

EXPERIMENTO DE OPERAÇÃO CONTÍNUA DO REATOR IEA-R1

Marcelo de Freitas Pintud
Divisão de Física de Reatores
Coordenadoria Para Projetos Especiais - COPESP
João Manoel Losada Moreira
Admir dos Santos
Supervisão de Tecnologia do Núcleo
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP

RESUMO

Tendo em vista a possibilidade de alteração do regime de operação do reator IEA-R1 de 8 horas por dia, 5 dias por semana para 48 horas contínuas por semana, foi realizado um experimento no reator objetivando obter parâmetros que forneçam subsídios para a análise do comportamento neutrônico do núcleo do reator para esse modo de operação. O experimento realizado forneceu informações importantes sobre a operação do reator IEA-R1 a 2 MW em um regime de 48 horas contínuas. Este trabalho tem por objetivo a apresentação e análise dos resultados obtidos nesse experimento.

INTRODUÇÃO

A produção atual de radioisótopos no Brasil é bem inferior à demanda nacional. Em vista disso, o IPEN/CNEN-SP, vem realizando estudos visando aumentar a produção de radioisótopos obtidos no reator de pesquisa IEA-R1, situado nas suas dependências. O primeiro passo nesse sentido será a mudança do regime de operação do reator. Atualmente, o reator IEA-R1 opera em um regime de 8 horas/dia, 5 dias/semana a uma potência de 2 MW. O novo regime de operação deverá ser de 48 horas contínuas por semana a 2 MW.

Como parte dos estudos visando a mudança do regime de operação do reator, foi realizado um experimento no IEA-R1 objetivando a obtenção de parâmetros que fornecessem subsídios para a análise do comportamento neutrônico do núcleo para esse modo de operação.

Os principais objetivos do experimento foram :

- 1).Obtenção da curva de reatividade do xenônio considerando uma operação contínua durante 48 horas em 2 MW e 23 horas a baixa potência.
- 2).Estabelecer os requisitos de reatividade quanto ao envenenamento por xenônio necessários para a operação contínua em 2 MW durante 48 horas.
- 3).Apresentar subsídios para a alteração da especificação técnica de excesso de reatividade do reator IEA-R1 devido ao novo regime de operação de 2 MW em 48 horas contínuas.

Com a realização do experimento, visou-se também a verificação da metodologia empregada no acompanhamento do reator IEA-R1 no que tange ao envenenamento por xenônio. A atual metodologia de acompanhamento tem sido efetuada utilizando os códigos HAMMER-TECHNION [1], LEOPARD [2], 2DBUM [3] e CITATION [4].

Para a efetivação do experimento foi realizada uma rotina experimental descrevendo cada passo a ser seguido. Essa rotina incluiu uma análise de segurança do experimento. Ela foi avaliada e aprovada pelo Comitê de Revisão de Segurança do reator IEA-R1.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

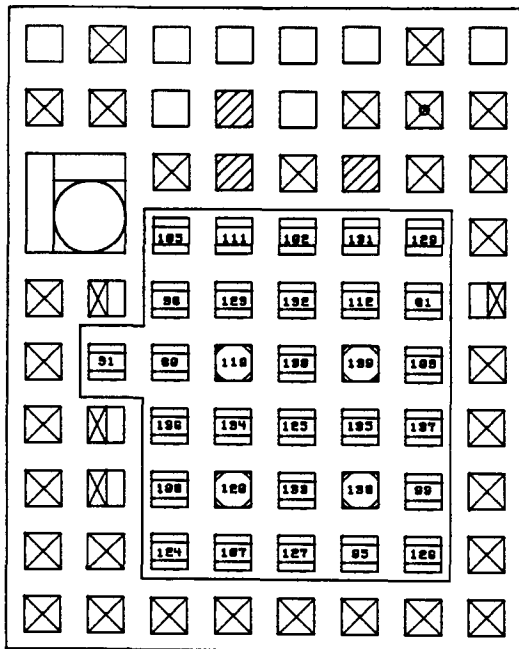
Basicamente, o experimento constou de duas fases distintas : a) troca de configuração do núcleo para atingir o excesso de reatividade necessário para a realização do experimento; b) operação do reator em 2 MW durante 48 horas e a baixa potência durante 23 horas.

