fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  (“janela” de  $^{99m}\text{Tc}$ ) e, em seguida, para fontes  $^{18}\text{F}$  (“janela” de  $^{18}\text{F}$ ), possibilitando, assim, comparar a resposta do detector para uma mesma fonte radioativa quando mensurada em diferentes janelas de radioisótopos. Também foram estimados os custos de aquisição de fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  necessária para a realização do teste de linearidade.

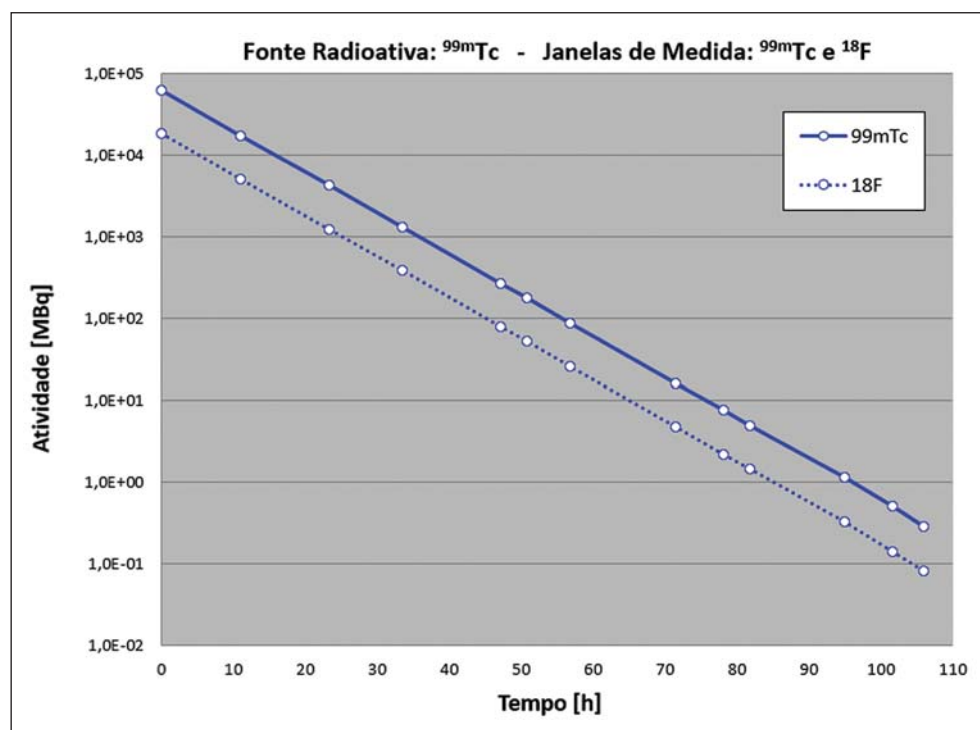
Neste texto, alguns dados são apresentados na forma de valor médio  $\pm 1$  desvio-padrão.

