

# ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E DE SEGURANÇA DE MONITORES PORTÁTEIS DE RADIAÇÃO GAMA

Vítor Vívoló 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

Uma série de testes de desempenho foram aplicados a instrumentos monitores portáteis de radiação do tipo Geiger-Müller, câmara de ionização e cintilador, comumente usados no Brasil. O objetivo deste trabalho foi o estabelecimento de uma metodologia de testes para serem aplicados aos equipamentos monitores portáteis de radiação novos, assim como aos que já foram reparados (receberam manutenção corretiva). Os testes incluem a verificação da variação da resposta do instrumento com a tensão das baterias (por se tratarem de equipamentos portáteis), o comportamento dos equipamentos em ensaio de estouro de escala, as características construtivas (mecânicas, caixa, sonda, robustez, etc.) e facilidade de descontaminação.

**Palavras Chave:** monitores de radiação, radiação gama, testes de desempenho.

## I. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração do IPEN dispõe de fontes radioativas gama, beta e alfa com diversas atividades, com as quais são calibrados monitores portáteis segundo as normas e as recomendações internacionais [1,2].

São oferecidos serviços de calibração de instrumentos tanto para o IPEN como para instituições externas. Como controle de qualidade dos serviços prestados, desde 1980 o Laboratório vem participando das intercomparações anuais promovidas pelo Laboratório Nacional de Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN, Rio de Janeiro. O número de equipamentos calibrados vem aumentando ao longo dos últimos anos; em 2000 foram cerca de 1750 monitores portáteis. Destes, muitos dos equipamentos de usuários externos, já sofreram alterações consideráveis, como a troca do próprio tubo Geiger-Müller, nem sempre substituído por outro do mesmo modelo. A consequência imediata é a variação da dependência energética do detector e a descaracterização do equipamento pela marca e modelo.

Na manutenção corretiva de monitores portáteis de radiação, devem ser utilizados componentes eletroeletrônicos com características no mínimo equivalentes àqueles especificados pelo fabricante [3]. Periodicamente, durante a vida útil do instrumento, devem ser realizados testes, para verificar se os mesmos preservam

suas características operacionais, originais de fábrica, uma vez que elas podem ser afetadas pelo envelhecimento de seus componentes (peças), assim como após sofrerem reparos ou manutenção, com substituição de peças ou componentes [3]. As características operacionais de um equipamento podem ser definidas por meio de testes especiais, que indicam o quão próximas do esperado estão as leituras realizadas pelo instrumento nas condições reais de operação [3].

O objetivo deste trabalho é o estabelecimento de um programa de testes aplicáveis aos monitores portáteis de radiação gama.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um irradiador da STS Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, Alemanha, modelo OB85, com uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ , com atividade nominal de 20,6 GBq (junho/2000), uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$  com atividade nominal de 657 GBq (junho/2000) e uma fonte de  $^{241}\text{Am}$  com atividade nominal de 7,3 GBq (junho/2000). Além disso, foi utilizada uma fonte extra de  $^{137}\text{Cs}$ , Graetz, modelo NW 125, com atividade de 203 MBq (junho/2000).

Foram testados 7 monitores portáteis de radiação do tipo Geiger-Müller, 6 câmaras de ionização do tipo selado, 2 câmaras de ionização do tipo não selado e 1 monitor de radiação do tipo cintilador. As leituras efetuadas com as

câmaras de ionização do tipo não selado foram corrigidas para as condições de referência de temperatura e pressão (20,0±0,1) °C e (101,3±0,1) kPa, e operam com umidade relativa do ar em torno de 50%. Para fins de identificação dos equipamentos durante os testes, eles receberam um código, levando-se em conta o tipo e modelo do elemento detector, conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1. Relação dos Equipamentos Portáteis de Radiação Testados

Marca	Modelo	Tipo	Código
Ludlum	3	Geiger-Müller	A1, A2, A3, A4 e A5
Nortron	NDG 1000 A	Geiger-Müller	A6
IPEN	PI 760	Geiger-Müller	A7
Victoreen	450 P	Câmara de ionização	C1, C2, C3, C4
Nardeaux	Babyline 81	Câmara de ionização	C5, C6
Victoreen	Thyac III	Cintilador	T1

### III. RESULTADOS

#### Estouro de Escala (“Saturação”).

O teste de estouro de escala faz parte dos ensaios denominados de “Condições de Segurança”. Para taxas de exposição correspondendo a indicações acima do limite superior de qualquer faixa nominal, o mostrador do instrumento deve acusar estouro de escala [4]. As qualidades dos campos de radiação que devem ser empregados neste ensaio são fornecidas pela Norma ISO 4037-1979 (E) [2].