A troca de configuração se fez necessária devido ao envenenamento por xenônio ser maior nesse modo de operação e devido ao excesso de reatividade da configuração anterior à configuração do experimento, configuração 166A, não ser suficiente para vencer esse envenenamento. Essa troca se processou em 3 etapas para garantir que houvesse reatividade de desligamento suficiente em cada etapa de troca. Para isso, o ganho e o excesso de reatividade foram monitorados a cada etapa de troca. A configuração com a qual se realizou o experimento foi a configuração 167A. As configurações 166A e 167A estão ilustradas na Figura 1.

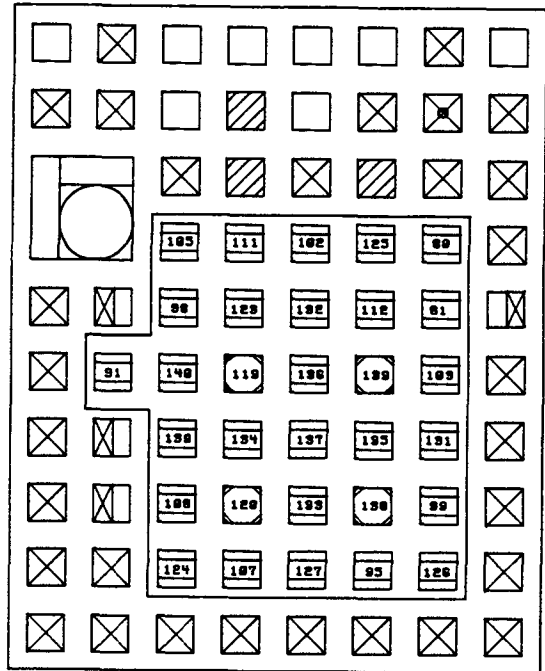
Após a troca de configuração, foram realizados os seguintes passos :

- 1). Calibração dos digitais com a posição física das barras de segurança e controle no núcleo. Os digitais situam-se na mesa de controle do reator e informam sobre o percurso físico real de cada barra no núcleo.
- 2). Calibração das barras de segurança e controle, ou seja, obtenção das curvas de reatividade integral de cada barra. Essa calibração é realizada com o reator a baixa potência.
- 3). Operação do reator a 2 MW durante 48 horas contínuas. Durante essa operação foram registradas : a temperatura da piscina do reator no intervalo de 2 em 2 horas; a taxa de exposição à radiação nos 5 postos do saguão da piscina do reator, no mesmo intervalo de tempo acima. Além desses valores, foram tomadas as posições de barras, através dos digitais na mesa de controle, a cada 30 minutos.
- 4). Após as 48 horas operando a 2 MW, a potência do reator foi reduzida a 100 W. Operou-se, então, o reator a baixa potência durante 23 horas.

A Análise de Segurança. Como o excesso de reatividade necessário para compensar o envenenamento por xenônio poderia ser superior ao valor limite constante das especificações técnicas do reator IEA-R1, foi realizada uma



a. Configuração 166A



b. Configuração 167A

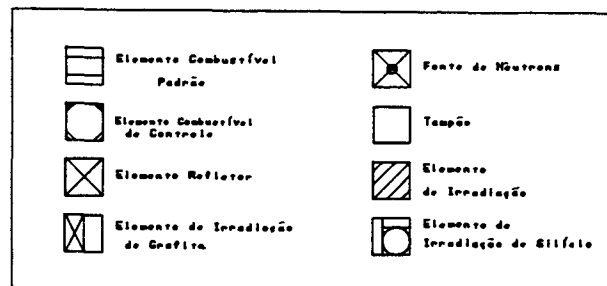


Figura 1 - Configurações do núcleo do reator IEA-R1

análise de segurança do experimento visando mostrar que as configurações em cada etapa de carregamento continuariam mantendo o reator com uma margem de desligamento alta e segura. Visou também dar subsídios à mudança da especificação técnica atual de excesso de reatividade, que será necessária, desde que o reator mude seu regime de operação para 48 horas contínuas a 2 MW.

