

SISTEMA DE DETECÇÃO DE RADIAÇÃO NACIONALIZADO PARA EMBARCAÇÕES

Mário Monteiro Morgado^{*}, Marco Antônio P.V. de Moraes^{**},
Tufic Madi Filho^{**} e Nelson Minoru Omi^{**}.

***Eletrobras Termonuclear S/A - ELETRONUCLEAR (desde 10/97)**
Rodovia Rio-Santos (BR101) Km 132 - Cep.: 23900-000 - Praia de Itaorna
Angra dos Reis/RJ - Brasil.

Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (ate 10/97)
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cid. Universitária Cep.: 05508-900 - São Paulo/SP.

****Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP**
Caixa Postal 11049 - Pinheiros - São Paulo - Brasil

RESUMO

Um sistema de detecção de radiação nacionalizado para embarcações foi montado com o objetivo de realizar monitoração contínua do ambiente (água e ar), para salvaguardar a tripulação e proteger a embarcação de danos provenientes da contaminação radioativa da água do mar. Os detectores que compõem o sistema são cintilador plástico e câmara de ionização.

PALAVRAS-CHAVE: Cintilador Plástico, Câmara de Ionização, Embarcação e Sistema de Aquisição de Dados.

I - INTRODUÇÃO

O sistema RADIAC é utilizado para a detecção de radioatividade a nível de doses e de contaminação, e encontra-se atualmente instalado em embarcações [1]. Em algumas delas este sistema se encontra desativado por problemas eletrônicos, de calibração e, principalmente, por falta de componentes eletrônicos, tipo válvulas eletrônicas amplificadoras, que não são mais encontradas, no mercado nacional e internacional, para substituição.

Este sistema é composto por detectores tipo câmara de ionização e Geiger-Müller, apropriados para a monitoração de doses, taxas de doses, níveis de atividade radioativa na água do mar, devido a radiação gama proveniente de explosões de artefatos nucleares.

O objetivo deste trabalho é montar um novo sistema para substituir e modernizar o sistema RADIAC. O projeto do novo sistema de monitoração é constituído por um detector cintilador plástico [2] e uma câmara de ionização, para medida de taxa de dose e dose total, e eletrônica associada para ambos. Para aquisição de dados foi montado um programa para micro-computadores tipo P.C., cujo objetivo é realizar o registro visual e impresso, além de armazenamento em disquete de todos os dados do sistema.

Para o sistema de medida de contaminação de água do mar foi construído um detector cintilador plástico que possui aproximadamente 100 mm de comprimento por 50 mm de raio de base. Este detector é posicionado dentro de um arranjo de 500 cm³ de volume, no qual circula água sob regime forçado. Este arranjo é blindado para minimizar a interferência da radiação de fundo (Figura 1).

Abaixo é descrito como foram constituídos os sistemas que compõem este sistema de detecção de radiação.

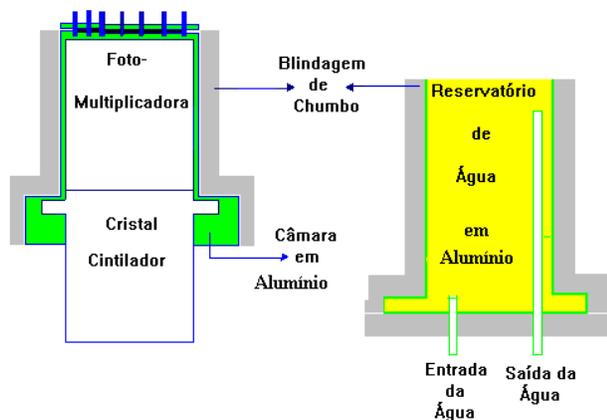


FIGURA 1: Desenho do detector utilizado no sistema de medida de contaminação de água do mar (ver detalhes na Figura 2).

II - SISTEMA DE MEDIDAS

O sistema de detecção de radiação para embarcações será dividido em três sub-sistemas de medidas, conforme descrito abaixo [3]:

1. Sub-sistema de medida de contaminação de água do mar;
2. Sub-sistema de medida de taxa de dose e dose total;
3. Programa de aquisição de dados (terceiro sub-sistema).

