

UTILIZAÇÃO DO MATERIAL AÇO INOX COMO BARRA DE CONTROLE DO REATOR IPEN/MB-01

Alfredo Abe¹, Rinaldo Fuga¹ e Rogério Jerez²

¹ Divisão de Física de Reatores
Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTM-SP)
Av. Prof. Lineu Prestes
28630-050 São Paulo, SP
221@ctmsp.mar.mil.br

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
rjerez@ipen.br

RESUMO

A efetividade de uma barra de controle no núcleo de um reator modifica-se ao longo da sua vida útil devido vários fatores como: a própria queima do elemento absorvedor da barra, mudanças do espectro de neutrons do núcleo devido a queima do combustível, etc. A fim verificar o efeito da redução da efetividade de uma barra de controle elaborou-se um experimento específico, onde as atuais barras de controle do reator IPEN/MB-01 formados por uma liga de Ag-In-Cd foram substituídas por barras de aço inoxidável. Neste experimento foram avaliados os parâmetros valor da barra e a curva integral de reatividade de diferentes configurações do banco de controle contendo diferentes combinações de barras de aço inoxidável e barras de Ag-In-Cd.

1. INTRODUÇÃO

O reator de potência zero ou unidade crítica, IPEN/MB-01, é uma instalação projetada e construída com a finalidade de subsidiar o projeto de núcleo de reatores. Dentre as várias atividades executadas com este objetivo/1-5/, o programa experimental de Física de Reatores consiste em um conjunto de experimentos que visam a verificação e qualificação das metodologias de cálculo, códigos computacionais e as bibliotecas de dados nucleares. Um dos experimentos do programa experimental consiste na verificação dos parâmetros associados a barra de controle e segurança como a reatividade associada, margens de desligamento, efeitos de sombreamento positivo e negativo.

O núcleo atual do reator possui dois bancos, cada banco constituído de um conjunto de 12 varetas formadas com a liga metálica de prata-índio-cádmio (Ag-In-Cd). A configuração e quantidade de varetas de controle é suficiente para atender todas as margens de desligamento requeridas em um projeto de núcleo de reatores. A grande efetividade das barras de controle não permite verificar de forma destacada parâmetros como o sombreamento entre as barras,

assim como no processo de calibração faz-se necessário o emprego de duas técnicas independentes como o “rod drop” e a cinética inversa a fim de obter a curva integral de reatividade. Neste sentido, foi executado um experimento utilizando como varetas absorvedoras o material aço inox invés da atual liga de Ag-In-Cd. Adicionalmente, este experimento permite simular efeitos como a perda da efetividade das barras de controle decorrente da queima do material das barras, a influência devido a mudanças espectrais do núcleo como resultado da queima do combustível, efeitos de sombreamento entre as varetas do mesmo banco de controle.

2. EXPERIMENTO COM A BARRA AÇO INOX

O experimento consistiu em substituir os bancos de controle constituídos de varetas de Ag-In-Cd por barras cilíndricas maciças de aço inox. Normalmente experimentos envolvendo barras de controle são voltados para obtenção da reatividade integral e diferencial das mesmas.

Os valores de reatividade em função da quantidade de inserção ou retirada das barras de controle permite os operadores estabelecerem manobras operacionais de potência, assim como saber previamente as posições críticas e também o excesso de reatividade. Dessa forma, o levantamento dos valores de reatividade de toda a extensão da barra de controle é fundamental para a condução de uma operação segura e eficiente. O procedimento para a obtenção dos valores de reatividade em função da inserção ou retirada é denominada de calibração das barras de controle.

2.1. Calibração das Barras de Controle

A calibração das barras de controle do reator IPEN/MB-01 de forma geral consiste em uma série de etapas de inserções e retiradas das barras de controle. Num determinado instante o reator é criticalizado com as barras de controle em uma determinada posição, posteriormente estas são movimentadas da seguinte forma: uma das barras é inserida e a outra é retirada para de forma a compensar e reestabelecer a criticalidade.