Os detectores foram submetidos à radiação gama da fonte de  $^{137}\text{Cs}$  proveniente do irradiador, devidamente alinhado com o sistema de posicionamento do equipamento, composto por uma mesa com altura ajustável, sobre um trilho metálico onde se pode variar a distância entre a fonte de radiação e o equipamento, mantendo-se o centro do elemento detector. Os ensaios de estouro de escala ou saturação são necessários para verificação das condições de segurança dos equipamentos; é possível avaliar se o equipamento responde a taxas de exposição altas de forma instantânea, permitindo que o equipamento indique uma situação de anormalidade, como uma situação de exposição acidental do usuário a taxas de exposição excessivas, ou acima dos limites de leitura do equipamento, alertando o usuário para uma situação de risco pessoal e patrimonial. É imprescindível a realização periódica deste ensaio, e caso o equipamento não seja aprovado, esta situação deve ser notificada ao usuário, para a tomada de providências, como conserto ou substituição de peças, se for o caso. Neste ensaio foi utilizado o irradiador com a fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , onde

os instrumentos foram submetidos a taxas de exposição 10 vezes maiores que os respectivos fundos de escala por cerca de 5 minutos.

Este ensaio faz parte dos procedimentos adotados nas rotinas de calibração de equipamentos portáteis de radiação do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN (LCI).

Os equipamentos que utilizam câmara de ionização como elemento detector não puderam ser testados, por falta de condições técnicas, pois eles necessitam de taxas de exposição muito altas para realização de ensaio de estouro de escala, e o sistema utilizado para o teste não possui condições de fornecer taxas de exposição tão altas [da ordem de  $1,29 \times 10^{-1} \text{ C}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$  (500 R/h)]. As câmaras de ionização operam com taxas de exposição mais altas (característica construtiva dos seus elementos detectores), em relação aos detectores Geiger-Müller ensaiados.

Os equipamentos foram testados com valores de taxas de exposição diferentes, dependendo do modelo do aparelho, porque eles possuem escalas de indicação de radiação com fundo de escala (limite de leitura) também diferentes. Desse modo, as taxas de exposição empregadas no ensaio tiveram de ser adequadas a cada fundo de escala de cada modelo de aparelho, ou melhor, compatível com a escala dos mesmos. A incerteza nas taxas de exposição não foi superior a 5 %.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos dos testes de estouro de escala (“saturação”) dos monitores portáteis de radiação. Verifica-se que todos os detectores ensaiados atendem ao recomendado pela Norma IEC 395 [4].

TABELA 2. Ensaio de Estouro de Escala dos Monitores Portáteis de Radiação

Equipamento	Taxa de Exposição ( $\text{C}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	Resultado
A1	$5,16 \times 10^{-4}$	Aprovado
A2	$5,16 \times 10^{-4}$	Aprovado
A3	$5,16 \times 10^{-4}$	Aprovado
A4	$5,16 \times 10^{-4}$	Aprovado
A5	$5,16 \times 10^{-4}$	Aprovado
A6	$25,8 \times 10^{-4}$	Aprovado
A7	$2,58 \times 10^{-4}$	Aprovado
T1	$2,58 \times 10^{-4}$	Aprovado

#### Varição da Resposta com a Tensão da Bateria.

Por se tratar de equipamentos portáteis, deve-se tomar cuidados especiais com as baterias que fornecem a energia elétrica necessária para o funcionamento autônomo deles. Segundo a norma IEC 395 [4] deve haver no equipamento uma marcação em escalas analógicas, que indique o estado das baterias para o qual o desempenho do

equipamento não seja afetado. Para mostradores digitais, deve existir uma indicação do estado "não adequado" das baterias por meio de um dispositivo visual ou sonoro. As baterias devem ser substituíveis individualmente e a polaridade claramente assinalada no instrumento. Para a realização deste ensaio, as baterias dos equipamentos foram substituídas por fontes de tensão contínua, que executam a mesma função das baterias com a vantagem de permitirem o ajuste do valor da tensão a ser fornecida ao monitor portátil de radiação.