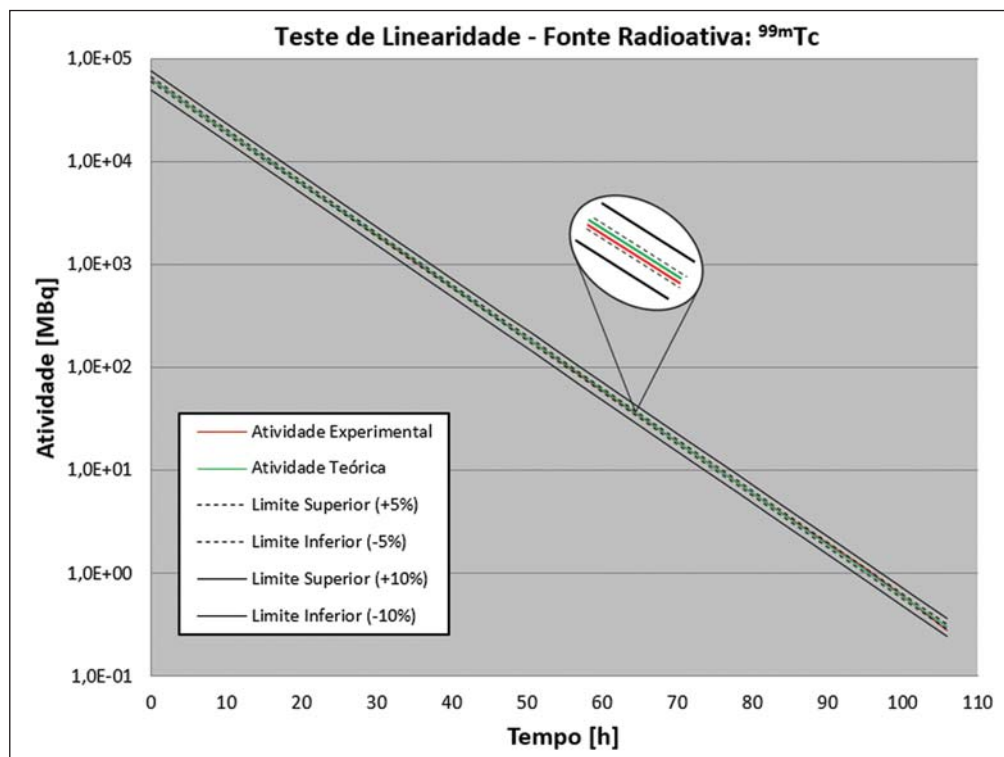
## RESULTADOS

Medidas sucessivas das fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  demonstraram, experimentalmente, a variação de suas atividades em função do tempo como resultado do processo de decaimento radioativo. Todas as medidas experimentais e as razões entre elas são expostas na Tabela 1 e as linhas de tendência para os valores obtidos podem ser observadas nas Figuras 1, 3, 5 e 6. O valor de desvio apresentado na tabela corresponde ao desvio entre o valor de atividade experimental adquirida com o medidor de atividade e o valor estimado para a fonte, por meio de cálculos para o mesmo período de tempo.

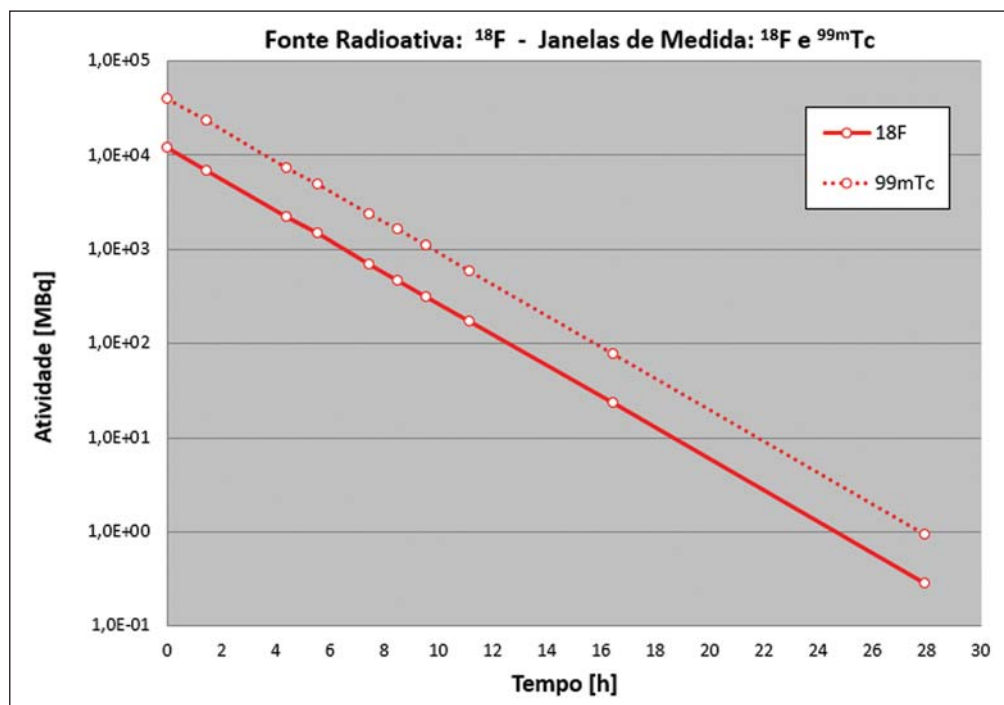
Em função da boa precisão do equipamento, o desvio-padrão apresentado em cada série de medidas foi cerca de 1% do valor médio para o conjunto de medidas.