Neste experimento o reator foi operado em 2 MW durante 48 horas contínuas, potência nominal do reator IEA-R1. As condições de termo-hidráulica e remoção de calor foram as de operação normal do reator. Desta forma, os possíveis problemas de segurança relacionados com este experimento, além dos comuns à operação do reator em 2 MW, estavam ligados ao excesso de reatividade acima da especificação técnica.

Segundo o SS-35 [5] as regras sobre dimensionamento de barras de controle e segurança são :

- a reatividade das barras de controle e de segurança deve ser capaz de absorver em torno de duas vezes o excesso de reatividade máximo do núcleo.
- o sistema de controle de reatividade de barras de controle e de segurança deve ser capaz de desligar o reator e não permitir que os limites de combustível sejam ultrapassados, mantendo-se a barra mais reativa fora do núcleo - critério de barra presa.

Em adição a essas regras, o Comitê de Revisão de Segurança do reator IEA-R1 recomenda que em mudança de configuração a diferença entre o ganho de reatividade estimado via cálculo e o medido no reator atenda aos seguintes critérios : diferença entre 100 pcm e 300 pcm o reator pode operar em condição de observação. Para discrepância superior a 300 pcm o reator deve ser desligado até que seja justificado. Estes critérios foram observados neste experimento.

Objetivando uma maior segurança, o carregamento dos elementos combustíveis foi dividido em três etapas e nelas foram realizadas as verificações acima.

RESULTADOS OBTIDOS

Calibração do Digital com o Percorso Físico das Barras de Segurança e Controle. A calibração dos digitais se torna importante principalmente para se checar o posicionamento crítico de barras via códigos computacionais. Essa calibração é realizada sempre que há troca de configuração no núcleo. Na Tabela 1 são apresentadas as calibrações dos digitais de cada barra de segurança e de controle em relação ao posicionamento físico dessas barras no núcleo do reator.

Tabela 1 - Calibração para a configuração 167A

| DIGITAL | BS#1 | BS#2 | BS#3 | BC |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 100 | 6,0 | 6,5 | 6,2 | 6,0 |
| 200 | 12,5 | 12,8 | 12,6 | 12,0 |
| 300 | 18,8 | 19,4 | 19,1 | 18,3 |
| 400 | 25,0 | 25,7 | 25,4 | 24,6 |
| 500 | 31,4 | 32,2 | 31,7 | 30,8 |
| 600 | 37,7 | 38,5 | 38,0 | 37,2 |
| 700 | 44,0 | 44,9 | 44,3 | 43,0 |
| 800 | 50,4 | 51,2 | 50,7 | 48,8 |
| 900 | 56,8 | 57,5 | 57,0 | 54,8 |
| SUPERIOR | 60,9 | 59,6 | 61,5 | 58,9 |
| *1 | (964) | (931) | (971) | (964) |

*1 - Os números entre parêntesis são os limites superiores no digital para cada barra.

Calibração das Barras de Segurança e Controle. A calibração das barras de segurança e controle se processa com uma barra inserida no núcleo estando as demais totalmente retiradas. Ao se retirar a barra inserida, em passos, compensa-se com a barra situada na diagonal, mantendo-se o reator crítico para cada passo de movimentação.

Houve uma dificuldade em se avaliar a reatividade do início de cada barra no método de calibração acima, já que o excesso de reatividade do núcleo não era suficiente para a calibração desse trecho das barras. Para avaliar a reatividade desse trecho, fez-se um 'rod-drop', inferindo a reatividade associada através de um reatímetro.

