

**CONTROLE DA POTÊNCIA DO REATOR NUCLEAR DE PESQUISA
IPR-R1 ATRAVÉS DA RADIAÇÃO GAMA DO NITROGÊNIO 16**

Roberto Stasiulevicius
Fausto Maretti Júnior

NUCLEBRÁS/CDTN, Belo Horizonte

Sumário

O controle da potência do reator IPR-R1 é feito com o uso de câmaras de ionização. As informações que as câmaras enviam à mesa de comando do reator são deformadas devido à movimentação das barras de controle durante a operação. Com o propósito de eliminar essas interferências, instalou-se, junto ao circuito de refrigeração de água do reator, um sistema auxiliar para o controle global da potência utilizando a detecção do N 16 formado na água. Este trabalho apresenta a análise dos resultados obtidos com proposição de uma montagem completa, que permita também o controle de presença de outros nuclídeos radioativos na água de refrigeração do reator.

Abstract

The IPR-R1 reactor power control is realized by the ion chambers use. The informations that the chambers send to the control console are deformed due the control rods movements during the operation. With the purpose to eliminate these interferences, was installed close the reactor water cooling circuit, one power control auxiliary system using the detection of the N 16 formed in the water. This paper presents an analysis of the results and propose one complete project that permits the control of the radioactive nuclides localized in the reactor cooling water.

1. INTRODUÇÃO

O reator nuclear de pesquisa IPR-R1 é destinado às seguintes finalidades: análises químicas e dosagem de urânio em amostras por ativação com nêutrons; produção de isótopos radioativos para fins industriais e realização de estudos de meio ambiente; pesquisa e desenvolvimento; treinamento de operadores de reatores e de pessoal envolvido na área nuclear (1).

A potência de operação do IPR-R1 é controlada através de três causas de medidas independentes, com o uso de câmaras de ionização compensada e não compensada, instaladas junto ao núcleo do reator. As informações que as câmaras enviam aos medidores instalados na mesa de operação são deformadas devido à movimentação das barras de controle durante a operação. O movimento das barras é necessário para compensar os efeitos de envenenamento por produtos de fissão como xenônio e samário, de absorção de reatividade por amostras e dispositivos experimentais e de temperatura.

A fim de verificar a possibilidade de instalação definitiva de um sistema auxiliar para controle da potência do reator, sem as interferências mencionadas, instalou-se junto ao circuito primário de refrigeração da água do reator, um sistema para detecção e análise da radiação gama devida ao N 16. O nuclídeo N 16 é formado pela reação nuclear do nêutron emergente com o oxigênio presente na água que envolve o núcleo do reator.

2. O REATOR IPR-R1

Aspetos Gerais

O reator IPR-R1 é do tipo TRIGA Mark I, projetado e construído pela Gulf-General Atomic Company, para operar na potência de 30 kW. Posteriormente, foi modificado para operar na potência até 100 kW, com fluxo máximo de nêutrons térmicos de $4,5 \times 10^{17}$ n.cm⁻².s⁻¹.

O suporte que contém o núcleo do reator está posicionado sob o piso, no fundo de um poço cilíndrico, com capacidade para 19.000 litros de água leve desmineralizada. A configuração do núcleo apresenta 5 anéis concêntricos com 56 elementos combustíveis, 27 refletores de grafita, 3 barras de controle contendo bóro, fonte de nêutrons de actínio-bérblio, dispositivos de irradiação de amostra e refletor radial de grafita.

A composição de elemento combustível é uma mistura sólida e homogênea de urânio e hidrato de zircônio, com enriquecimento de 20% de U 235. O moderador principal é o hidrato de zircônio. A refrigeração do núcleo é feita pela água, que acumula as funções de moderador adicional, refletor e de blindagem biológica à radiações.

Na Figura 1 é apresentada a configuração atual do IPR-R1 e o posicionamento diametral das câmaras de monitoração da potência. Na monitoração da potência são utilizadas duas câmaras de ionização compensada, uma de ionização não-compensada e uma câmara de fissão.

Instrumentação e Controle

A instrumentação e controle do IPR-R1 inclui, basicamente, os seguintes canais de medidas:

- PARTIDA** - medidor logarítmico que usa câmara de fissão para o acompanhamento do crescimento do nível da população de nêutrons na partida do reator, até atingir a criticidade a baixa potência.
- LOG N** - registrador logarítmico que, associado a uma câmara de ionização compensada, indica o nível de potência desde 0,01 W a 100 kW e comanda o período.
- LINEAR** - registrador linear que, ligado a outra câmara de ionização compensada, indica o nível de potência desde os primeiros sinais produzidos pela fonte de nêutrons, até a potência máxima.
- X POWER** - indicador percentual de potência que, associado a uma câmara de ionização não-compensada, indica o nível de potência em relação a 100 kW.

