

## EXPERIMENTOS DE INSERÇÃO DE REATIVIDADE

Paulo R. P. Coelho, Paulo S. B. Ferreira  
e João M. L. Moreira(\*)

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
(\*Coordenadoria para Projetos Especiais)

### RESUMO

Um experimento de inserção de reatividade na forma de degrau realizado na Unidade Crítica IPEN-MB-01 é apresentado neste trabalho. Pequenas varetas de Cd foram construídas e montadas em uma aranha semelhante a de barras de controle. Desenergizando a aranha, a queda dos absorvedores para fora do núcleo, inseria reatividades variadas em tempos inferiores a 1 s. Os resultados são analisados pela técnica de cinética inversa após verificação de que não ocorre redistribuição do fluxo de neutrons durante os transientes. O valor de reatividade para a perturbação, obtido por meio da curva de calibração de uma das barras de controle, teve discrepância de 1.6 % comparada com a estimativa de cinética inversa.

### INTRODUÇÃO

Experimentos de inserção de reatividade na forma de degrau foram realizados na Unidade Crítica IPEN-MB-01[1]. Os experimentos consistiram na queda de amostras de Cd de diversas alturas no núcleo, correspondendo a vários valores de inserção de reatividade positiva. Ao rápido aumento de potência devido à reatividade inserida seguia o desligamento do reator via queda das barras de segurança e controle no núcleo.

As especificações da quantidade de Cd nas amostras, das dimensões das amostras e da localização destas no núcleo da Unidade Crítica foram realizadas pela Seção de Neutronics da Divisão de Física de Reatores do IPEN/CNEN-SP. As seções de choque das amostras foram obtidas utilizando o programa HAMMER-TECHNION e o sistema AMPX-II; a reatividade das amostras foi obtida por meio de cálculos de difusão com o programa CITATION[1].

Amostras de Cd foram montadas em varetas de aço e posicionadas no núcleo através de um dispositivo semelhante a uma aranha de barra de controle. O movimento das varetas no núcleo foi realizado de forma semelhante a das barras de controle. O degrau de reatividade foi causado com a desenergização dos magnetos permitindo a queda livre da aranha até o fundo do núcleo.

Estes experimentos tiveram como principal objetivo demonstrar a eficácia do sistema de desligamento da Unidade Crítica IPEN-MB-01. Foram realizadas inserções de reatividade de até 300 pcm. Neste trabalho são apresentados os resultados medidos para o transiente de queda de varetas de Cd de 54.9 pcm de reatividade.

### EXPERIMENTOS DE INSERÇÃO DE REATIVIDADE

O dispositivo que suporta as varetas de Cd permite a inserção de até 5 varetas de Cd no centro do núcleo. Cada vareta de Cd é semelhante a uma vareta de combustível tendo na sua extremidade inferior 7.5 cm de Cd (19 g) e no restante de sua extensão alumínio.

material transparente a neutrons.

As variáveis foram observadas desde 1 minuto antes de iniciar os transientes (movimentação da barra de controle ou queda livre de amostra absorvedora de Cd) até 1 minuto após o desligamento do núcleo. Todas as variáveis observadas foram gravadas simultaneamente em um gravador de 21 canais KIOWA. As variáveis observadas foram a) 3 sinais de período, b) 6 sinais de detectores proporcionais a potência, c) 3 sinais de temperatura da água, d) sinal de início de movimentação da barra de controle, e) sinal indicador de acionamento do desligamento, f) sinais de posicionamento das barras de controle e de segurança, g) sinais de início e final da queda de amostras de Cd e h) sinal pulsador de 1 Hz para base de tempo para análise posterior dos dados.

Foram realizadas 5 inserções de reatividade para 2 valores de potência (4 e 20 W) de operação do reator. O tempo de queda das varetas de Cd até o fundo do núcleo foi inferior a 0.5 s. A Fig. 1 mostra o posicionamento das 5 varetas de Cd no núcleo da Unidade Crítica. O posicionamento das varetas de Cd foi determinado via a compensação de reatividade pela retirada das barras de controle cujas curvas de calibração eram conhecidas.

