

3º Congresso Geral da Energia Nuclear

22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

VALIDAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO COMPUTACIONAIS A PARTIR DAS MEDIDAS DE DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO DE NÊUTRONS E REATIVIDADE DO REATOR IEA-R1 COM O NOVO ELEMENTO COMBUSTÍVEL 130.

Ulysses d'Utra Bitelli
Paulo Sérgio Brasko Ferreira
Nanami Kosaka
Paulo Rogério Pinto Coelho

Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Divisão de Física de Reatores
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - Brasil

SUMÁRIO

O fluxo de nêutrons térmicos e a reatividade do núcleo foram medidas quando da inserção do novo elemento combustível (Nº 130) no núcleo do reator IEA-R1. A distribuição de fluxo foi medida pela ativação de folhas de ouro (nuas e cobertas com cádmio) no elemento combustível nº 130 e o ganho de reatividade do núcleo, devido ao novo elemento, foi determinado através da curva de calibração das barras de controle. Os resultados experimentais foram comparados com cálculos computacionais obtidos pelo código CITATION. Os resultados apresentados neste trabalho são uma boa contribuição para um melhor conhecimento do comportamento neutrônico do reator IEA-R1.

ABSTRACT

The thermal neutron flux and core reactivity were measured when a new fuel element (number 130) was inserted into the IEA-R1 reactor core. The thermal neutron flux distribution was measured by gold activation foil (bare and covered with Cadmium) in the fuel element number 130, and the core reactivity gain due a new fuel element was determined using control rod calibration curve. The experimental results were compared to those obtained by CITATION code calculation. The results presented in this work are a good contribution for a better knowledge of IEA-R1 reactor neutronic behaviour.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento da população neutrônica no núcleo de um reator é descrito matematicamente pela equação de transporte, que dá o balanço de neutrons por elemento de volume do reator em termos espaciais e angulares,, energéticos e temporais.

Solucionando-se a equação de transporte pode-se descrever matematicamente o comportamento neutrônico do reator, e desta forma prever o comportamento do mesmo, devido a variação de composição, geometria, etc. Todavia, as soluções da equação de transporte usualmente envolvem certas simplificações de cálculo objetivando muitas vezes uma redução do tempo computacional, que acrescida a imprecisão de dados nucleares fornece uma solução aproximada.

Para testar a confiabilidade dos modelos idealizados nos cálculos é fundamental que se faça medidas experimentais que venham não só a confirmá-los, mas que se necessário, venha modificá-los adequando-os à realidade fenomenológica. O conhecimento dos parâmetros neutrônicos é importante na operação do reator, no acompanhamento da queima de combustível, na estratégia de movimentação das barras de controle, bem como nos aspectos ligados à segurança e economia de combustível.

Nesse contexto foram realizadas calibrações das barras de controle, medidas da reatividade e da distribuição espacial do fluxo de neutrons térmicos, na ocasião de introdução de um elemento combustível novo no núcleo do reator IEA-R1. Esse elemento combustível foi identificado como elemento nº 130, apresenta baixo enriquecimento (20% em U-235) e foi inteiramente fabricado pelo Departamento de Metalurgia do IPEN-CNEN/SP. Essas medidas foram realizadas para dar suporte ao programa de acompanhamento de irradiação de combustível elaborado pelo grupo de engenharia do núcleo, englobando exames periódicos de inspeção visual, monitoração das condições de irradiação e análise dimensional, fornecendo dados para uma boa administração de combustível, tanto ao nível de definir a melhor configuração do núcleo como para definir o tempo de vida de uma dada configuração.

As medidas da distribuição espacial do fluxo de neutrons térmicos no interior do elemento 130, bem como o excesso de reatividade no núcleo devido a inserção desse elemento combustível foram comparadas com os valores calculados através do programa CITATION, em três dimensões (XYZ) e dois grupos de energia.

2. DESCRIÇÃO DO REATOR

O núcleo do reator tem a forma de um paralelepípedo e é composto de elemento combustível padrão (EC), elemento combustível de controle, elemento combustível de irradiação, elementos de irradiação externos e refletores, que são encaixados verticalmente em furos da placa matriz do alumínio de 80 orifícios formando a matriz 8 x 10.