O procedimento de retirada e inserção, isto é, a compensação das reatividades inseridas e retiradas são medidas experimentalmente e, obtém-se uma tabela de valores de reatividade em função dos vários passos de inserção ou retirada. A medida do valor de reatividade é efetuada utilizando duas técnicas de forma complementar, uma técnica denominada de período estável e a outra de “rod drop”. A técnica de período estável é utilizada para medir a reatividade durante a fase de compensação entre inserções e retiradas, a outra técnica é utilizada quando não é possível efetuar a compensação de reatividade inserida pela retirada.

Considerando que, as barras de controle devem sempre atuar para desligar o reator na condição mais adversa, a reatividade das barras é sempre maior que do próprio núcleo. Assim, durante a calibração das barras de controle através de compensações de inserções e retiradas, atinge-se a situação onde uma das barras encontra-se totalmente retirada do núcleo ativo e, a outra barra utilizada como a compensação irá encontrar-se inserida até uma

determinada posição. A partir desta posição não é possível efetuar mais a compensação, assim faz-se necessário empregar a técnica de “rod drop” para o segmento restante da barra de controle, portanto, uma curva final da calibração das barras de controle considerando toda a sua extensão ativa é obtida como uma combinação das reatividades obtidas pelas duas técnicas (período estável e “rod drop”).

A medida da reatividade pela técnica de “rod drop” depende do posicionamento dos detectores de neutrons e outros fatores espaciais que podem ocasionar erros de medida da reatividade, estes erros são posteriormente propagados na curva integral ou diferencial de reatividade. Uma estratégia para minimizar os efeitos das perturbações e as suas consequências seria efetuar a queda das barras com estas mais inseridas possível no núcleo, isto é, praticamente toda inserida no núcleo. A situação com as barras de controle praticamente toda inserida pode ser obtida com a inserção de mais varetas combustíveis, tornando o núcleo mais reativo, assim permitindo a inserção em quase toda a sua extensão ativa, no entanto o atual núcleo do reator IPEN/MB-01 tem o excesso de reatividade limitada pela quantidade de varetas combustíveis disponíveis, dessa forma impossibilita-se efetuar a calibração utilizando apenas uma técnica (período estável).

A alternativa para executar a calibração em toda a extensão da barra de controle sem a necessidade do emprego da técnica de “rod drop” pode ser obtida com barras de controle menos efetiva do ponto de vista de absorção, dessa forma a calibração da barra pode ser determinada com a utilização de apenas uma técnica, posteriormente poder-se-ia verificar o efeito da perturbação espacial existente na técnica de “rod drop” no valor da reatividade das barras de controle.

2.2. Barras de Controle de Aço Inox

O núcleo do reator IPEN/MB-01 possui duas barras de controle e duas barras de segurança conforme a Figura 1. Cada barra de controle possui 12 varetas formadas com a liga de Ag-In-Cd e, cada barra de segurança possui 12 varetas preenchidas com B₄C na forma de pó compactado.

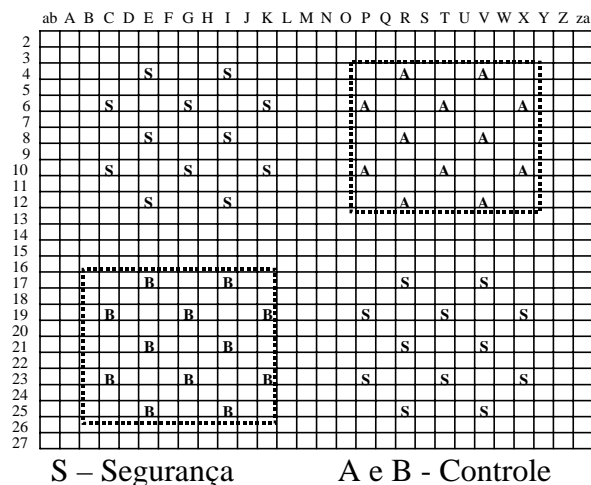


Figura 1 – Configuração do Núcleo do Reator IPEN/MB-01

As varetas de Ag-In-Cd das barras de controle foram substituídas totalmente e parcialmente por varetas de aço inox (SS-304) formando diferentes arranjos de varetas da barra de controle. As Figuras 2 a 4, ilustram de forma esquemática os diferentes arranjos formados, nestas figuras são apresentadas somente a região delimitadas e próximas das varetas da barra de controle, conforme a região hachurada apresentada na Figura 1.