É importante enfatizar que as atividades experimentais indicadas na tabela e figuras representam a média de uma série de cinco medidas, no entanto, o desvio-padrão das medidas (cerca de 1% do valor médio) não foi indicado, visando não poluir a análise visual dos gráficos e tabela.





**Figura 2.** Gráfico característico do teste de linearidade realizado com a fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  e indicando os limites inferiores e superiores dos desvios aceitáveis para o teste.

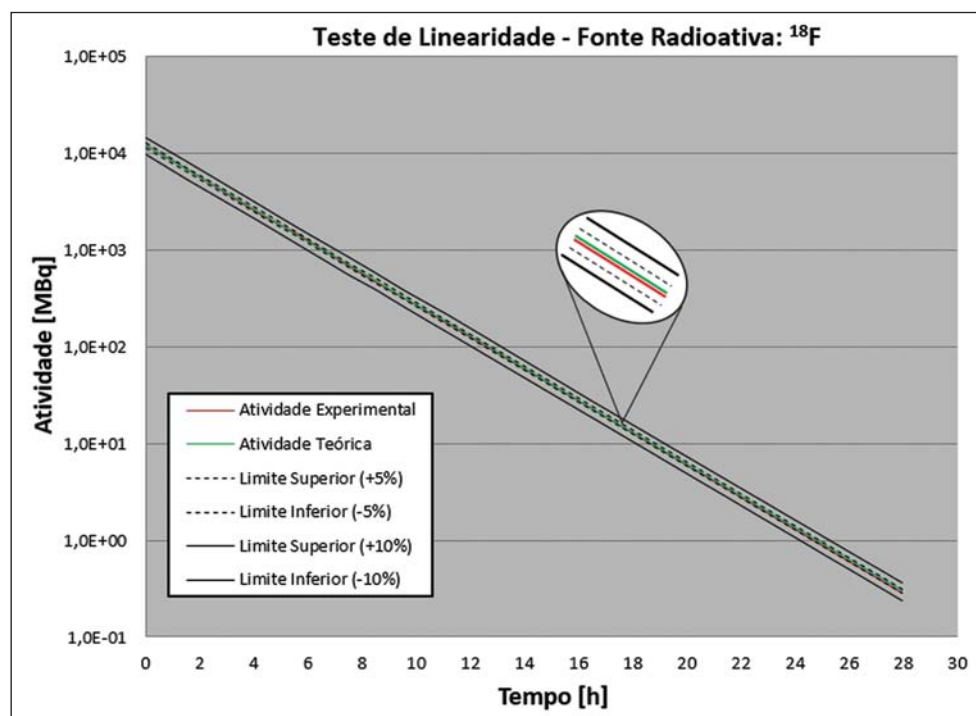


**Figura 3.** Decréscimo da atividade da fonte de  $^{18}\text{F}$  em função do tempo quando medida nas janelas de  $^{18}\text{F}$  e  $^{99m}\text{Tc}$ .

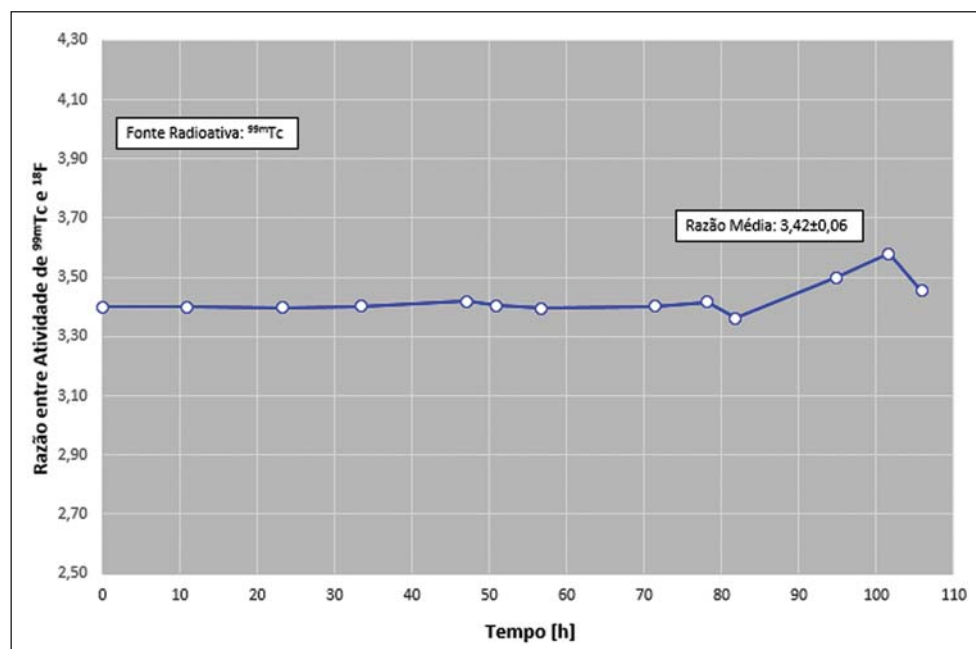
ambos os elementos, cujos valores foram, respectivamente, 5,949 ( $\pm 0,002$ ) horas e 1,816 ( $\pm 0,007$ ) hora, com diferença de menos de 1% dos valores indicados na literatura<sup>(6)</sup>.