Sistema de Refrigeração

A refrigeração do núcleo do reator se processa por convecção natural da água do poço. Esta por sua vez, é refrigerada em um sistema constituído por um circuito primário e um circuito secundário onde circula a água comum da rede.

No circuito primário, a água é bombeada junto ao fundo do poço e, após ser refrigerada, retorna a meia altura do mesmo. A água do circuito secundário atravessa os tubos do trocador de calor e é refrigerada em torre instalada na parte exterior do edifício do reator (2) - Figura 7.

3. CONTROLE DE POTÊNCIA COM N 16

A formação do N 16 é proveniente da reação nuclear do tipo (n,p) sobre o O 16 da água que circula no núcleo do reator. Esta reação possui limiar energético elevado, da ordem de 11 MeV, o que faz com que a formação do nuclídeo dependa unicamente do fluxo de nêutrons no volume total do arranjo do núcleo e, portanto, da potência global do reator (3).

O N 16 ao se desintegrar emite partículas beta e radiação gama com energia de 6,13 MeV. A atividade devida ao N 16 é dominante em relação à atividade total da água irradiada. A ativação de impurezas, produtos de corrosão e reações secundárias contribuem para o restante da atividade presente na água de refrigeração do reator.

O controle da potência do reator pode ser feito através da monitoração da parte integrada do espectro da radiação gama, emitida pela água ativada do primário, correspondente ao N 16 formado. A radiação de fundo é baixa na região da energia medida e, praticamente, não interfere no controle.

4. ARRANJO EXPERIMENTAL

Detector

O detector escolhido para as medidas foi o de cintilação com cristal de NaI (Tl), com dimensões de 3"x3". Em vista do N 16, ao se desintegrar, emitir radiação gama de energia elevada, esta ao interagir com a matéria, acarretará o processo dominante, que é a formação de pares pósitron-elétron. No espectro de energia da emissão gama que identifica o N 16, estarão caracterizados os fotopicos de 6,13 MeV e os correspondentes aos escapes dos fótons, decorrentes da aniquilação do pósitron.

Sistema de Contagem

O sistema usado nas medidas foi o comum de espectrometria gama, composto por conjunto de detecção com pré-amplificador, fonte de alta-tensão, amplificador e analisador contendo 1.024 canais.

Localização do Detector

Na escolha do local para instalação do detector ou retirada de água para monitoração foram, de início, descartadas as hipóteses de medidas direta no interior do poço ou monitoração da água de região próxima do núcleo do reator, devido às altas doses de radiação envolvidas e de suas prováveis consequências (saturação de pulsos, danos materiais e biológicos).

O local escolhido está situado a cerca de 1,10 m da borda do poço do reator, sobre a tubulação de tomada de água do circuito primário, em canalata existente no piso do laboratório. O local foi coberto com blindagem de chumbo, para minimizar a interferência da radiação de fundo nas medidas.

O comprimento total da tubulação, desde a retirada da água até a posição do detector é de 7,67 m. A vazão d'água nesta tubulação é constante e igual a 32 m³/h. A área da secção interna do tubo é de $0,46 \times 10^{-2}$ m² e a velocidade d'água no mesmo é da ordem de 1,95 m/s. São necessários 3,9 s para que a amostra de água de refrigeração, tomada junto ao núcleo do reator, alcance o detector. Este tempo senão menor que a meia vida do N 16, da ordem de 7,13 s, assegure uma atividade significativa devido a presença deste isótopo na posição de detecção.

5. MEDIDAS REALIZADAS

Com o arranjo experimental montado foram executadas as seguintes medidas:

- Reator Desligado: realizaram-se calibrações dos intervalos de energias e avaliação da radiação de fundo no local de experimento.
- Potência de 100 kW: com o sistema de refrigeração ligado, obtve-se o espectro da energia gama emitida pela água circulante. Foi feita a identificação dos fotopicos.