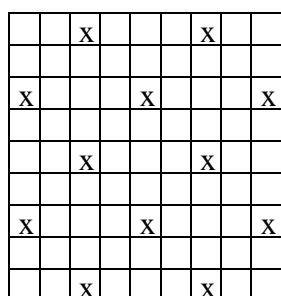


Figura 2. – Configuração com varetas somente de aço inox

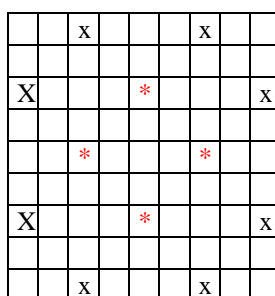


Figura 3. – Configuração com varetas e aço inox (x) e Ag-In-Cd (*)

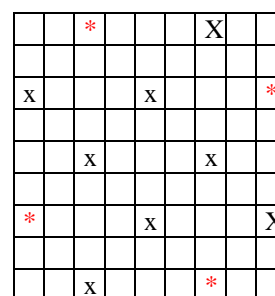


Figura 4. – Configuração com varetas e aço inox(x) e Ag-In-Cd(*)

2.3. Experimento de Calibração das Barras de Controle de Aço Inox

Inicialmente, o núcleo do reator foi modificado para a obtenção de uma configuração crítica com a menor reatividade possível, essa configuração é caracterizada pela ausência total das barras de controle no núcleo, ou seja, a mesma configuração obtida durante o experimento do primeiro carregamento das varetas no núcleo do reator/1/. Esta condição de menor excesso de reatividade possível, fez-se necessária para garantir a margem de desligamento para qualquer tipo de barra de controle, uma vez que, a reatividade das barras de aço inox somente era conhecida através de cálculos. Após a obtenção da configuração menos reativa sem a presença das barras de controle, procedeu-se a substituição das varetas de Ag-In-Cd de apenas uma das barras de controle (BC#2) pelas varetas de aço inox, mantendo a outra barra (BC#1) com as varetas de Ag-In-Cd.

A partir dessa situação, executou-se o carregamento de varetas combustíveis para uma configuração pré-determinada via cálculo, essa configuração satisfaz a condição de criticalidade com a barra de aço inox praticamente toda inserida e a outra barra de Ag-In-Cd totalmente retirada do núcleo ativo. Antes de efetuar a calibração das barras verificou a posição de inserção da nova barra a fim confirmar o cálculo e, também para executar ajustes na configuração do núcleo a fim de obter a configuração desejável. A Figura 5. apresenta a configuração do núcleo onde todas as varetas das barras de controle de Ag-In-Cd foram substituídas por aço inox.

Verificado a configuração e efetuados os ajustes necessários, executou-se as calibrações das barras de controle formadas de varetas de aço inox e as de Ag-In-Cd. Na etapa subsequente de substituição, realizou a troca das varetas de Ag-In-Cd da barra de controle (BC#1) pelas

varetas de aço inox. Novamente, procedeu-se as calibrações para as duas barras BC#1M (a barra BC#1 com varetas de aço inox) e BC#2M (a barra BC#2 com as varetas de aço inox).

As figuras 6 e 7 apresentam as curvas ajustadas de calibração da barra BC#1M e BC#2M, respectivamente. As figuras 8 e 9 ilustram a comparação das curvas de calibração obtidas pelas técnicas de período estável e “rod drop”, respectivamente. Observa-se uma boa concordância nos resultados obtidos pela técnica de “rod drop” com a técnica do período estável, dessa forma para esta situação as duas técnicas são equivalentes, não observando grandes discrepâncias.