O elemento combustível padrão é do tipo MTR (Material Testing Reactor) e compõe-se de 18 placas planas de combustível montadas, paralelamente em estojo de alumínio. O elemento de combustível de controle é formado de 12 placas combustíveis, ocupando a posição central do elemento, sendo que as posições 2 e 17 do estojo estão reservados para a inscrição das barras absorvedoras. As placas que antecedem e sucedem a barra absorvedora são constituídas somente de alumínio. O elemento de irradiação interno ao núcleo apresenta 9 placas de combustível formando dois conjuntos de 4 e 5 placas cada, separadas por um canal que serve para introduzir amostras a serem irradiadas. Na figura 1 estão ilustrados esses três tipos de elemento combustível.

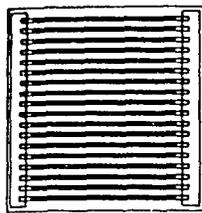


Fig. A: E.C. PADRÃO

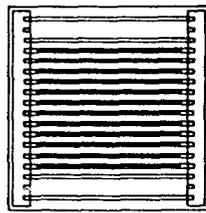


Fig. B: E.C. CONTROLE

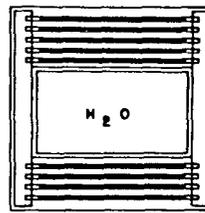


Fig. C: E.C. IRRADIAÇÃO

Figura 1. Elementos combustíveis padrão, de controle e de irradiação do reator IEA-R1.

O controle do reator é realizada através de 4 barras do controle do tipo garfo constituído de material absorvedor Ag-In-Cd na proporção de 0,80-0,15-0,5, respectivamente. Os refletores são formados por blocos de grafite e caixas de alumínio contendo água, onde se localizam, em certas posições, os detectores.

3. METODOLOGIA DE CÁLCULO NEUTRÔNICO

Os cálculos do excesso de reatividade e da distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos foram efetuados utilizando o programa CITATION /1/ onde o reator foi modelado por inteiro em três dimensões (XYZ), onde cada zona corresponde a um elemento combustível padrão homogeneizado, enquanto que os elementos de combustível de controle foram detalhados. Considerou-se 4x4x24 divisões espaciais por elemento no núcleo ativo e 2 grupos de energia de neutrons, onde o grupo 1 (rápido) corresponde ao intervalo 10MeV-0,625 eV e o grupo 2 (térmico) abaixo de 0,625 eV.

Para a geração das constantes nucleares utilizou-se os programas HAMMER-TECHNION /2/ e LEOPARD4 /3/. A biblioteca do HT é baseada no ENDF/B-IV com algumas modificações introduzidas pela Seção de Dados Nucleares da Divisão de Física de Reatores do IPEN-CNEN/SP.

As configurações do reator IEA-R1 consideradas neste estudo estão ilustradas nas figuras 2 e 3, correspondendo respectivamente as CONF.156 e CONF.157. Em ambas configurações o núcleo