Através das curvas de barras da configuração 167A, obteve-se valores para ganho e excesso de reatividade. Esses parâmetros também foram avaliados através das curvas de barras da configuração 166A e reatímetro. Comparando os parâmetros obtidos pelos dois métodos, concluiu-se que, as curvas de barras para a configuração 167A estavam superestimando os valores obtidos em aproximadamente 16 %.

Essa superestimativa pode ter sido ocasionada, por exemplo, pelo posicionamento, no núcleo do reator, do detector associado ao reatímetro. Esse posicionamento pode ter mascarado os resultados obtidos. Outra possível causa pode estar relacionada com o modo de calibração de barras

utilizado. As curvas de barras foram obtidas para duas barras de cada vez, estando uma inserida no núcleo e as demais retiradas. Conforme se retirava a barra inserida, compensava-se com a outra barra envolvida na calibração. Essas duas barras situavam-se diagonalmente, uma em relação a outra. As outras duas barras permaneciam totalmente retiradas do núcleo. Após a calibração das duas primeiras, repetia-se o processo para as outras duas restantes.

Esse modo de calibração pode ter ocasionado erros na obtenção de valores através dessas barras, já que, na calibração realizada, pelo menos duas barras estavam sempre retiradas do núcleo, enquanto na operação normal do reator normalmente as 4 barras estavam inseridas. Ou seja, a situação da calibração das barras não se repetia para a operação normal do reator, onde poderia estar havendo uma interferência entre as barras inseridas.

Pode também ter havido algum problema no procedimento operacional na utilização do reatímetro, já que foi a primeira vez que se usou reatímetro no reator IEA-R1 para se obter as curvas de reatividade de barras.

As Figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam as curvas de barras obtidas através da calibração realizada. A Tabela 2 apresenta a reatividade total de cada barra para a configuração do experimento.

Tabela 2 - Reatividade Total de cada Barra

| BARRA | REATIVIDADE TOTAL (pcm) |
|-------|-------------------------|
| BS#1 | 3203 |
| BS#2 | 3345 |
| BS#3 | 4383 |
| BC | 4340 |

Obtenção da Curva de Reatividade do Xenônio.

Após a partida do IEA-R1 a 2 MW, foram tomadas as posições críticas de barras a cada 30 minutos, o mesmo procedimento sendo adotado para operação a baixa potência. Através dessas posições de barras e das curvas de barras