Utilizou-se a fonte de radiação gama de  $^{137}\text{Cs}$ , com 203 MBq de atividade, para se obter a medida de radiação após efetuada a alteração da tensão de alimentação do equipamento para os valores de tensão nominal (fornecida pelo fabricante, ou que consta nos manuais do aparelho), e tensões máxima e mínima. Estas correspondem às deflexões máxima e mínima do ponteiro do equipamento na posição de verificação do estado de bateria do aparelho na escala apropriada.

Os valores obtidos foram registrados para avaliação do desvio na leitura com a variação da tensão de alimentação do equipamento. Deseja-se saber o quanto são afetadas as medidas de radiação feitas com o monitor de radiação, quando a sua tensão de alimentação variar.

A Tabela 3 apresenta os dados dos testes de variação da leitura dos monitores portáteis de radiação com a tensão da bateria. Os dados que constam na tabela são fornecidos em porcentagem de desvio de leitura, com relação aos valores obtidos para tensão de operação nominal. Segundo a Norma IEC 395 [4], a indicação da radiação não deve diferir em mais que  $\pm 10\%$  do valor medido com a tensão nominal em condições extremas de variação, ou tensão de alimentação máxima ou mínima. Dos valores obtidos verifica-se que apenas os equipamentos denominados A4, A7, C1, C3 a C6 e T1 foram aprovados neste teste, sendo que os demais aparelhos não seguiram a recomendação da norma. Os maiores erros de leitura ocorrem quando as tensões das baterias estão abaixo do seu valor nominal (1,5 volts); isto pode ocorrer no caso das baterias parcialmente descarregadas (com pouca carga e tensão inferior à nominal).

Este ensaio é muito importante, pois não há atualmente, entre os fabricantes, uma padronização das tensões nominais entre pilhas alcalinas em relação às pilhas comuns. Desse modo, verificou-se que o comportamento dos monitores portáteis de radiação testados quanto à variação de leitura com a tensão das baterias mostram que as suas condições de funcionamento podem ser afetadas com a variação da tensão das baterias.

Um estudo semelhante foi realizado por Ramos [5], onde os resultados obtidos naquele ensaio para os equipamentos A6 e T1, se aproximam dos valores encontrados neste ensaio.

TABELA 3. Variação da Leitura com a Tensão da Bateria dos Monitores Portáteis de Radiação

Equipamento	Variação da Leitura para Tensão de Alimentação Máxima (%)	Variação da Leitura para Tensão de Alimentação Mínima (%)
A1	4,7	17,4
A2	8,0	12,3
A3	6,3	10,6
A4	5,9	4,8
A5	11,4	7,9
A6	11,5	2,9
A7	4,5	11,0
C1	3,7	2,2
C2	1,3	16,3
C3	0,3	1,2
C4	1,6	9,3
C5	5,8	10,6
C6	7,3	10,1
T1	6,0	13,0

### Características Construtivas.

As informações relativas às características construtivas dos equipamentos contidas nos manuais de instrução e de serviço podem incluir dados sobre as dimensões; peso; tipo de radiação que o equipamento está apto a medir; tipo, quantidade e duração das pilhas (no caso de uso contínuo do mesmo); tipo de indicação da leitura (mostrador analógico ou digital); precisão na leitura realizada pelo equipamento; material de confecção da caixas e sondas e respectivas dimensões, etc. A análise das informações contidas nos manuais de instrução dos aparelhos permitem a escolha do equipamento mais adequado para o tipo de trabalho que se deseja realizar, permitindo obter o melhor desempenho do aparelho.

Alguns parâmetros (ou características construtivas) podem limitar a utilização de um equipamento, como por exemplo: peso excessivo (equipamentos portáteis, utilizados durante longas rotinas de medida), dimensões ou formato do aparelho não compatíveis com o espaço (medidas em frestas, cavidades, etc.) disponível para a leitura.