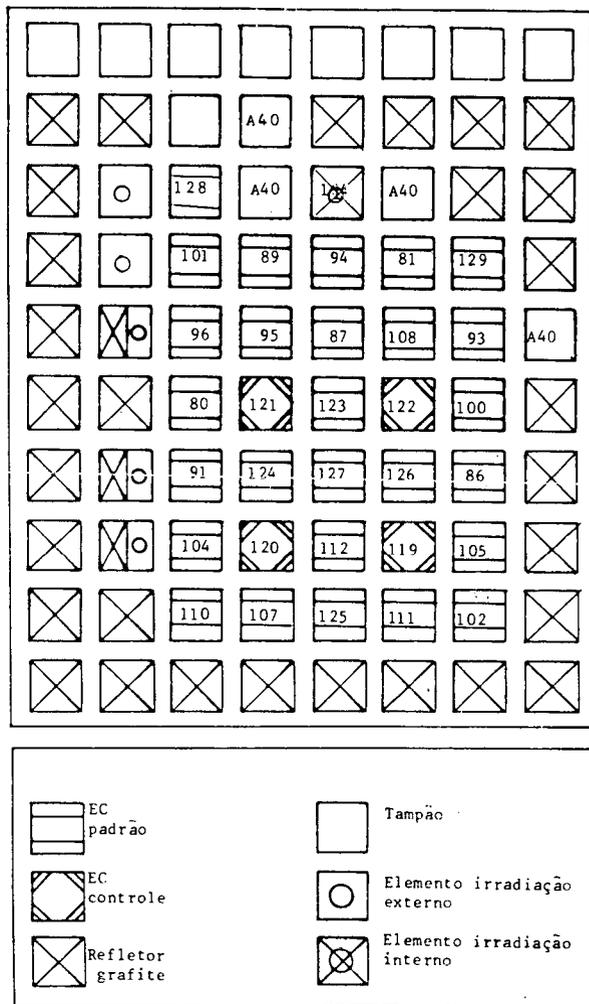


Figura 2. Configuração 156

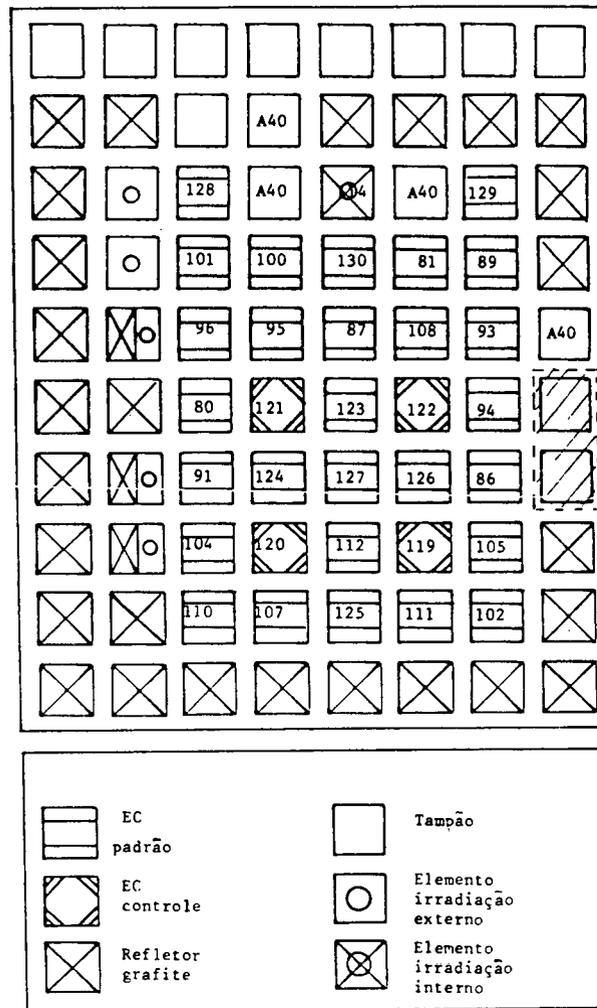


Figura 3. Configuração 157

cleo do IEA-R1 compõe-se de combustível de alto (93%) e de baixo enriquecimento (20%). Os elementos combustíveis de baixo enriquecimento são os identificados pelos números 123, 124, 125, 126, 127, 130 assim como os elementos parciais de teste 128 e 129, sendo que os demais elementos são de alto enriquecimento.

A distribuição do fluxo térmico no EC130 correspondente a CONF.157 foi calculada discretizando-se o canal 5 onde foram inseridas folhas de ouro. Também determinou-se a distribuição do fluxo médio de neutrons térmicos nesse elemento combustível.

Quanto ao excesso de reatividade foram calculadas para três situações diferentes, a saber:

- a) - substituindo EC94 por EC130 na CONF.156, obtendo assim o ganho de reatividade devido somente à substituição desses elementos;
- b) - permutando-se as posições dos EC130 e EC127 na CONF.157;
- c) - ganho de reatividade devido a diferença entre as configurações CONF.156 e CONF.157.

4. MEDIDAS DE FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS

O fluxo de nêutrons térmicos no elemento combustível 130 (EC130) na configuração 157 foi obtido a partir da ativação de folhas de ouro nuas (sem Cádmi) e cobertas com Cádmi /4/.

Os detetores de ativação utilizados foram folhas de ouro de 8 mm de diâmetro e 0,013 mm de espessura. A caixa de cádmio utilizada tem uma espessura de 0,5 mm. Os canais de irradiação mapeados na direção axial as placas combustíveis foram os de nº 1, 3, 5, 7, 11, 13, 15 e 17, conforme pode ser visualizados na figura 4.

As folhas foram irradiadas durante 30 minutos, fixas em uma placa de lucite, a potência estimada de 620 Watts, sendo as operações de irradiação por canal, monitoradas pela corrente do canal linear do reator IEA-R1 (37,7 nA). O posicionamento das barras de controle do reator durante a irradiação das folhas, para o elemento combustível 130, se encontra na tabela 1.

O fluxo de nêutrons térmicos foi aferido a partir das taxas de reação nas folhas de ouro (nuas e com cádmio), utilizando-se a técnica da razão de cádmio, a partir do valor de seção de choque média de ativação do ouro (72,644 barns) no espectro térmico, dada pelo código HAMMER-TECHNION, para a célula representativa do EC130.