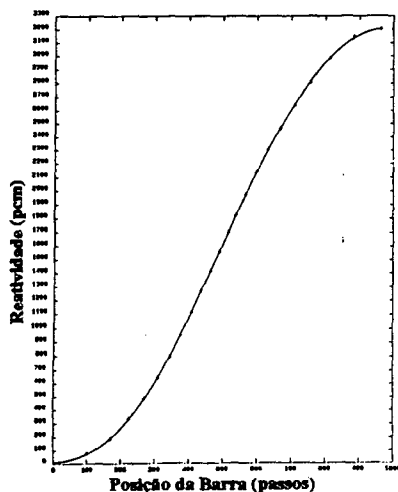


Figura 2 - Curva Integral da barra BS 1

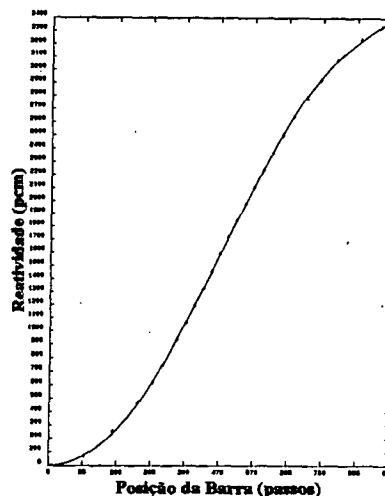


Figura 3 - Curva Integral da barra BS 2

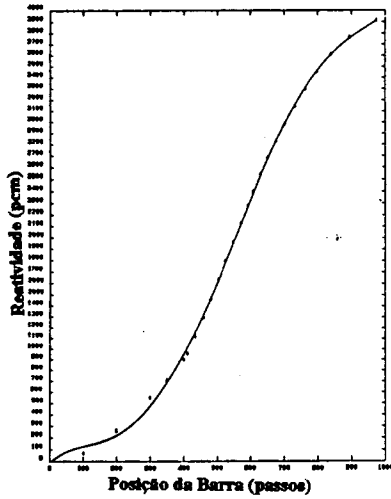


Figura 4 - Curva Integral da barra BS 3

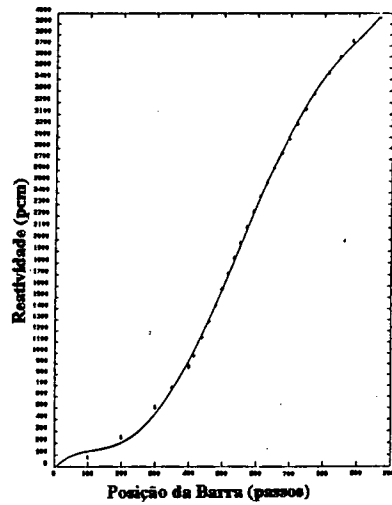


Figura 5 - Curva Integral da barra BC

obtidas conforme demonstrado no item anterior obteve-se a curva de reatividade do xenônio. Como as curvas de barras estavam superestimando os valores obtidos em 16 %, os resultados de reatividade do xenônio apresentaram também esta superestimativa. Na curva de reatividade do xenônio apresentada na Figura 6, está descontada essa superestimativa de 16 % ocasionada pelas curvas de barras. Nessa figura também é apresentada a curva do xenônio calculada através do código 2DBUM [3].

Medida da Perda de Reatividade Devido à Queima de Combustível. A perda de reatividade devido ao consumo de combustível foi estimada dois dias e meio após o término do experimento, através da posição crítica das barras, utilizando-se de um reatímetro. Após esse tempo o xenônio já decaiu e as diferenças de posições das barras são devidas ao consumo de combustível.

O procedimento usado foi movimentar uma barra, no caso a BS#1, da posição em que estava no início do experimento para a posição após o decaimento do xenônio, e computar a reatividade referente a esse percurso. As posições de barras para antes e após a realização do experimento estão representadas na Tabela 3. A perda de reatividade, estimada dessa forma e com o reator crítico a 20 W, foi de 70 pcm.

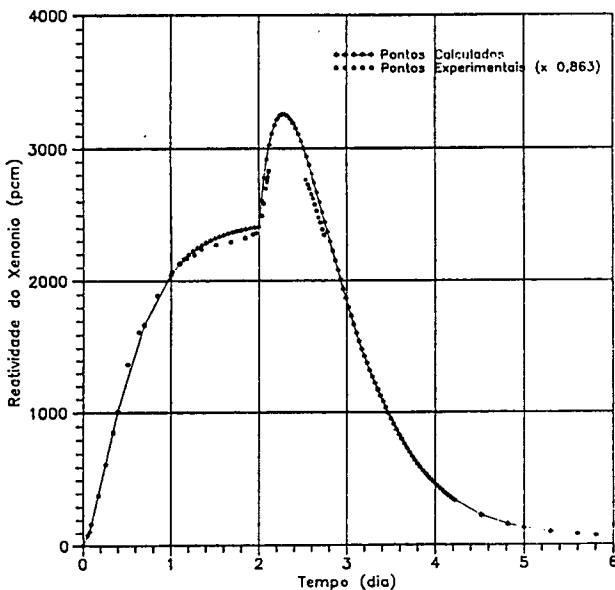


Figura 6 - Curvas de reatividade do xenônio calculada e experimental (descontada a superestimativa de 16 %)