O sub-sistema de medida de contaminação de água do mar é composto por três partes:

- a) Arranjo mecânico composto por uma bomba hidráulica, uma caixa de acrílico que comporta um volume de água de 17940 cm³ e um cilindro de alumínio de 500 cm³ de volume (a água fica circulando em circuito fechado, Figura 2).
- b) Detector plástico cintilador construído no IPEN/CNEN-SP, dentre as suas características, pode-se citar: não é higroscópico e pode ser construído em diversos tamanhos e formatos. Assim sendo, foi construído na forma e tamanho adequado para este trabalho e fica diretamente em contato com a água (Figura 2).
- c) Eletrônica associada ao detector: uma foto-multiplicadora, base para foto-multiplicadora, pré amplificador para cintilador, amplificador, analisador monocanal e um contador-temporizador. Foi dada preferência a equipamentos de fabricação nacional, para facilitar sua manutenção e/ou reposição.

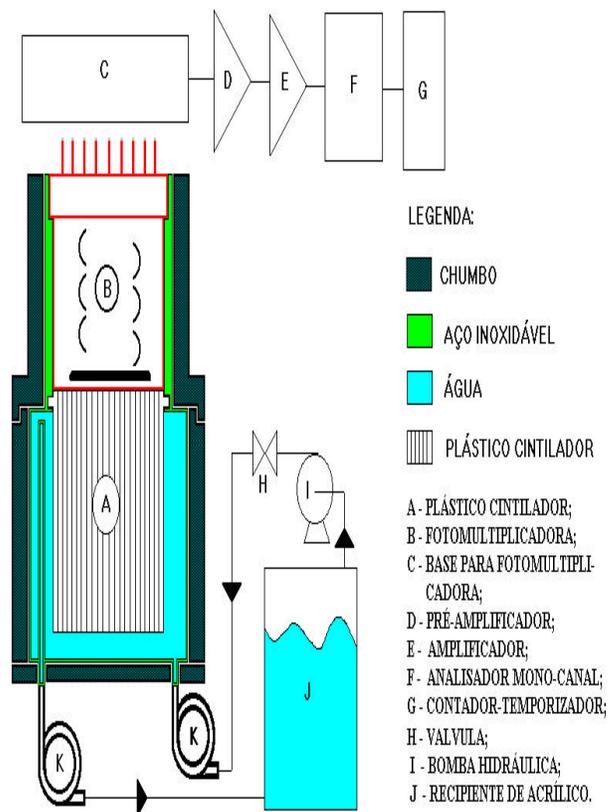


FIGURA 2: Sistema de Medida de Contaminação de Água do Mar.

No sub-sistema de medida de taxa de dose e dose total foi utilizado uma câmara de ionização, fabricada no IPEN/CNEN-SP [4], com uma ampla faixa de operação linear, que permite a utilização a partir de 0,5 µSv/h até 1,0 Sv/h (para medidas de radiação gama 0,5 µGy/h até 1,0 Gy/h), em instalações nucleares com diferentes níveis de radioatividade. Para operação desta câmara utilizou-se uma eletrônica associada composta por equipamentos modulares. A eletrônica utilizada foi:

- . Bastidor Bin, marca MICRONAL, mod.: 1021A;
- . Fonte de Alta Tensão, marca MICRONAL, mod.: 1023A;
- . Medidor de Corrente Linear, marca IEN, mod.: 9116;
- . Eletrômetro - marca KEITHEY - mod.: 617.

No programa de aquisição de dados foi utilizado um "software", cujo nome é "LABWINDOWS" e placas de aquisição de dados.

III - DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

Para o sub-sistema de medida de contaminação de água do mar foram realizados os seguintes testes:

- a) Construção da curva de alta tensão, para determinar a melhor tensão de operação do sistema;
- b) Determinação da curva de eficiência para radiação gama; e
- c) Teste de sensibilidade do sistema.

Para a determinar a tensão de operação, utilizou-se uma fonte emissora gama, ^{137}Cs [3].

Para determinar a eficiência utilizou-se um conjunto de fontes padrões [5]. As fontes radioativas utilizadas possuem energias entre 50 keV e 1333 keV.

Para determinar a sensibilidade do sistema utilizou-se traçadores radioativos líquidos, emissores gama (^{131}I , ^{137}Cs , ^{60}Co), que foram sendo adicionados na água do mar em quantidades crescentes (0,1 ml), em um circuito hidráulico fechado.

Com o sub-sistema de medida de taxa de dose e dose total realizou-se os seguintes testes:

- . Determinação do valor da tensão de operação na faixa citada pelo fabricante;
- . Variação da resposta da câmara em função da energia da radiação gama (^{60}Co e ^{137}Cs);
- . Obtenção das curvas de calibração, para serem colocadas no programa de aquisição de dados, em função da tensão (DC) de saída do eletrômetro.

Abaixo descrevemos todos os resultados apresentados a nível laboratorial com os sistemas que compõem todo o sistema de detecção.