Tabela 1. Posição das barras de controle durante a irradiação.

Barra de controle	Posição
BS1 (EC120)	592
BS2 (EC119)	812
BS3 (EC122)	812
BC (EC121)	812

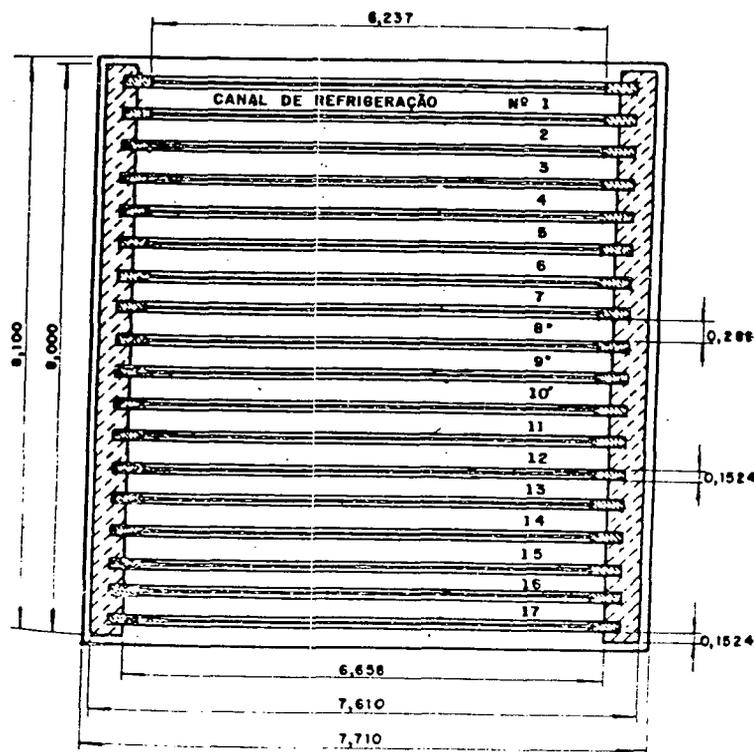


Figura 4. Identificação dos canais de refrigeração para mapeamento do fluxo de neutrons no EC130.

5. MEDIDA DO EXCESSO DE REATIVIDADE

O excesso de reatividade no reator IEA-R1 foi medida na ocasião da inserção de um novo elemento combustível (EC130) no núcleo e conseqüentemente na mudança de configuração do núcleo. As medidas de reatividade foram baseadas na variação do

posicionamento da barra de controle do reator para mantê-lo crítico e no conhecimento prévio da curva integral das barras de controle, utilizando a técnica de período estável /5/. As situações em que foram medidas estão descritas na seção 3.

6. RESULTADOS

Distribuição de fluxo de neutrons térmicos.

Nas figuras 5 e 6 tem-se a comparação entre as distribuições de fluxo de neutrons térmicos medidos e calculados no EC130, correspondendo respectivamente ao fluxo do canal 5 e ao fluxo médio no elemento. Vê-se que a distribuição espacial calculada, tanto no canal 5 como a média no EC130 são iguais, variando apenas quanto a magnitude do mesmo. O mesmo já não ocorre com a distribuição espacial de fluxo de neutrons térmicos medida, onde a distribuição axial do canal 5 apresenta o pico deslocado para a posição superior em relação à distribuição do fluxo médio. Verifica-se também uma boa concordância entre calculada e medida em relação ao canal 5, o mesmo não ocorre para a distribuição de fluxo médio. Maiores discrepâncias ocorrem nas bordas devido ao efeito da presença do refletor. Assim, a discrepância máxima observada para a distribuição axial média de neutrons térmicos é de 50% nas bordas, junto aos refletores. No centro da altura ativa encontrou-se uma discrepância de apenas 10%.

Cumprе salientar, que os valores de fluxo calculados foram normalizados em potência em relação aos valores experimentais. O fluxo térmico médio no EC é de $5,65 \times E+9$ n/cm².s., e foi obtido através de ajuste polinomial dos valores experimentais ao longo da altura ativa de combustível. O erro experimental na obtenção do fluxo de neutrons térmicos é de 1,5%.

Excesso de reatividade.

Os ganhos de reatividade determinados nas três situações consideradas estão na tabela 2, e foram obtidos através das curvas integrais da barra de controle BC obtidas nesse experimento, conforme ilustradas na figura 7.

