

DESEMPENHO DE CURIÔMETROS UTILIZADOS EM SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR

Alessandro M. da Costa e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

Resumo

Este trabalho mostra os resultados dos testes de controle de qualidade realizados em dois modelos de curiómetros utilizados numa Clínica de Medicina Nuclear de São Paulo. Um modelo utiliza uma câmara de ionização do tipo poço e o outro tubos Geiger-Müller em configuração de poço. Foram utilizadas fontes de referência de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137. Utilizou-se também uma fonte não selada de Tecnécio-99m. A partir destes testes foi comparado o desempenho dos dois modelos de curiómetros.

Palavras-chave: Curiómetro, Radiofármaco, Calibração.

I. INTRODUÇÃO

Os Serviços de Medicina Nuclear fazem uso de curiómetros, também chamados de calibradores de dose, para medir a atividade de radiofármacos administrados em pacientes para propósitos terapêuticos e/ou diagnósticos. A unidade SI de atividade é o becquerel (Bq). Um Bq é equivalente a uma taxa de desintegração de um átomo por segundo e é portanto uma quantidade muito pequena. Quantidades geralmente administradas para propósitos diagnósticos são da ordem de kBq e MBq. Para propósitos terapêuticos, atividades da ordem de GBq são administrados.

A norma CNEN-NN-3.05: "Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear" define o termo curiómetro (calibrador de dose) como o instrumento destinado a medir atividade de radionuclídeos utilizados em Medicina Nuclear. O termo dose tem uma definição quando aplicado às grandezas de radiação e outra quando aplicado no sentido médico. Deve ser interpretado neste caso como a quantidade de radiofármaco prescrita e não como a grandeza de radiação dose absorvida. Pelo motivo de a medicina nuclear ser uma especialidade que abrange medicina e radiação, a popularização do termo calibrador de dose é infeliz [1].

Um calibrador de dose consiste de uma câmara de ionização do tipo poço e de um eletrômetro com mostrador digital que permite uma leitura direta em unidades de atividade (múltiplos da unidade SI becquerel ou submúltiplos da unidade anteriormente empregada curie). A medida é feita utilizando uma condição fixa, pré-

definida do instrumento tal como uma tecla, um potenciômetro ou um fator de multiplicação eletronicamente ajustado para cada particular radionuclídeo. Os instrumentos utilizados neste trabalho indicam os valores somente em submúltiplos de curie (mCi) e por este motivo achou-se melhor utilizar esta unidade na apresentação dos resultados.

Vários fabricantes têm vendido calibradores de dose que não usam câmaras de ionização e sim outros detetores, tais como cintiladores plásticos e tubos Geiger-Müller em configuração de poço [1].

Um dos primeiros calibradores de dose para aplicações de medicina nuclear foi descrito e testado por Sinclair e Newbery [2], Bullen [3] e Sinclair et al. [4]. Mais detalhes sobre calibradores de dose podem ser encontrados em Suzuki et al. [5] e Sankaran e Gokarn [6]. Os detalhes técnicos dos instrumentos podem ser encontrados nos manuais dos fabricantes. Um exemplo de tais instrumentos é mostrado na Figura 1.

O objetivo deste trabalho é realizar os testes de controle de qualidade tais como testes de exatidão, precisão, reprodutibilidade e linearidade de resposta, utilizando dois sistemas de medida: um que usa câmaras de ionização e outro que usa tubos Geiger-Müller em configuração de poço. A partir destes testes foram comparados os desempenhos dos dois tipos de sistemas utilizados em uma clínica de Medicina Nuclear de São Paulo.



Figura 1. Calibrador de dose da Capintec, EUA.

II. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

Foram utilizados neste estudo dois sistemas de medida que serão chamados de sistema CI e sistema GM.

O sistema CI é um instrumento que consiste de uma câmara de ionização do tipo poço, blindada, com 3,2 mm de chumbo e pressurizada com argônio puro a 12 atmosferas e de uma unidade de controle com mostrador digital que permite uma leitura direta em milicurie (0,000 a 1,999). As dimensões do poço são 63,5 mm de diâmetro e 267 mm de profundidade. A unidade de controle possui um seletor que vem pré-calibrado para dez dos radioisótopos mais utilizados: Iodo-125, Gálio-67, Selênio-75, Molibdênio-99, Tecnécio-99m, Índio-111, Índio-113m, Iodo-123, Iodo-125, Xenônio-133. Outros emissores gama de 25 keV a 3 MeV podem ser medidos usando o seletor na posição DIAL e ajustando um potenciômetro. O instrumento possui ainda como acessório um recipiente que serve para frascos e seringas. O fabricante especifica uma acurácia de $\pm 5\%$ para o instrumento.