A razão média entre as atividades indicadas pelo equipamento para a fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  quando mensurada nas respectivas janelas de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  foi 3,42 ( $\pm 0,06$ ), e para a fonte de  $^{18}\text{F}$  este valor foi 3,39 ( $\pm 0,05$ ). Estas razões foram consideradas constantes ao longo de todo o período de me-

da (Tabela 1) e implicando na possibilidade de utilização de ambos os radioisótopos na realização do teste de linearidade independentemente da janela utilizada para medir a fonte, uma vez que o teste de linearidade visa avaliar a resposta do equipamento em medir diferentes quantidades de atividade, cuja resposta deve ser linear no intervalo compreendido entre os limites inferior e superior de atividades utilizadas diariamente pela clínica de medicina nuclear<sup>(4)</sup>.



**Figura 4.** Gráfico característico do teste de linearidade realizado com a fonte de  $^{18}\text{F}$  e indicando os limites inferiores e superiores dos desvios aceitáveis para o teste.



**Figura 5.** Razão entre os valores de atividade indicada pelo medidor de atividade para uma fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  quando mensurada nas janelas de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$ .

Em consideração aos custos, a aquisição de um gerador de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  de 6,75 GBq (250 mCi) para a realização do teste de linearidade é cerca de R\$ 1.300,00, enquanto uma fonte de  $^{18}\text{F}$  de 6,75 GBq (250 mCi) está em torno de R\$ 3.500,00, segundo consulta realizada em 2014 ao Ipen, órgão da CNEN e principal fornecedor de radioisótopos no mercado nacional.

## DISCUSSÃO

A corrente elétrica gerada em um medidor de atividade baseada em câmara de ionização, a qual é proporcional à

atividade, está relacionada tanto à quantidade de átomos radioativos existentes em uma dada amostra quanto à energia dos fótons liberados durante o processo de desintegração. A mesma corrente elétrica por unidade de atividade (pA/MBq – picoampere por MBq) pode ser obtida por diferentes radioisótopos, o que impossibilita a identificação do radioisótopo pelo medidor de atividade durante o processo de medição. Assim, para se obter uma leitura confiável do medidor de atividade é necessário inserir fatores de correção na corrente elétrica proporcional ao radioisótopo que se deseja medir e isto é obtido automaticamente por inter-



médio do seletor de radioisótopos existente no equipamento. Geralmente, os fatores de correção entre um radioisótopo e outro são constantes, tendo como ponto de referência os radioisótopos utilizados pelo fabricante na calibração do equipamento, tais como os radioisótopos  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ <sup>(2)</sup>.

Mantidas as características do sistema de medida, como boa precisão, exatidão e testes de constância diários, geralmente o teste de linearidade apresenta bons resultados e dentro dos limites aceitáveis para o teste. No presente estudo, o teste foi realizado utilizando fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$  e ambas demonstraram, independentemente, a excelente qualidade do equipamento em medir diferentes quantidades de atividades de radioisótopos de energias bem distintas, a saber, 141 keV ( $^{99m}\text{Tc}$ ) e 0,511 MeV ( $^{18}\text{F}$ )<sup>(6)</sup> (Figuras 2 e 4).