Tabela 2. Ganho de reatividade

Caso	Ganho de reatividade (pcm)		
	medido	calculado	desvio
EC130 → EC94 (CONF.156)	328	289	39
CONF.157 → CONF.156	245	105	140
EC130 ↗ EC127 (CONF.157)	280	425	-145

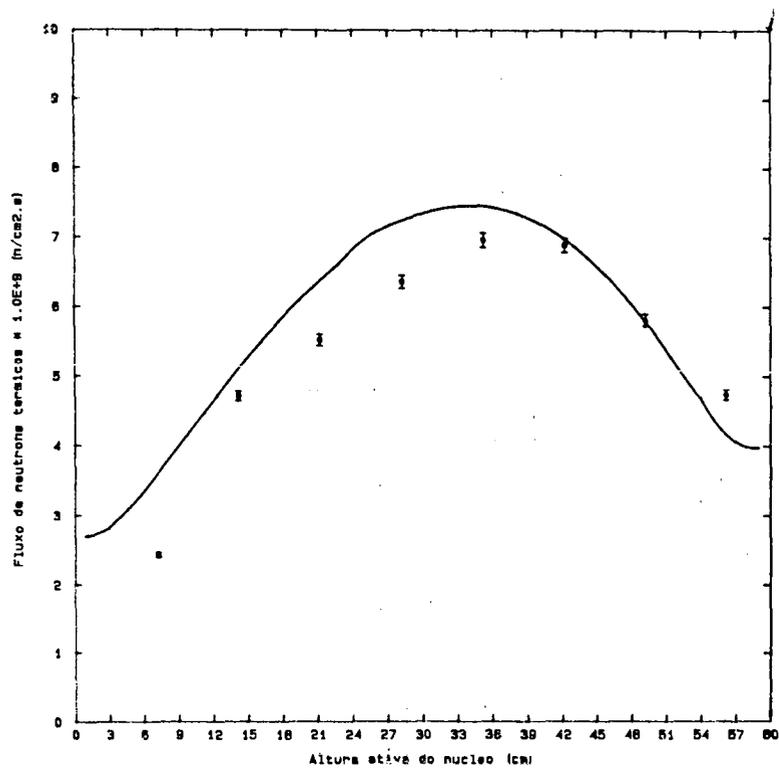


Figura 5. Fluxo de nêutrons térmicos na direção axial (Canal 5) medido (-) calculado (ϕ)

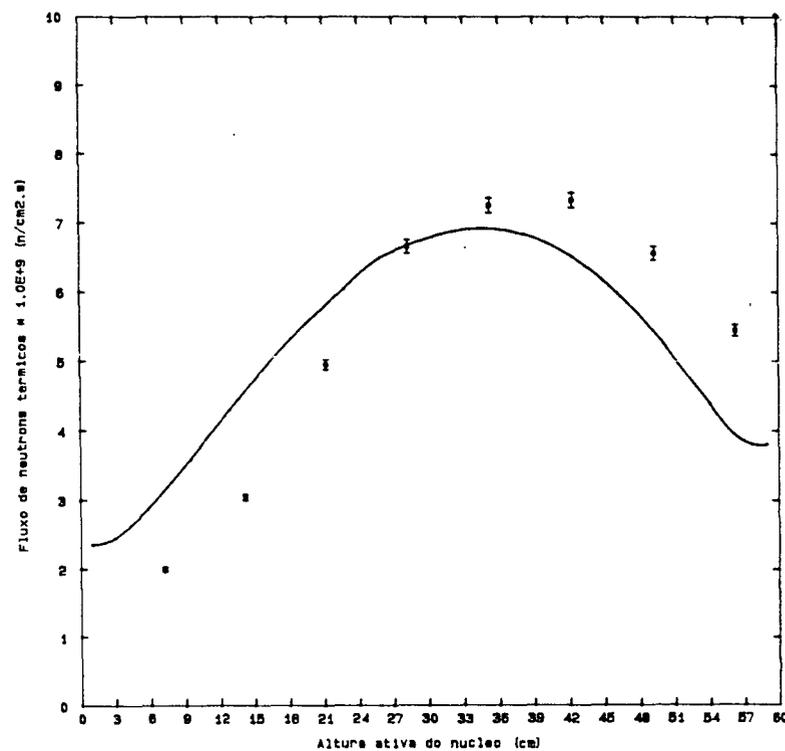


Figura 6. Fluxo de nêutrons térmicos na direção axial (médio) medido (-) calculado (ϕ)