- Potência de 100 kW: após o desligamento do sistema de refrigeração, mediu-se o decaimento da faixa espectral, característica do N 16 formado.
- Potências variáveis entre 5 kW e 100 kW: com a refrigeração ligada, obteve-se, em cada potência, o respectivo espectro de energia gama e contagem integrada na faixa entre 4 e 7 MeV (correspondente ao N 16) e anotadas as indicações fornecidas pelos canais de potência LINEAR, LOG N e X POWER.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na faixa de energia até 3 MeV do espectro gama, obtido com o reator operando a 100 kW e refrigeração ligada, foram identificados os fotopicos que caracterizam a presença dos nuclídeos Na 24, Mg 27 e Al 28, resultantes das reações dos nêutrons com alumínio, material empregado no núcleo e revestimento do poço do reator. Os dois primeiros nuclídeos citados, foram detetados na água de refrigeração devido ao suficiente comprimento de recuo (4), apresentada nas reações:



O espectro obtido na potência de 100 kW permitiu melhor definição dos três principais fotopicos do N 16, nas energias de 5,11 MeV, 5,62 MeV e 6,13 MeV, espaçados por 511 keV - Figura 3. A identificação do N 16 foi comprovada, pela determinação da respectiva meia vida, após o desligamento do reator.

Os resultados das contagens integradas, na faixa do espectro devida ao N 16, em função dos valores indicados pelos canais de potência, permitiram verificar uma relação linear entre as variáveis - Figura 4.

A presença mínima de argônio dissolvido no ar a água de refrigeração foi observada no espectro, pela identificação do fotopico 1,29 MeV do Ar-41 resultante da reação (n, γ) e constatação da meia vida de 1,83 h, após o desligamento do reator (5).

Nos espectros obtidos não foi notada a presença dos nuclídeos N 17 e O 19 resultantes das reações secundárias dos nêutrons rápidos e térmico, respectivamente, com os isótopos O 17 e O 18 existentes na água.

7. CONCLUSÃO

No reator IPR-R1 é possível o controle de sua potência por meio da monitoração da radiação gama de N 16 formado na água de refrigeração do circuito primário.

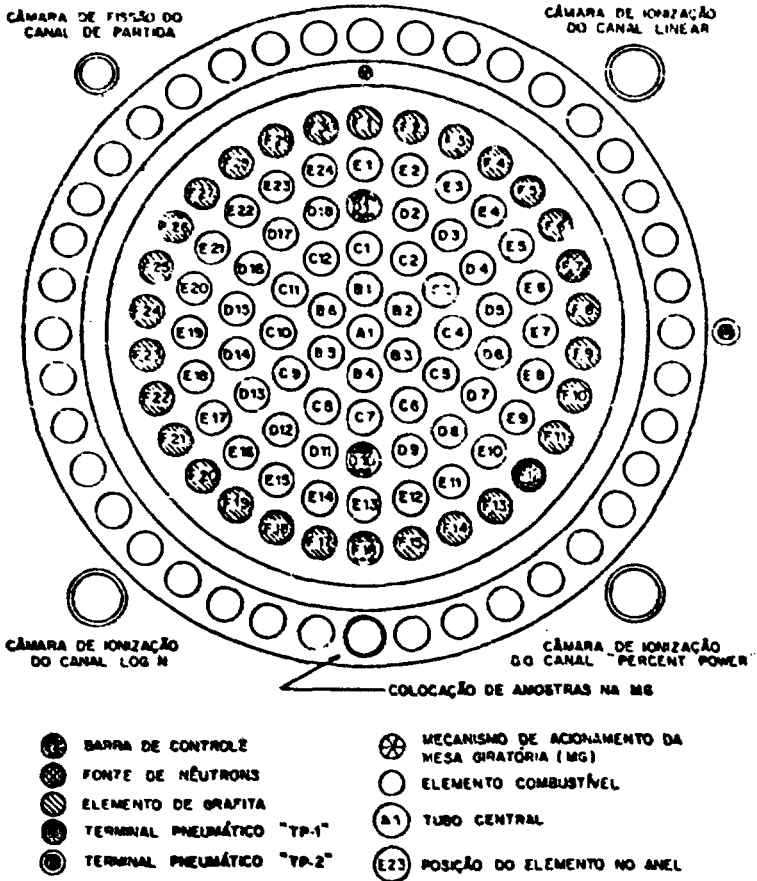
Propõe-se, como desenvolvimento do trabalho realizado, que o conjunto de detecção usado forneça informações a dois canais analísadores independentes. O primeiro, destinado a cobrir a faixa de energia entre 0 e 3 MeV, a fim de controlar a presença de nuclídeos indesejáveis na água de refrigeração do reator, entre os quais os provenientes de reações dos nêutrons com materiais estrutu-

raia, impurezas, produtos de corrosão e de fissão (possível fuga a través do revestimento do elemento combustível).