Durante os testes não se observou variação na temperatura da água no tanque de moderador. Em todos os experimentos o sistema de proteção atuou prontamente desligando o reator de forma segura.

### AVALIAÇÃO DOS EFEITOS ESPACIAIS NAS ANÁLISES

Os sinais de detectores monitorados durante o experimento permitem que se estime as reatividades inseridas no núcleo através de uma análise de cinética inversa[2]. Os sinais dos detectores são inseridos numa rotina de cinética inversa para produzir a reatividade instantânea durante o transiente. Em algumas situações pode-se considerar que a população neutrônica seja proporcional aos sinais dos detectores. No caso onde há uma significativa redistribuição espacial na

forma do fluxo de neutrons é necessário que se corrija os sinais dos detectores para contabilizar seus efeitos[3].

A Fig. 1 mostra o posicionamento simétrico de dois detectores que monitoraram a potência do reator durante os experimentos. A Fig. 2 mostra o sinal dos detectores 1 e 2 ao longo do tempo referente a queda de varetas de Cd de 54,9 pcm na forma de degrau. O salto que ocorre no início do transiente é devido a queda das varetas de Cd inserindo reatividade positiva no núcleo. Ao final vê-se o desligamento do reator devido a alto fluxo de neutrons.

Como a perturbação causada pela queda de varetas ocorre no centro do núcleo, variações na forma do fluxo de neutrons são iguais para os dois detectores localizados em posições simétricas. Isto é evidenciado na Fig. 3 onde mostra-se a razão entre os sinais dos dois detectores em função do tempo. Caso

houvesse redistribuição de fluxo devido a perturbação (queda das varetas de Cd) de forma distinta para os dois detectores, haveria uma mudança no valor desta razão no instante da perturbação.

Espera-se que neste transiente não haja redistribuição de fluxo neutrônico devido ser a inserção de reatividade pequena e localizada no centro do núcleo. Estivessem disponíveis sinais de detectores localizados em posições não simétricas e fosse constante a razão entre os sinais ao longo do tempo, poderia-se concluir com maior certeza sobre a não redistribuição do fluxo neutrônico durante o transiente. A análise com cinética inversa é válida somente até o instante anterior ao desligamento do reator, instante em que as barras de controle são inseridas no núcleo e perturbam violentamente a forma do fluxo neutrônico.

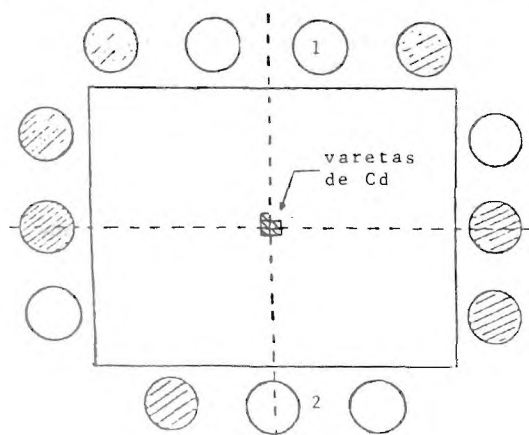


Figura 1 Esquema da Unidade Crítica IPEN-MB-01 mostrando a localização das varetas de Cd e dos detectores 1 e 2.

#### VALORES DE REATIVIDADE OBTIDAS

Os sinais dos detectores gravados em forma de tensão foram digitalizados através de um conversor HPIB, conforme mostra a Fig. 4, e armazenado em disquetes. A reatividade em função do tempo foi obtida utilizando uma rotina que resolve a equação de cinética inversa, tendo como entrada pontos gravados em arquivos de disquetes.