IV - RESULTADOS

Dos testes com o sub-sistema de medida de contaminação de água do mar foram obtidos os seguintes resultados:

Com os valores da Tabela 1 foi traçado o gráfico da Figura 3. Deste gráfico foi obtido o valor mais adequado da alta tensão para operação do detector, **1300V**.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos valores de eficiência, do sistema em estudo, em função da energia da radiação gama. O gráfico da Figura 4, construído com estes valores, apresenta a curva de eficiência em função da energia da radiação gama.

A maior incerteza no valor de eficiência de detecção foi estimada em 6%, devido ao erro das atividades das fontes padrões [5].

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos valores da sensibilidade do sistema em função da energia da radiação gama. O gráfico da Figura 5, construído com estes valores, apresenta a curva de sensibilidade em função da energia da radiação gama.

TABELA 1: Valores das medidas para determinação do valor de tensão de operação do detector.

ALTA-TENSÃO (V)	VALORES DAS CONTAGENS (cps)
700	3 ± 2
750	186 ± 14
800	3863 ± 62
850	12709 ± 113
900	17744 ± 133
950	21050 ± 145
1000	23375 ± 153
1050	25044 ± 158
1100	26353 ± 162
1150	27429 ± 166
1200	28295 ± 168
1250	28935 ± 170
1300	29498 ± 172
1350	30009 ± 173
1400	31364 ± 177
1450	33412 ± 183

As medidas da sensibilidade do sub-sistema, foram realizadas adicionando-se na água, sucessivamente 0,1 ml de ^{131}I .

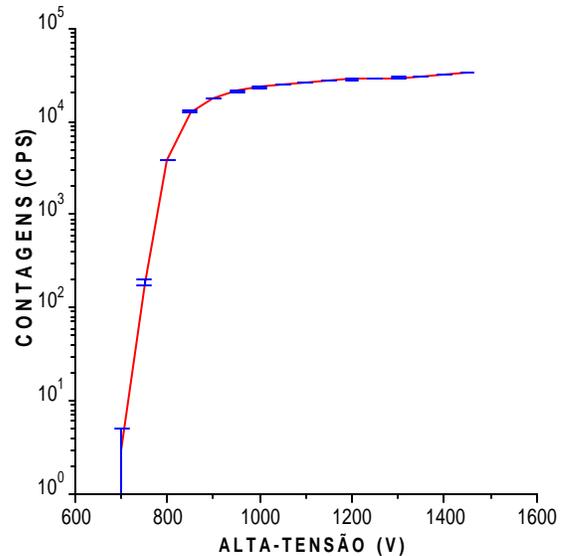


FIGURA 3. Curva de alta tensão do sistema de detecção.

TABELA 2: Eficiência do Sistema para várias energias da radiação gama.

RADIONUCLÍDEOS	ENERGIA (keV)	EFICIÊNCIA (%)
^{241}Am	59,5	$31,8 \pm 1,3$
^{57}Co	129,3	$27,6 \pm 1,1$
^{203}Hg	279,2	$24,8 \pm 1,0$
^{137}Cs	661,6	$21,5 \pm 0,9$
^{54}Mn	834,8	$19,0 \pm 1,1$
^{60}Co	1252,8*	$13,2 \pm 0,5$

Obs.: Energia Média da ^{60}Co .

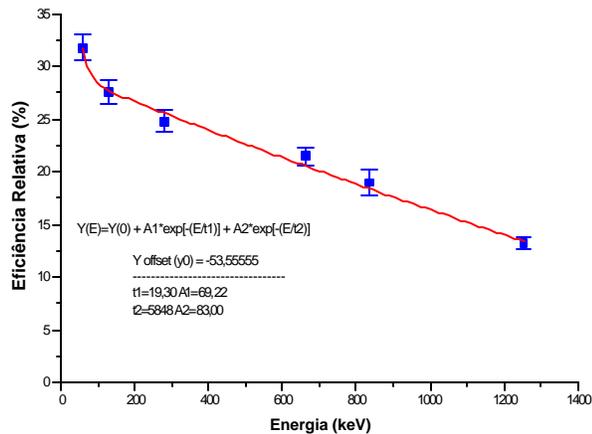


FIGURA 4: Variação da eficiência do sistema de detecção, em função da energia da radiação gama.

TABELA 3: Sensibilidade do detector cintilador plástico em função da radiação gama.