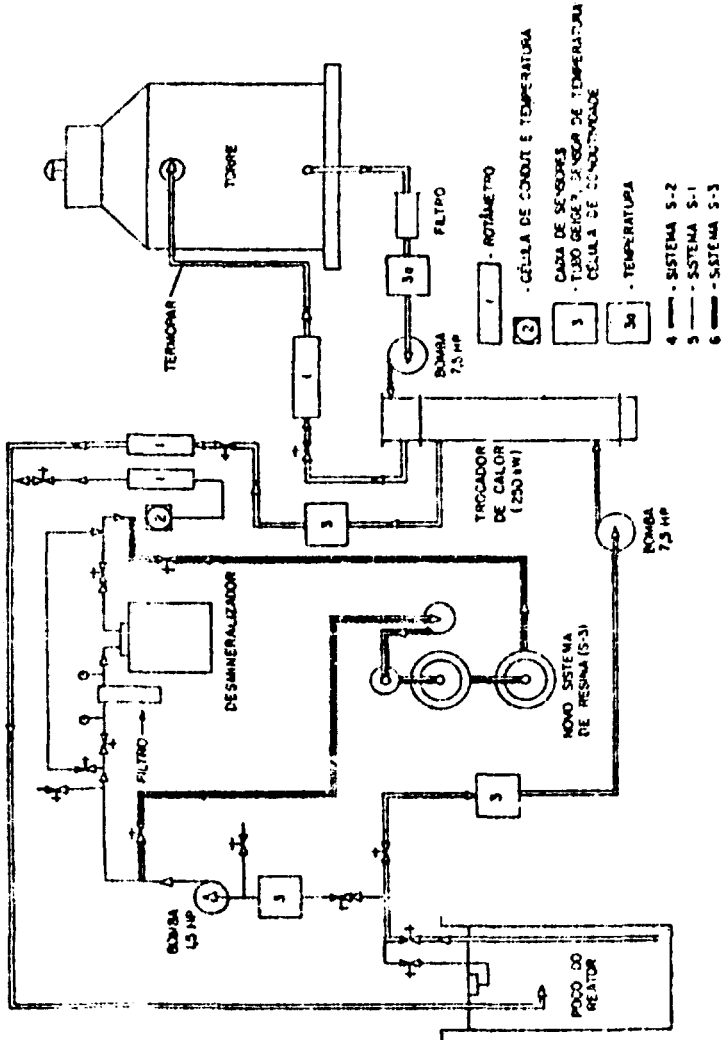
O segundo canal servirá para operar na faixa entre 4 e 7 MeV, exclusivamente na monitoração da radiação do N 16, para o controle global de potência, independente das interferências resultantes dos movimentos de compensação das barras de controle do reator.

8. BIBLIOGRAFIA

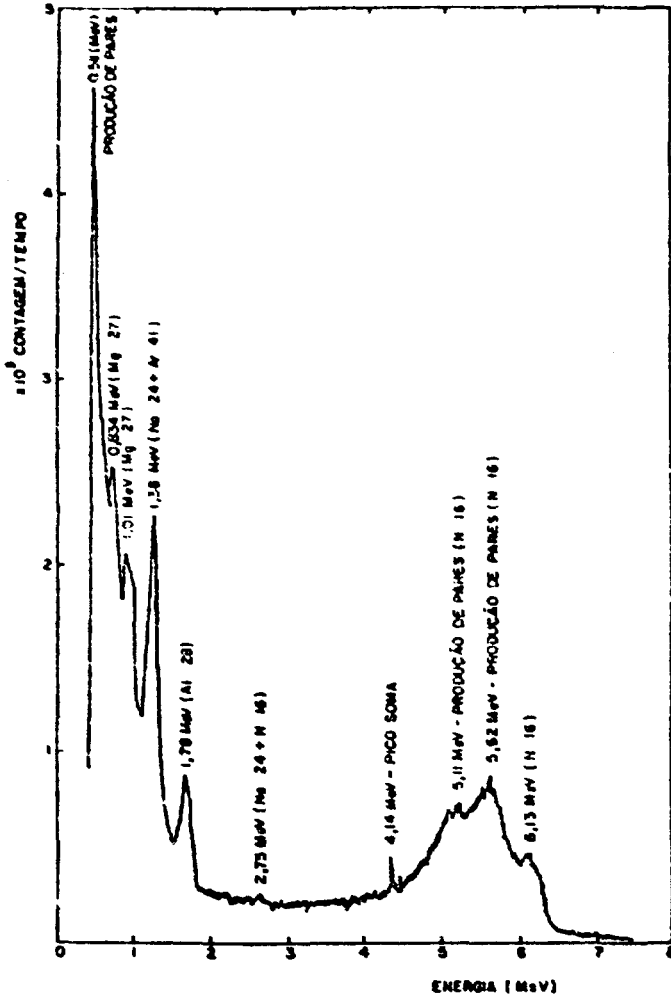
1. MARETTI JÚNIOR, V., e STASIULEVICIUS, R. (1987), "Experiência Adquirida com o Reator Nuclear IPR-R1 como Instrumento de Pesquisa e Desenvolvimento", Trabalho a ser apresentado ao IV Congresso Brasileiro de Energia (17-21 de agosto de 1987), Rio de Janeiro.
2. ANDRADE E SILVA, V.M. (1972), "Ante-Projeto de Ampliação de Potência do Reator IPR-R1", Instituto de Pesquisas Radioativas - CNEA, Tese de Mestrado submetida à Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
3. ALVARENGA DE SOUZA, J. (1970), "Sobre a Monitoração da Potência do Reator Nuclear IEA-R1 pela Atividade do N 16", Dissertação de Mestrado submetida à Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, São Paulo.
4. TIBERGHIEU, R. (1962), "Chaîne de Puissance Azote 16 sur le Circuit de Réfrigération de Métalumine", Première Année présentée à la Faculté des Sciences de L'Université de Grenoble, Grenoble.
5. CROUTHAMEL, C.E. (1970), "Applied Gamma Ray Spectrometry", International Series of Monographs in Analytical Chemistry, Vol. 41, Second revised enlarged edition, Pergamon Press, Oxford.