A reatividade inserida nesta queda de varetas de Cd de 54 pcm foi determinada via comparação com o movimento das barras de controle calibradas. A altura correspondente das varetas de Cd era de 5 cm. Neste experimento obteve-se estado de período assintótico havendo desligamento por sobrepotência, 110 w. A Fig. 5 mostra a reatividade em função do tempo obtida para o transiente analisando os sinais dos detectores 1 e 2 onde nota-se a grande concordância entre os resultados. A reatividade média obtida para a perturbação do transiente, obtida através da média no patamar superior, é de 54,9 +/- 10,1 pcm. A

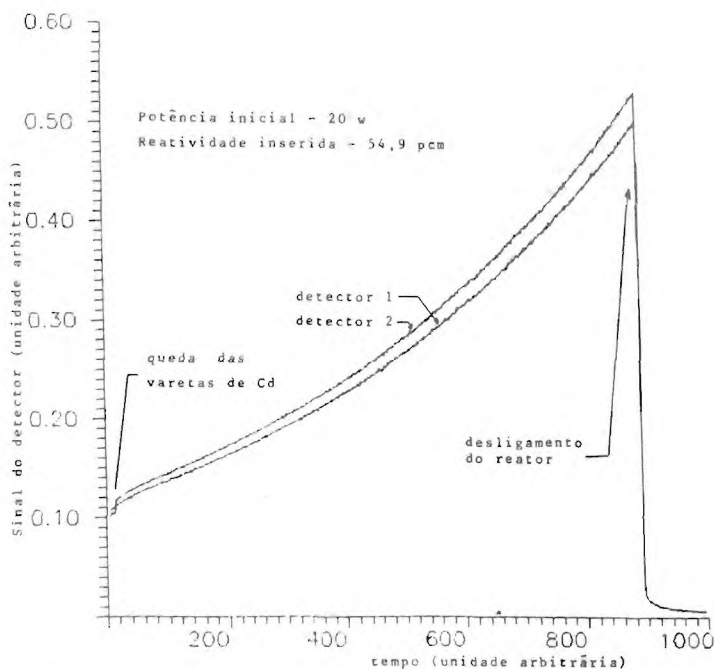


Figura 2 Sinal dos detectores 1 e 2 durante o transiente de queda de varetas de Cd.

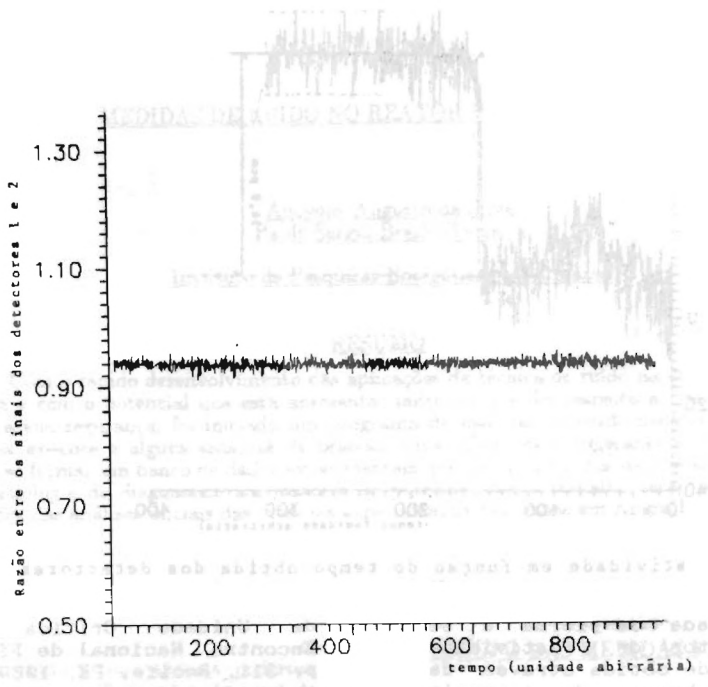
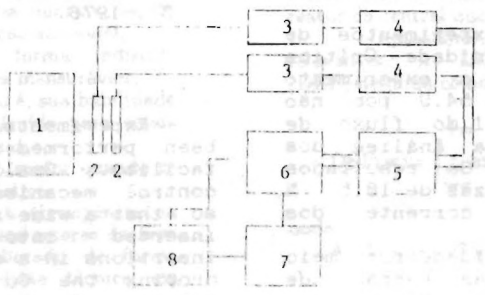


Figura 3 Razão entre os detectores 1 e 2 durante o transiente de queda de varetas de Cd.