Este resultado não permite afirmar que as duas técnicas são equivalentes em qualquer situação, uma vez que a deformação do fluxo neutrons e a perturbação são reduzidas consideravelmente com a utilização de uma barra menos absorvedora.

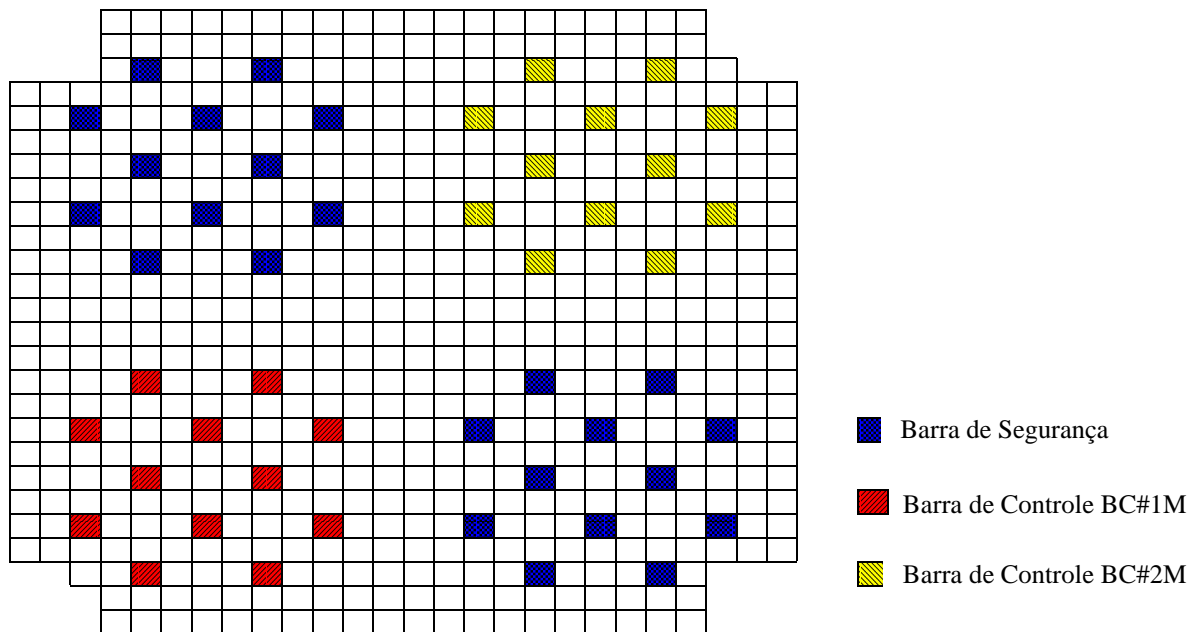


Figura 5. Configuração do Núcleo Utilizado para a Calibração das Barras de Controle

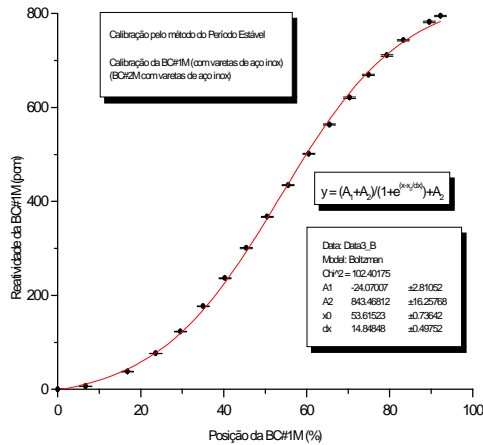


Figura 6- Curva de Calibração da Barra BC#1M (Todas Varetas de Aço Inox)