"Figure 1. Configuração Axial do Núcleo do IPR-R1"

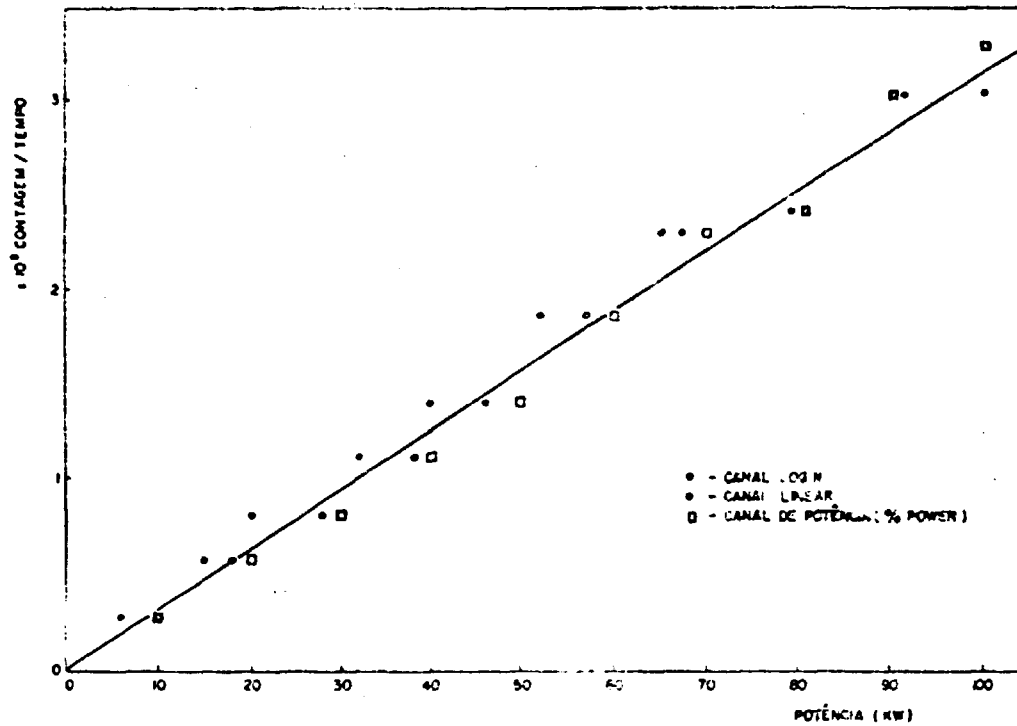


"FIGURA 2 CIRCUITO COMPLETO DA ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO DO (PR-91)"



"Figura 3 Espectro de Energia Obtido na Água de Refrigeração, com o IPR-R1 a 100 kW"

(14)



"Figura 4 Potência vs Contagem Integrada para o N-10, nos Três Canais de Potência do IPR-R1"