Radionuclídeos	Energia (keV)	Sensibilidade (Bq/cm ³)
^{131}I	362,0	$(4,13\text{E}-2 \pm 4,00\text{E}-4)$
^{137}Cs	661,6	$(6,02\text{E}-2 \pm 2,90\text{E}-3)$
^{60}Co	1252,8*	$(9,80\text{E}-2 \pm 6,00\text{E}-4)$

Obs.: Energia Média da ^{60}Co .

Com os testes do sub-sistema de medida de taxa de dose e dose acumulada foram obtidos os seguintes resultados abaixo discriminados.

A tensão de operação do sub-sistema foi determinada experimentalmente utilizando-se fontes de 800 V.

Na tabela 4 apresentamos os resultados obtidos da variação da resposta do detector em função da energia da radiação gama e com estes foi construído o gráfico da figura 6.

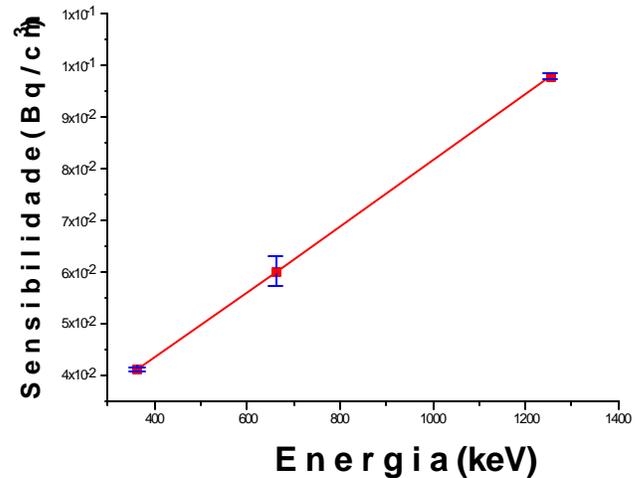


FIGURA 5: Variação da Sensibilidade em função da variação energética da radiação gama.

TABELA 4: Valores Médios da Corrente em função da Taxa de Exposição para ^{137}Cs e ^{60}Co .

Taxa de Exposição (mR/h)	Corrente (pA)			
	^{137}Cs		^{60}Co	
	Leitura	Erro	Leitura	Erro
5	4,30E0	2,00E-1	2,60E0	2,00E-1
51	3,05E1	3,00E-1	2,76E1	5,00E-1
514	2,48E2	8,00E-1	2,78E2	2,00E0

Para a obtenção das curvas de calibração a serem utilizadas no programa de aquisição de dados foi utilizado também o Laboratório de Calibração do IPEN/CNEN-SP, utilizando-se fontes padrões emissoras gama de ^{137}Cs e ^{60}Co .

Para a taxa de dose acumulada utilizou-se as curvas obtidas acima, multiplicando-se o tempo medido pelo valor da taxa de dose obtida no final de cada medida, sendo este cálculo realizado pelo programa de aquisição de dados.

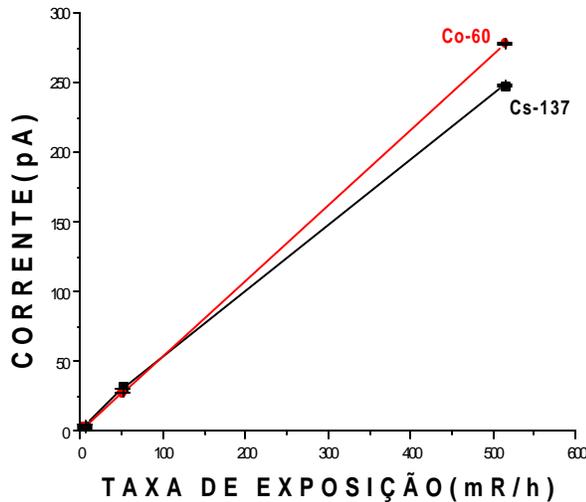


FIGURA 6: Variação da Corrente (pA) em função da Taxa de Exposição com Variação Energética Gama (^{137}Cs e ^{60}Co).

O programa de aquisição de dados foi construído em duas telas, respectivamente, principal e secundária [3]. Na tela principal é possível visualizar-se todos os dados da monitoração de taxa de dose e dose acumulada, de cada ponto da embarcação e do sub-sistema de medida de contaminação de água do mar. Cada ponto de monitoração é uma pequena janela da janela principal e um gráfico representa a variação da taxa de dose em função do tempo de cada ponto. Na tela secundária são colocadas as curvas de calibração os níveis de alarme, sendo que todos estes só serem alterados através de uma senha, para proteger o sistema. Nas figuras 7 e 8 são apresentadas exemplo das telas acima.