A razão praticamente constante entre as atividades indicadas pelo equipamento para uma mesma fonte quando medida em diferentes janelas (Tabela 1; Figuras 5 e 6) permite demonstrar que a utilização de um único radioisótopo (p. ex.:  $^{99m}\text{Tc}$ ) poderia ser suficiente para se realizar o teste de linearidade, independentemente da utilização de  $^{18}\text{F}$ , exclusivo ou não, pela clínica de medicina nuclear. Conceitualmente, a resposta de um medidor de atividade é considerada linear se a razão ou desvio da resposta medida pela resposta estimada é mantida constante ao longo do tempo, o que ficou demonstrado experimentalmente neste estudo (Tabela 1)<sup>(5)</sup>.

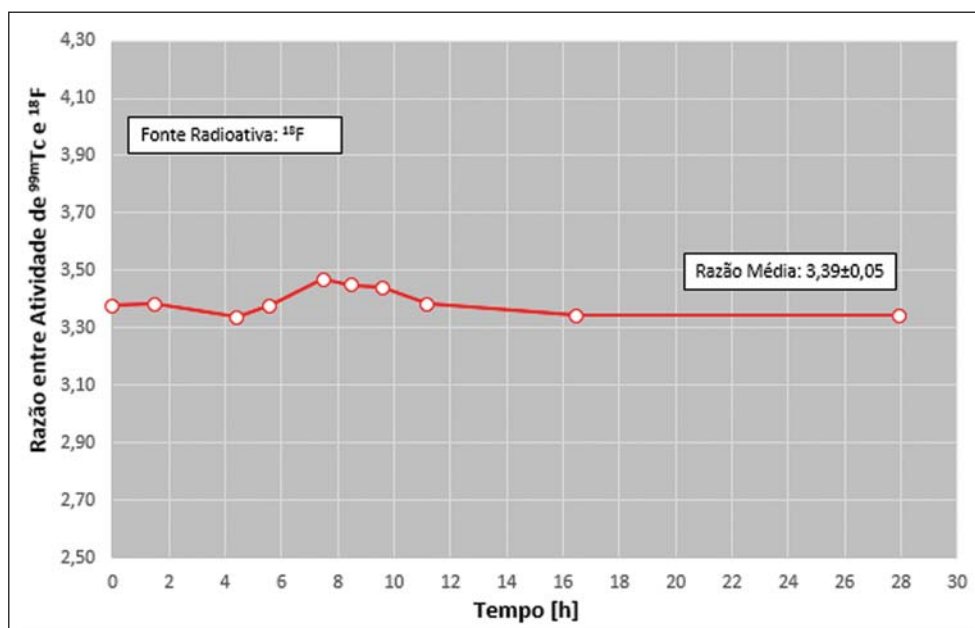
Completando a informação acima, o teste de linearidade tem a função de avaliar as características de saturação da câmara de ionização, bem como a linearidade do eletrômetro ao medir corrente elétrica. Portanto, o teste de linearidade não está diretamente vinculado ao radioisótopo utilizado, mas ao montante de cargas elétricas geradas durante o processo de medição. Desta forma, o teste de linearidade poderia ser realizado com diferentes radioisótopos desde que o intervalo de corrente, proporcional ao intervalo de atividade a ser testada, esteja dentro dos limites praticados pela

clínica de medicina nuclear. Esta informação é bastante importante e útil para as clínicas que operam exclusivamente com emissores de pósitron, como é o caso do  $^{18}\text{F}$ .

Tem sido evidenciado, no AAPM Report No. 181<sup>(5)</sup>, que os elementos de escolha para a realização do teste de linearidade têm sido o  $^{99m}\text{Tc}$  e o  $^{18}\text{F}$ , uma vez que o teste de rotina com todos os radioisótopos disponíveis torna-se impraticável. Também há indicação da inexistência de consenso sobre as atividades a serem empregadas no teste, situação em que algumas entidades recomendam a realização do teste com atividades dentro do intervalo em que o medidor de atividade será utilizado, e outras, como a IAEA, recomendam que o teste deveria iniciar com as máximas atividades administradas aos pacientes na rotina clínica, embora elas concordem que o mínimo de atividade a ser medida esteja próximo a valores de resolução do sistema de medida ( $\sim 1 \text{ MBq}$ )<sup>(5)</sup>. Mas há de se considerar que nem todas as atividades medidas serão administradas a pacientes, como, por exemplo, as atividades que serão armazenadas como rejeitos radioativos líquidos e, neste caso, a medida correta da atividade tem fator impactante no tempo de armazenamento desses rejeitos.