Tabela 3 - Posições de Barras Antes e Após o Experimento

| Barra | Posição de Barra | |
|-------|----------------------|--------------------|
| | Antes do Experimento | Após o Experimento |
| BS#1 | 487 | 502 |
| BS#2 | 770 | 770 |
| BS#3 | 770 | 770 |
| BC | 770 | 770 |

REQUISITOS DE REATIVIDADE PARA OPERAÇÃO EM 2 MW DURANTE 48 HORAS

Baseado nos resultados experimentais e em análises calculacionais dos resultados obtidos no experimento, pode-se concluir que os requisitos de reatividade para o reator IEA-R1 operar em 2 MW durante 48 horas são :

a. Requisito para a reatividade do xenônio : 2800 pcm. Para compensar o xenônio em equilíbrio é necessário 2500 pcm. Para compensar uma necessidade de religamento após um desligamento durante 2 horas é necessário cerca de 300 pcm.

b. Requisito para operação durante 12 semanas : 840 pcm. O consumo de reatividade durante a operação em 2 MW durante 48 horas foi de 70 pcm. Considerando, como exemplo, que se faça uma operação de 48 horas por semana, a necessidade para operar durante 12 semanas ou 3 meses sem troca de combustível é 840 pcm.

c. Outros Requisitos. Os outros requisitos a se considerar são o defeito de potência e a colocação de amostras no reator para irradiação. Considerando 80 pcm para o primeiro e 500 pcm para o segundo, teremos um total de 580 pcm para esses requisitos.

Dessa forma, o requisito total de reatividade para esse regime de operação, no caso exemplo de 12 semanas de operação sem troca de configuração, deve ser de 4220 pcm.

Para esse caso exemplo, as barras de segurança e controle devem ser capazes de absorver duas vezes 4220 pcm ou aproximadamente 8500 pcm de reatividade. Baseado no critério de barra presa mais reativa é necessário que as 3 barras de segurança/controle absorvam com folga 4220 pcm, por exemplo, $1,25 \times 4220$ pcm, ou 5275 pcm.

CONCLUSÕES

O experimento realizado forneceu informações importantes sobre a operação do reator IEA-R1 a 2 MW, em um regime de operação de 48 horas contínuas. Obteve-se a reatividade do xenônio em equilíbrio, o consumo de reatividade devido à queima de combustível, e os requisitos de reatividade para a operação do reator nesse regime de operação.

Esses parâmetros servirão de base para a revisão das especificações técnicas do reator IEA-R1, que se fará necessária para a mudança do regime de operação.

Pretende-se, em 1994, repetir este experimento, visando principalmente verificar a metodologia de cálculo utilizada no IEA-R1.

REFERÊNCIAS

- [1] BARTHEN, J.; RHOTENSTEIN, W.; TAVIV, E. *The HAMMER Code System Technlon*. Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, NP-565, Oct. 1978.
- [2] BARRY, R.F. *LEOPARD - A Spectrum Dependent Non-Spatial Depletion Code*. WCAP-3269-26, Westinghouse Electric Corporation, 1963.
- [3] LITTLE, W.W., Jr.; R.W.HARDIE. *2DBUM - User's Manual*. BNWL-831, 1969.
- [4] FOWLER, T.B.; D.R. VONDY. *CITATION - Nuclear Reactor Core Analysis Code*. ORNL-TM-2496, 1971, Rev.2.
- [5] *SAFETY SERIES n°35*. International Atomic Energy Agency, 1984.

ABSTRACT

In order to increase the radioisotope production in the IEA-R1 research reactor at IPEN/CNEN-SP, it has been proposed a change in its operation regime from 8 hours per day and 5 days per week to continuous 48 hours per week. The necessary reactor parameters for this new operation regime

were obtained through an experiment in which the reactor was for the first time operated in the new regime. This work presents the principal results from this experiment : xenon reactivity, new shutdown margins, and reactivity loss due to fuel burnup in the new operation regime.