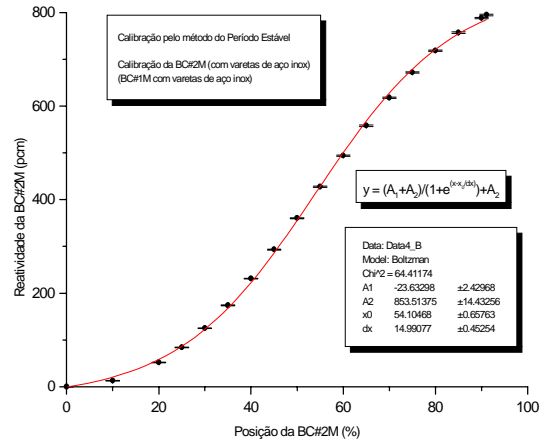


Figura 7. Curva de Calibração da Barra BC#2M (Todas Varetas de Aço Inox)

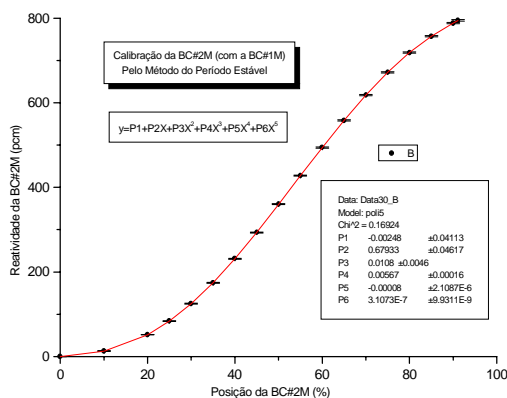


Figura 8- Curva de Calibração da Barra BC#2M pela Técnica do Período Estável

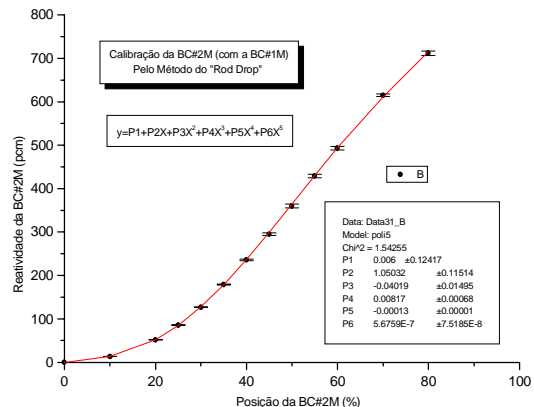


Figura 9. Curva de Calibração da Barra BC#2M pela Técnica do "Rod Drop"

Posteriormente as calibrações das barras BC#1M e BC#2M, com o objetivo de verificar o sombreamento entre varetas de uma mesma barra, procedeu as mudanças na configuração ou arranjo das varetas absorvedoras da barra denominada de BC#1M, assim substituiu-se inicialmente 4 varetas absorvedoras internas de aço inox da BC#1M por 4 varetas absorvedoras originais (Ag-In-Cd), vide Figura 3.

Uma outra configuração de varetas também foi analisada, permutou-se as 4 varetas absorvedoras internas de Ag-In-Cd do arranjo anterior, com 4 varetas absorvedoras de

aço inox localizadas externamente, conforme a Figura 4. A Figura 10 apresenta as curvas de calibração para as duas situações mencionadas, observa-se um pequeno efeito de sombreamento quando as varetas de Ag-In-Cd estão localizadas na parte interna da barra (configuração da Figura 3) em relação a situação em que as varetas de aço inox e Ag-In-Cd encontram-se intercaladas (configuração da Figura 4.)