1. Núcleo do Reator
2. Detector
3. Eletrometro
4. Filtro/Amplificador-Isolador
5. Gravador KYOMA
6. Analisador Fourier
7. Microcomputador
8. Registrador Gráfico X-Y

Figura 4 Diagrama esquemático dos instrumentos utilizados na medida de reatividade introduzida pela queda de varetas de Cd.

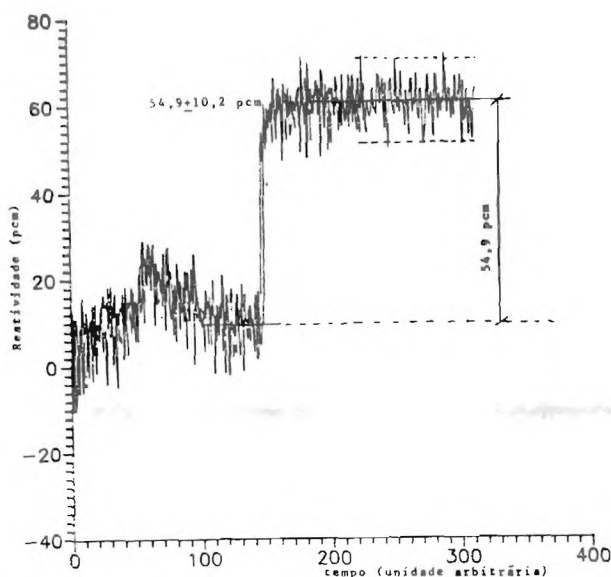


Figura 5 Reatividade em função do tempo obtida dos detectores 1 e 2.

incerteza foi determinada de forma a se incluir 95 % dos pontos de reatividade inferidos. A reatividade obtida através da curva de calibração das barras de controle compara-se muito bem com a obtida pela técnica de cinética inversa.

O espalhamento mostrado pelos dados de reatividade na Fig. 5 são devidos às oscilações na corrente dos detectores, como mostra a Fig. 2.

#### CONCLUSOES

Foram realizados vários experimentos de inserção de reatividade na Unidade Crítica IPEN-MB-01. Verificou-se que o experimento de queda de varetas de Cd de 54,9 pcm não causou redistribuição espacial do fluxo de neutrons que invalidasse uma análise dos dados com cinética inversa. Os resultados obtidos apresentaram incertezas de 18,5 % devido a oscilações na corrente dos detectores.

As estimativas de reatividade por meio das curvas de calibração das barras de controle compararam-se com as obtidas com cinética inversa dentro de 1,6 %. Estas curvas podem, portanto, serem utilizadas para estimar reatividades de pequenas amostras colocadas dentro do núcleo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o trabalho desenvolvido pelos colegas da Seção de Neutronics do IPEN/CNEN-SP para viabilizar este experimento: Leda Cristina C. B. Fanaro, Carlos Roberto Ferreira, Mitsuo Yamaguchi, Hélio Yoriyaz e Adimir dos Santos. Os autores agradecem também o esforço empreendido pelo pessoal de operação da Unidade Crítica para a execução dos experimentos.

#### REFERENCIAS

1. J. R. Maiorino, et alli, Projeto Nuclear

da Unidade Crítica IPEN-MB-01. VII Encontro Nacional de Física de Reatores, p. 311. Recife, PE, 1989.

2. J. M. L. Moreira, Medidas de reatividade em tempo real - reatímetro, I Congresso Geral de Energia Nuclear, vol. 2, p. 47, Rio de Janeiro, RJ, 1986.
3. K. Ferguson et alli, Development of improved data analysis methods for reactivity measurements in large thermal-power reactors, Nucl. Tech., vol 29, p. 37. 1976.

#### ABSTRACT

Experiments of reactivity insertion have been performed in the IPEN-MB-01 critical facility. Small Cd rods were built, with control mechanisms similar to control rods, so that a wide range of reactivity could be inserted into the core. Reactivity insertions in a step fashion were obtained by dropping the Cd rods from the middle to outside of the core. The signals of two detectors monitoring the transient were analyzed through inverse kinetics after verifying that the possible spatial redistribution of the neutron flux would not invalidate such analysis. The reactivity value obtained for the perturbation via a differential control rod worth curve differed only 1.6 % from the inverse kinetics estimate.