Uma análise "custo-benefício" também deve ser levada em consideração na hora da aquisição e utilização de um instrumento de medida da radiação. Por meio das informações contidas nos manuais de instrução, pela utilização (manipulação dos aparelhos nos ensaios, etc.) e ainda por meio de uma inspeção visual dos equipamentos, pode-se relatar algumas características operacionais dos equipamentos ensaiados: os equipamentos A1 a A5 possuem caixa moldada em alumínio com peso de 1,36 kg (sem a sonda e as baterias); dimensões : 21,60 cm (comprimento) x 8,90 cm (largura) x 10,67 cm (altura);

indicação da leitura por meio de mostrador analógico (galvanômetro) com fundo pintado em branco e numerais em preto (o que torna mais fácil a leitura do valor indicado); utilizam somente duas pilhas (grandes tipo “D”) o que reduz o peso final do conjunto (desejável em equipamentos portáteis). Este tipo de equipamento pode operar com diferentes sondas.

O equipamento A6 possui caixa metálica estampada em ferro (material mais pesado que o alumínio desde que ambos tenham espessuras equivalentes) e dimensões: 28,5 cm x 10,2 cm x 16,5 cm; mostrador de boas dimensões (7,8 cm x 4,1 cm), porém com fundo pintado em preto e numerais em branco e amarelo, o que dificulta a leitura do valor indicado; manopla de empunhadura anatômica; e utiliza quatro pilhas médias (tipo “C”).

O equipamento A7 possui caixa moldada em alumínio (3,18 mm de espessura) com peso de 1,5 kg (com a sonda e as pilhas); dimensões: 23,5 cm x 10,0 cm x 17,5 cm; utiliza quatro pilhas grandes (tipo “D”) e tem como inconveniente aumentar o peso do conjunto (aparelho portátil); pode utilizar diferentes sondas; sonda confeccionada em alumínio (corpo) e ponteira em aço inoxidável (maior resistência e durabilidade); mostrador analógico com fundo pintado em branco e numerais e unidades grafados na cor preta (permitem boa visualização).

Os equipamentos C1 a C4 possuem caixa confeccionada em plástico de alta resistência (tipo ABS), proporcionando um peso final baixo do conjunto (0,91 kg); indicação da leitura por meio de mostrador digital de 2 1/2 dígitos com indicação numérica e por barra (“bargraph”); dimensões: 21 cm x 11,4 cm x 18 cm; utiliza duas baterias de 9 volts (provocam pouco aumento de peso no conjunto).

Os equipamentos C5 e C6 possuem caixa confeccionada em alumínio e policarbonato (tipo “Makrolon”), o que reduz sensivelmente o peso do conjunto (1,65 kg); dimensões: 29,0 cm x 11,5 cm x 23,6 cm; indicação da leitura por meio analógico (galvanômetro) com fundo pintado na cor branca e numerais e unidades na cor preta, permitindo uma clara visualização do valor indicado (medido). Como os equipamentos normalmente são utilizados na posição horizontal, os indicadores de leitura (galvanômetro) estão posicionados com uma inclinação de cerca de 30°, permitindo uma boa visualização do valor indicado; utilizam quatro pilhas médias (tipo “C”).

O equipamento T1 possui caixa confeccionada em alumínio e ferro, pesando cerca de 1,8 kg (sem a sonda) e dimensões de 22,3 cm x 11,3 cm x 20,3 cm; pode utilizar diferentes sondas (nestes ensaios utilizou-se uma sonda cintiladora); possui indicação de leitura analógica (galvanômetro) com sistema de vedação à prova de água, assim como o equipamento todo (caixa, conectores, etc.)

As características operacionais dos equipamentos medidores de radiação devem ser bem conhecidas pelos seus usuários, de modo que se possa empregar o equipamento mais adequado ao tipo de trabalho que se deseja executar, obtendo o melhor desempenho do aparelho (conhecendo suas facilidades e limitações operacionais).

O instrumento deve ser construído de modo que seja fácil a sua descontaminação. Sua superfície externa deve ser lisa, não porosa e sem frestas.

Os equipamentos A1 a A5 possuem nomenclatura das escalas e funções em serigrafia e pintura em poleuretano (pintura de alta resistência), o que permite uma boa limpeza da caixa em caso de contaminação externa; possuem o acesso ao compartimento das baterias pelo lado superior das caixas, constituindo uma facilidade quando da substituição das baterias, porém têm como inconveniente as frestas originadas pela tampa do compartimento, que em caso de contaminação externa do equipamento pode levar parte desta contaminação para o interior dele.