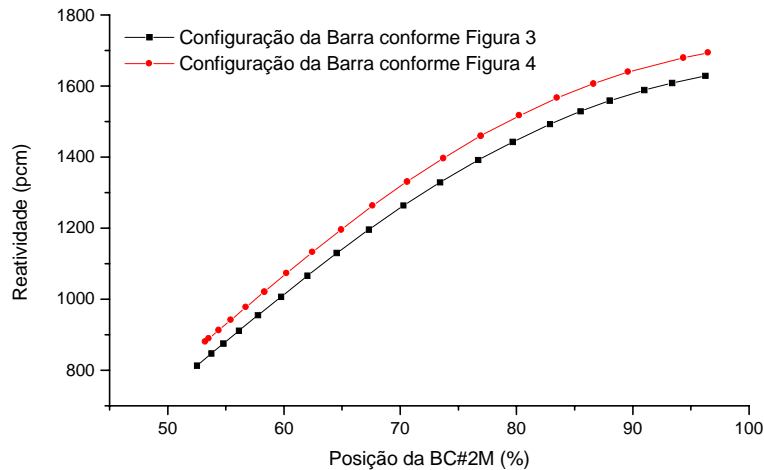


Figura 10. Curva de Calibração da Barra de Controle BC#1M com Diferente Arranjo de Varetas de Aço Inox e Ag-In-Cd.

2.4. Reatividade das Barras de Controle de Aço Inox

A Tabela 1. apresenta os valores da reatividade das barras para diferentes situações, e também as posições destas para o estado crítico do reator. Na situação em que as duas barras são de aço inox, estes possuem o mesmo valor de reatividade.

Tabela 1. Resultados Experimentais de Reatividade e Posições Críticas das Várias Configurações

<i>Descrição do caso</i>	Reatividade das barras de controle (pcm)	Posições crítica (% de retirada)	
		Barra BC1	Barra BC2
Barra BC#1 formada de Ag-In-Cd e barra BC#2M formada de aço inox	BC#2M=810,3±1,6	99,62	3,60
Duas barras (BC#1M e BC#2M) formada de aço inox	794,8±1,7	53,00	52,50
Barra BC#1Ma formada de Ag-In-Cd e aço inox, conforme Figura 3 e, barra BC#2M formada de aço inox	BC#1Ma=1629±7	63,00	63,00
Barra BC#1Mb formada de Ag-In-Cd e aço inox, conforme Figura 4 e, barra BC#2M formada de aço inox	BC#1Mb=1694±7	63,57	63,56

3. CONCLUSÕES

Através de um experimento específico no reator IPENMB-01 verificou alguns fatores que podem afetar a efetividade das barras de controle durante a vida útil. Além disso, verificou os possíveis problemas da técnica de “rod drop” de calibração das barras pois, a técnica é regularmente empregada combinada com a técnica do período estável. Importante destacar que em particular neste experimento não verificou diferença significativa entre as duas técnicas, este fato pode estar associado a menor perturbação causada pelas barras de aço inox.

REFERÊNCIAS

1. Bitelli, U.; Jerez, R.; Yamaguchi, M.; “*Calibração de Potência do Reator IPEN/MB-01 Através do Mapeamento do Fluxo de Nêutrons Térmicos por Detectores de Ativação*”, Anais do V-CGEN 28 Agosto a 02 Setembro, pp87-90, 1994.
2. Miranda, F. A.; Moreira, J. M. L.; “*Mapeamento do Fluxo de Nêutrons no Reator IPEN/MB-01 com Câmaras de Fissão Miniatura*”, Proceedings of XI ENFIR/IV ENAN – Joint Nuclear Conference, August 18-22, pp54-59, 1997.
3. Souza, P. R. M. G.; “*Determinação do Fator de Pico Utilizando Sinais de Detectores Out of Core em Reator de Pequeno Porte*”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, Vol. 4 N° 2, pp. 106-111, 2002.
4. Abe, A.; Angioletto, E.; Pasqualetto, H.; Fuga, R.; “*Experimento do Vazio Local no Reator IPEN/MB-01*”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, Vol. 4 N° 2, pp. 421-427, 2002.
5. A. Santos, A. Abe, M. Yamaguchi, R. Fuga, L. C. C. B. Fannaro, G. S. Andrade e Silva, “*CRITICAL LOADING CONFIGURATIONS OF THE IPEN/MB-01 REACTOR*”, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(95)03/IV, Identification Number LEU-COMP-THERM-077, May 2004