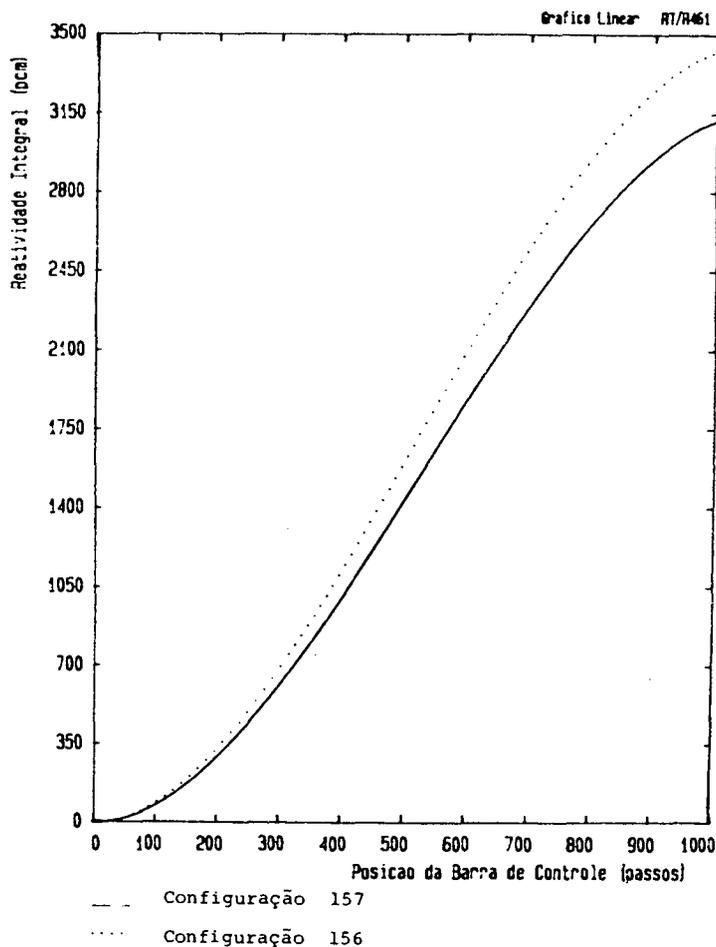


Figura 7. Curvas integrais da barra de controle BC.

A unidade pcm utilizada neste trabalho equivale a $10^{-5} \Delta k/k$. A imprecisão nos valores experimentais de reatividade é de ± 100 pcm e a imprecisão nos cálculos é de $+100$ pcm. Assim sendo considerando esses desvios, nos valores medidos e calculados verifica-se que os resultados são consistentes.

7. CONCLUSÃO

Nos estudos comparativos efetuados neste trabalho, entre medidas e cálculos, encontrou-se para a distribuição axial de fluxo de neutrons térmicos um desvio da ordem de 50% nas bordas do núcleo ativo devido ao efeito do refletor e de 10% no centro do núcleo. Em relação do ganho de reatividade observou-se um desvio máximo de 145 pcm. Considerando-se que os erros na medida e no cálculo são respectivamente da ordem de ± 100 pcm e $+100$ pcm, os resultados obtidos são consistentes.

Esses desvios poderão ser reduzidos melhorando a modelagem teórica, como por exemplo aumentando a discretização espacial, detalhando as regiões do elemento combustível ou aumentando

do o número de grupos de energia. Quaisquer que sejam as modificações implicarão no aumento considerável no tempo de processamento (CPU) ou na área de memória requerida, não podendo ser utilizadas nos cálculos rotineiros do reator IEA-R1. Quanto à medida de reatividade poder-se-á obter melhor resultado reduzindo o efeito do Xe realizando os experimentos após o decaimento total do Xe.

Mesmo a modelagem simplificada apresentada neste trabalho oferece bons resultados, suficiente para o controle rotineiro do reator.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ Fowler, T.B.; Vondy, D.R. e Cunningham, G.W. - Nuclear Reactor Core Analysis Code - CITATION - ORNL-TM-2496, Rev. 2, 1971.
- /2/ Barhen et alli, The HAMMER Code System-Technion - Israel Institute of Technology, EPRI, NP-565, 1978.
- /3/ LEOPARD-LE04, University of Michigan, MArch, 1980.
- /4/ Bitelli, U. d'Utra, Medida e Cálculo da Distribuição Espacial e Energética de Neutrons no Núcleo do Reator IEA-R1. São Paulo, 1988 (Dissertação de Mestrado, IPEN).
- /5/ Ferreira, P.S.B., Calibração das Barras de Controle do Reator IEA-R1 - 1988 (relatório interno).