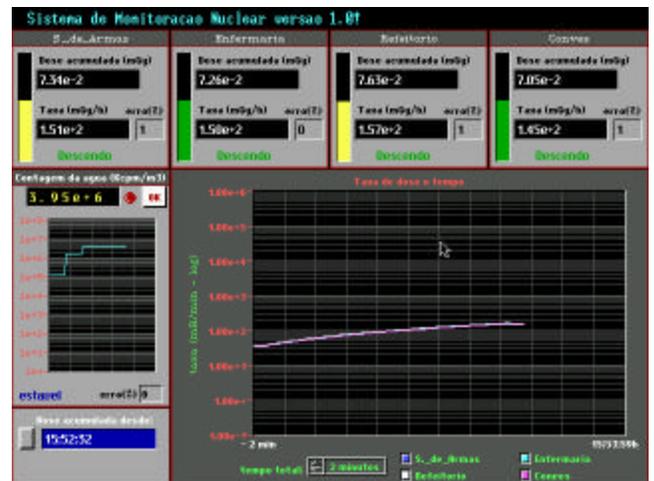


FIGURA 7: Fotografia da tela principal.

FIGURA 8: Fotografia da tela secundária.

V - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O sistema de detecção apresenta uma sensibilidade que varia de aproximadamente $4,13\text{E-}2 \text{ Bq/cm}^3$ (^{131}I) até aproximadamente $9,8\text{E-}2 \text{ Bq/cm}^3$ (^{60}Co). Comparada ao sistema antigo [1], o sistema atual é muito mais sensível, principalmente pelo fato do detector ficar em contato direto com a água. Destaca-se também a eficiência do sistema que quando comparada a outros detectores, se aproxima muito [6], para o caso da energia gama.

É importante ressaltar a reprodutibilidade dos dados e também a versatilidade do sistema, o qual permite realizar medidas também com fontes sólidas.



A câmara de ionização apresenta uma faixa de medida dentro de um limite para o ser humano não sofrer danos biológicos, e até mesmo a embarcação não sofrer danos devido a radiação.

Importante também para este sistema é o programa de aquisição de dados, o qual dá maior confiabilidade aos resultados, possibilitando que seja feito um histórico de medidas, e principalmente permite salvar a tripulação e a embarcação, através da tendência de crescimento da taxa de dose (ver palavra em verde – Figura 7 – Descendo, que também pode aparecer Subindo (em vermelho) e Estável (Azul). Com isto, quantificando se a embarcação está adentrando ou saindo de um zona com altas taxas de dose. O programa de aquisição de dados permitiu a otimização do sistema como um todo, com o qual foi possível baixar custos e diminuir o espaço ocupado pelo sistema, o que no caso de embarcações é importante devido ao seu limitado espaço.

Somando-se todos estes fatores, temos então o sistema de detecção de radiação como uma modernização do sistema importado, com a vantagem de se manter o objetivo final, permitindo melhores estudos para futuras atualizações.

ABSTRACT

A nuclear radiation detection system is developed in order to use in frigate for continuous monitoring of ambient (water and air) radiation levels. The detection assembly consists of plastic scintillation detector and ionization chamber.

KEY WORDS: Plastic Scintillation, Ionization Chamber, Embarkation and Data Acquisition System.

REFERÊNCIAS

[1] Manual de Operação, Manutenção e Instalação, **BRAZILIAN FRIGATE SHIP INSTALLED RADIAC SYSTEM**, vol. 2, 1973.

[2] Hamada, M. M., Mesquita, C. H. , **Preparação de Detectores Plásticos Cintiladores e Caracterização de Parâmetros Físico-Químicos**, Anais do II Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, vol. 2, p. 217-223, 1988.

[3] Morgado, Mário Monteiro, Dissertação de Mestrado - **Estudo e Projeto de um Sistema Detector**

Nacionalizado para Monitoração de Radiação em Embarcações, IPEN/CNEN-SP (autarquia da USP) - 01/98.

[4] VIEIRA, J. M. ET AL. **Desenvolvimento de Câmara de Ionização Gama para a Monitoração Ambiental**, III Congresso Geral de Energia Nuclear (CGEN), Rio de Janeiro, caderno 7, pág.: 79 - 87, 1990.

[5] Certificado de Calibração, **Source Type: Set of Gamma Reference Sources**, AMERSHAM Buchler GmbH e Co KG, May/1996.

[6] Knoll, G. F. , **Radiation Detection and Measurement**, John Wiley e Sons - Michigan, Second Edition, 1989.