O sistema GM é um instrumento que consiste de dois detectores G-M em configuração de poço, com um mostrador digital que permite uma leitura direta em milicurie (0,001 a 999,9). O poço tem 49,5 mm de diâmetro e é blindado com 6,4 mm de chumbo em volta, 4,8 mm em cima e em baixo e ainda 12,7 mm em cima. O instrumento possui um seletor que vem calibrado de fábrica para cinco radioisótopos usados mais comumente: Gálio-67, Molibdênio-99, Tecnécio-99m, Iodo-131 e Xenônio-133. Outros emissores gama de 30 keV a 1,2 MeV podem ser medidos usando o seletor na posição DIAL e ajustando um potenciômetro. O instrumento possui também como acessório um recipiente para frascos de eluição de 10 a 30 ml. O fabricante não especifica uma acurácia total para o instrumento uma vez que esta deve ser determinada levando-se em consideração vários fatores tais como: erro no posicionamento da amostra, estabilidade e linearidade do detector, erro estatístico, acurácia da fonte de referência para a calibração.

Para os testes de exatidão, precisão e reprodutibilidade foram utilizadas fontes padrão de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137 calibradas com 5% de incerteza. A Tabela 1 mostra as atividades e as datas de referência das fontes padrão utilizadas. Para o teste de linearidade utilizou-se uma fonte de Tecnécio-99m em solução colocada em uma seringa.

Os procedimentos para a obtenção das medidas assim como os métodos de análise dos resultados foram

baseados em uma publicação da Agência Internacional de Energia Atômica [7]. Os limites de aceitação foram baseados nas recomendações da norma CNEN-NN-3.05: "Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear".

TABELA 1. Características das fontes padrão.

Fonte	Atividade(mCi)	Referência
Cobalto-57	5,32	24/01/97
Bário-133	0,238	09/01/97
Césio-137	0,245	09/01/97

III. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados das medidas com as fontes de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137 para os testes de precisão e exatidão e a diferença percentual entre a atividade medida e a média das medidas no sistema CI.

TABELA 2. Atividade medida A_i e desvio percentual P com relação à média da medidas no sistema CI (câmara de ionização)

Cobalto-57		Bário-133		Césio-137	
A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)
1,551	-0,13	0,233	-0,38	0,250	-0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,550	-0,19	0,235	-0,47	0,252	0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,252	0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,233	-0,38	0,250	-0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0

Pode-se ver que, para as três fontes, todas as medidas da atividade individuais estão com o desvio percentual P menor que 0,5%, que está dentro de $\pm 5\%$, que é o limite de aceitação para o teste de precisão. Para o teste de exatidão, o limite de aceitação para o desvio percentual Δ entre a média das atividades medidas e a atividade da fonte padrão com correção do decaimento é de $\pm 10\%$. Para a fonte de Cobalto-57 $\Delta=1,7\%$, para a fonte de Bário-133 $\Delta=7,3\%$ e para a fonte de Césio-137 $\Delta=4,2\%$. Os resultados confirmam um desempenho aceitável do sistema CI.

A reprodutibilidade do sistema CI é verificada rotineiramente desde a sua instalação, utilizando uma fonte de Césio-137. Até o momento, nenhum resultado individual de medidas diárias divergiu dos limites de

aceitação ($\pm 5\%$), o que indica que não há falha no desempenho do instrumento na condição de medida selecionada (Tecnécio-99m).

A Tabela 3 mostra os resultados do teste de linearidade de resposta pelo método do decaimento da fonte no sistema CI. Uma fonte de Tecnécio-99m com uma atividade inicial de 206 mCi foi usada.

TABELA 3. Linearidade do sistema CI.

t(horas)	A_m (mCi)	A_T (mCi)	Δ (%)
0	206,0	206,0	0
3	145,5	145,8	-0,20
6	103,1	103,2	-0,10
27	9,04	9,20	-1,74
30	6,30	6,52	-3,37
33	4,37	4,61	-5,21
48	0,815	0,821	-0,73
51	0,575	0,581	-1,03
54	0,411	0,411	0
57	0,285	0,291	-2,06

t=tempo decorrido

A_m =Atividade medida

A_T =Atividade corrigida pelo decaimento

Δ =Desvio percentual entre A_m e A_T

Pode-se observar pelos resultados da Tabela 3 que todas as medidas da atividade individuais estão com o desvio percentual em relação à atividade corrigida pelo decaimento menor que 5,5%, e portanto dentro de $\pm 20\%$, que é o limite de aceitação para o teste de linearidade. O desempenho aceitável para o teste de linearidade no sistema também pode ser confirmado, verificando-se a inclinação da reta e assegurando-se que ela é consistente com a meia-vida física do Tecnécio-99m (6,02 h).

A Figura 2 mostra a atividade medida em função do tempo decorrido em relação à primeira medida.