A diferença de recursos necessários para a realização do teste de linearidade utilizando o radioisótopo  $^{99m}\text{Tc}$  ou o  $^{18}\text{F}$  é algo bastante significativo, chegando a 40% de diferença entre os valores.

Uma opção viável para redução dos custos ainda mais acentuada seria a provisão de atividades de  $^{99m}\text{Tc}$  pelos fornecedores de radioisótopos com finalidade única e exclusiva de realização do teste de linearidade. Neste sentido, novamente em consulta ao Ipen, uma atividade de 13,5 GBq (500 mCi) de  $^{99m}\text{Tc}$  poderia ser adquirida por um valor menor que o de um gerador ou até mesmo isenta de custos caso a logística se demonstre favorável, o que impactaria nos custos da realização do teste de linearidade. Também é importante enfatizar que o uso de fontes de  $^{99m}\text{Tc}$  em vez de  $^{18}\text{F}$  implica em



**Figura 6.** Razão entre os valores de atividade indicada pelo medidor de atividade para uma fonte de  $^{18}\text{F}$  quando mensurada nas janelas de  $^{99m}\text{Tc}$  e  $^{18}\text{F}$ .

uma redução do potencial de exposição ocupacional e ambiental, uma vez que uma fonte de  $^{18}\text{F}$  apresenta potencial de dose cerca de 10 vezes superior à apresentada por uma fonte de  $^{99m}\text{Tc}$  de igual atividade, a saber, 135,1  $\mu\text{Gy}/\text{GBq}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$  e 14,1  $\mu\text{Gy}/\text{GBq}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$ , respectivamente<sup>(9)</sup>.

O presente estudo demonstrou a possibilidade de otimização do teste de linearidade em medidor de atividade, chamando a atenção de pesquisadores e agentes reguladores para uma avaliação criteriosa das informações apresentadas, uma vez que a disseminação dessas informações pode se traduzir em redução de custos nos setores públicos e particulares de saúde, sem perder o foco da contínua evolução da qualidade dos serviços prestados à sociedade.

## CONCLUSÃO

As características físicas do medidor de atividade utilizado no presente estudo permitem indicar que os resultados obtidos no teste de linearidade com  $^{99m}\text{Tc}$  sejam validados para o uso de  $^{18}\text{F}$ . Esta extrapolação de resultados, presumivelmente extensível a outros equipamentos de configuração similar e em condições de uso satisfatórias, aliada ao elevado potencial de exposição e custos de aquisição do  $^{18}\text{F}$ , sugerem que o  $^{99m}\text{Tc}$  seja empregado na realização do teste de linearidade para clínicas que utilizam o  $^{18}\text{F}$ , sem prejuízo para o procedimento e garantia da qualidade de um serviço de medicina nuclear.

## REFERÊNCIAS

1. Zanzonico P. Routine quality control of clinical nuclear medicine instrumentation: a brief review. *J Nucl Med*. 2008;49:1114–31.
2. Prekeges J. Gas-filled detectors. In: Prekeges J, editor. *Nuclear medicine instrumentation*. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2011. p. 3–16.
3. International Atomic Energy Agency. *Quality control of nuclear medicine instruments 1991*. IAEA-TECDOC-206. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1991.
4. International Atomic Energy Agency. *Quality assurance for radioactivity measurement in nuclear medicine*. Technical Reports Series No. 454. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2006.
5. American Association of Physicists in Medicine. *The selection, use, calibration, and quality assurance of radionuclide calibrators used in nuclear medicine*. AAPM Report No. 181. College Park, MD: American Association of Physicists in Medicine; 2012.
6. Gadd R, Baker M, Nijram KS, et al. Protocol for establishing and maintaining the calibration of medical radionuclide calibrators and their quality control. *Measurement Good Practice Guide No. 93*. Middlesex, UK: National Physical Laboratory; 2006.
7. Sokole EB, Płaszczyńska A, Britten A, et al. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:662–71.
8. Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. *Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear*. CNEN NN 3.05. Comissão Nacional de Energia Nuclear; 2013.
9. Ninkovic M, Raicevic JJ, Adrovic F. Air kerma rate constants for gamma emitters used most often in practice. *Radiat Prot Dosimetry*. 2005;115:247–50.