O equipamento A6 possui sua nomenclatura em serigrafia e a pintura é recoberta com um verniz espesso do tipo “verniz-epoxi” também de alta durabilidade, o que facilita o procedimento de retirada de contaminação superficial com material radioativo. A tampa superior do equipamento é fechada hermeticamente por meio de quatro parafusos; existe ainda um rebaixo interno na parte inferior da tampa que forma um perfeito encaixe (dando boa vedação) com a caixa do aparelho.

O equipamento A7 possui uma pintura em tinta esmalte recoberta com verniz-epoxi (alta resistência) e a nomenclatura em serigrafia, proporcionando uma descontaminação relativamente fácil (superfície pouco porosa e lisa), porém tem o inconveniente que a caixa do aparelho é formada por diversas peças de alumínio que, fixadas, formam a caixa como um todo; desse modo, surgem muitas frestas, na intersecção das peças formadoras da caixa.

Nos equipamentos C1 a C4, apesar de serem bem vedados, ou melhor, eles possuem anéis de borracha entre as tampas superiores e as caixas (fixadas por parafusos), as superfícies são de plástico e relativamente porosas, o que pode dificultar a descontaminação do equipamento.

Com respeito aos equipamentos C5 e C6, por possuírem dois tipos de materiais na confecção da caixa e sonda, pode-se concluir que a caixa confeccionada em alumínio com pintura esmalte é de fácil limpeza, auxiliando em caso de descontaminação. No caso específico da sonda detectora (câmara de ionização), ela é confeccionada em policarbonato (material mais poroso que o alumínio revestido de tinta esmalte), desse modo dificultando uma possível limpeza da sua superfície.

O aparelho T1 possui uma caixa de alumínio e ferro com pintura opaca (sem brilho, um pouco rugosa), que pode dificultar um pouco a limpeza no caso de contaminação do aparelho; no entanto, possui a seu favor a vedação à prova de água, inclusive para os conectores e o galvanômetro (segundo seu fabricante).

As análises realizadas neste ensaio são o resultado da observação (inspeção visual e manuseio) dos equipamentos, não tendo sido realizado nenhum ensaio destrutivo com os aparelhos, de modo a preservar suas características operacionais atuais.

#### IV. CONCLUSÕES

#### Facilidade de Descontaminação.

Os testes de desempenho de monitores de radiação podem ser feitos pelo fabricante, pelo usuário ou num laboratório independente, mesmo antes da comercialização de um equipamento novo. Dos dados obtidos, verifica-se que os detectores do tipo Geiger-Müller obtiveram os piores resultados no ensaio de variação da leitura com a tensão da bateria; do mesmo modo o cintilador apresentou resultados insatisfatórios para este ensaio, principalmente para tensão de bateria mínima. As câmaras de ionização foram as mais bem sucedidas nos testes de variação da tensão de bateria (tensão de alimentação máxima). As características construtivas e a facilidade de descontaminação dos medidores portáteis de radiação devem ser levadas em consideração quando da escolha de um equipamento, principalmente dependendo do tipo de trabalho a ser desenvolvido (tipo de campo de radiação, local: interno, externo, sujeito a elementos contaminantes, etc.).

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro parcial.

### REFERÊNCIAS

- [1] International Atomic Energy Agency. Calibration of radiation protection monitoring instruments, IAEA, Vienna, 2000.(Safety Reports Series No.16).
- [2] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as function of energy and angle of incidence. ISO, Genève, Aug. 1997. (ISO/DIS 4037-3).
- [3] American National Standard. Radiation protection instrumentation test and calibration portable survey instruments. ANSI, New York, Dec. 1997 (ANSI N323 A: 1997).
- [4] International Electrotechnical Commission. Portable X and gamma radiation exposure rate meters and monitors for use in radiological protection. Geneva, 1972 (IEC 395).
- [5] Ramos, M.M.O. Testes de bateria de monitores de radiação portáteis - eles são confiáveis?, 7º Congresso Geral de Energia Nuclear, Belo Horizonte, 31 de Agosto a 03 de Setembro, 1999.

### ABSTRACT

A series of type tests recommended by international standards was applied to the gamma radiation monitoring survey meters (Geiger-Müller type, ionization chambers and a scintillator) commonly used in Brazil. The objective was to establish a routine test methodology to be applied to new and to repaired instruments. The tests included the verification of response with the battery voltage, overload characteristics, operation and mechanical characteristics and ease of decontamination.