A Tabela 4 apresenta os resultados das medidas com as fontes de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137 para os testes de precisão e exatidão e a diferença percentual entre a atividade medida e a média das medidas no sistema GM.

Pode-se observar que para a fonte de Cobalto-57 todas as medidas da atividade individuais estão com o desvio percentual P dentro do limite de aceitação para o teste de precisão. O mesmo não ocorre para as fontes de Bário-133 e Césio-137. Para o teste de exatidão, têm-se os seguintes resultados para o desvio percentual Δ entre a média das atividades medidas e a atividade da fonte padrão com correção do decaimento: para a fonte de Cobalto-57 $\Delta=15,2\%$, para a fonte de Bário-133 $\Delta=-5,5\%$ e para a fonte de Césio-137 $\Delta=-20,2\%$. Estes resultados indicam a necessidade de reparo ou ajuste do calibrador de dose.

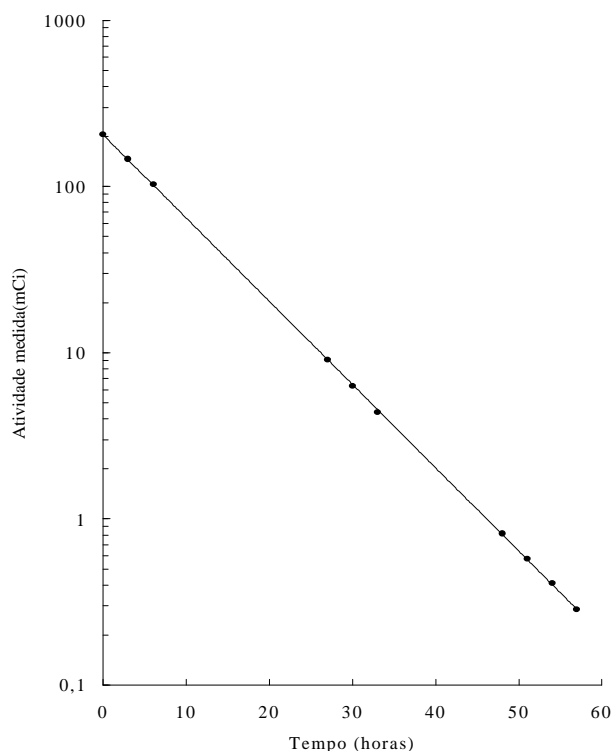


Figura 2. Linearidade do sistema CI.

TABELA 4. Atividade medida A_i e desvio percentual P com relação à média da medidas no sistema GM (Geiger-Müller)

Cobalto-57		Bário-133		Césio-137	
A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)
1,434	2,5	0,206	0	0,184	-3,1
1,369	-2,1	0,210	1,9	0,190	0
1,362	-2,6	0,192	-6,8	0,191	0,5
1,416	1,2	0,210	1,9	0,192	1,0
1,424	1,8	0,206	0	0,204	7,4
1,407	0,6	0,198	-3,9	0,191	0,5
1,407	0,6	0,217	5,3	0,183	-3,7
1,397	-0,1	0,210	1,9	0,192	1,0
1,353	-3,3	0,205	-0,5	0,181	-4,7
1,419	1,4	0,201	-2,4	0,187	-1,6

O propósito do teste de reprodutibilidade é verificar a reprodutibilidade dia a dia de um calibrador de dose em medidas de radionuclídeos comumente utilizados. O Serviço de Medicina Nuclear no qual foram realizados os testes não utiliza o sistema GM rotineiramente. A clínica não possui resultados de medidas diárias deste equipamento, o que não permitiu a realização do teste de reprodutibilidade. Assim sendo, realizou-se um teste que se pode chamar teste de repetividade, ou seja, testou-se o grau de concordância entre os resultados de medidas sucessivas em curto período de tempo. Foram feitas medidas sucessivas com as fontes de Cobalto-57 e Bário-133 nas condições de medida do Tecnécio-99m e calculou-se a sua média e o desvio padrão experimental. Os resultados obtidos foram $(1,45 \pm 0,06)$ mCi para a fonte de Cobalto-57 e $(0,33 \pm 0,04)$ mCi para a fonte de Bário-133. A norma CNEN não faz nenhuma recomendação em relação a este teste. O manual do fabricante também não especifica uma acurácia total para este instrumento, pois esta depende de vários fatores, como por exemplo do erro estatístico. Assim, a sugestão para quem utiliza um sistema como este é repetir medidas, uma vez que o valor médio de um grande número de medidas tem um erro estatístico menor, melhorando a acurácia do valor medido. Segundo o manual do fabricante, a média de dez medidas reduz o erro estatístico em 10%.

A Tabela 5 mostra os resultados para o teste de linearidade de resposta pelo método do decaimento da fonte no sistema GM.

A Figura 3 mostra a atividade medida em função do tempo decorrido em relação à primeira medida.

TABELA 5. Linearidade do sistema GM (Geiger-Müller).

t(horas)	A_m (mCi)	A_T (mCi)	Δ (%)
0	183,8	186,4	-1,4
2	149,2	148,1	0,7
4	113,8	117,5	-3,1
6	93,6	93,4	0,2
26,2	9,88	9,12	8,3
28	7,95	7,42	7,1
30	6,44	5,90	9,2
48	0,65	0,74	-9,0
50	0,52	0,59	-11,9
52	0,44	0,47	-6,4

t=tempo decorrido

A_m =Atividade medida

A_T =Atividade corrigida pelo decaimento

Δ =Desvio percentual entre A_m e A_T

Pode-se ver pelos resultados da Tabela 5 que todas as medidas da atividade individuais estão com o desvio percentual em relação à atividade corrigida pelo decaimento menor que 12%, e portanto dentro de $\pm 20\%$, que é o limite de aceitação para o teste de linearidade.

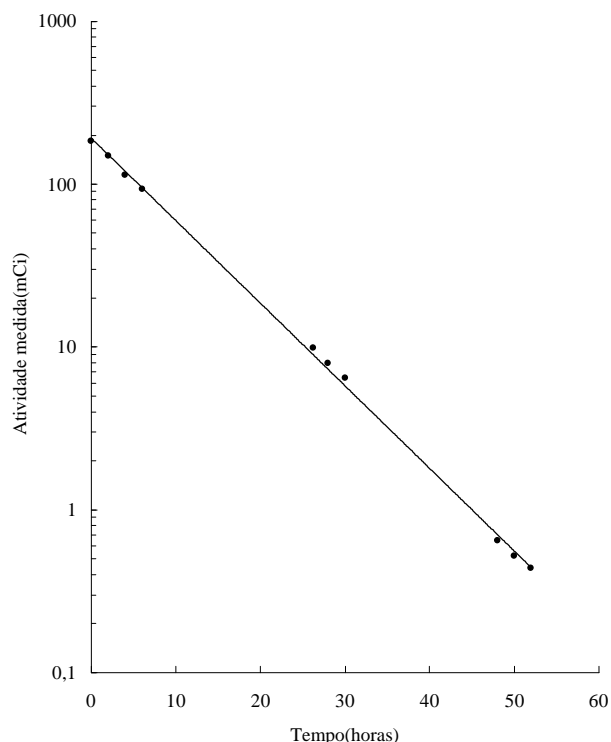


Figura 3. Linearidade do sistema GM

IV. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram um desempenho melhor do sistema CI em relação ao sistema GM.

A publicação [7] na qual foram baseados os procedimentos para a obtenção das medidas e os métodos de análise dos resultados, considera que os calibradores de dose são essencialmente câmaras de ionização. Pode ser que estes procedimentos, os métodos de análise e também os limites de aceitação não sejam completamente adequados para um sistema que utilize detectores G-M. Isto talvez possa explicar o melhor desempenho do sistema CI em relação ao sistema GM.

Por outro lado, vê-se a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia de calibração (ajuste) rotineira para estes instrumentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Dra. Maria Inês Calil Cury Guimarães, que permitiu a realização dos testes nos instrumentos da clínica do Centro de Medicina Nuclear do Instituto de Radiologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Agradecem também o suporte financeiro parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP), **A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures**, Report NCRP No. 58, p 259-265, Bethesda, 1985.
- [2] Sinclair W. K. and Newbery S. P., **A direct reading meter for measurement of highly active samples of gamma-emitting radioisotopes**, J. Sci. Instr. 28, p 234-236, 1951
- [3] Bullen M. A., **Ionization-chamber device for clinical gamma-ray use**, Nucleonics 11, no.12, p 15-17, 1953
- [4] Sinclair W. K., Trott N. G. and Belcher E. H., **The measurement of radioactive samples for clinical use**, Brit. J. Rad. 27, p 565-574, 1954
- [5] Suzuki A. and Suzuki M. N., **Analysis of a radioisotope calibrator**, J. Nucl. Med. Technol. 4, p 193-198, 1976
- [6] Sankaran A. and Gokarn R.S., **A compact wide range radioisotope calibrator with digital display using an air-equivalent re-entrant chamber**, Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33, p 341-347, 1982
- [7] International Atomic Energy Agency(IAEA), **Quality Control of Nuclear Medicine Instruments**, IAEA-TEC-DOC-317, Vienna, 1984

ABSTRACT

This work show the results of the quality control tests from two different dose calibrators of a Nuclear Medicine Clinic in São Paulo. One of them has an ionization chamber (well type) and the other, Geiger-Müller detectors (well configuration). As reference sources, Cobalt-57, Barium-133 and Caesium-137 were utilized. Also, an unsealed Technetium-99m source was used in some tests. Finally, the performance of both instruments was compared.