

## I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1986

### ANAIS - PROCEEDINGS

#### MEDIDAS DE REATIVIDADE EM TEMPO REAL - REATÍMETRU

— João Manoel Losada Moreira

Divisão de Física de Reatores  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN-SP  
São Paulo - SP

#### SUMÁRIO

Um computador de reatividade em tempo real baseado na solução numérica da equação de cinética inversa foi construído no IPEN e está sendo testado no reator IEA-R1 e na central nuclear de Angra-I. Os equipamentos necessários para sua operação são um micro-computador da linha Apple, uma interface A/D e canais de instrumentação do núcleo de um reator (fluxo de nêutrons, temperatura, etc). Alguns dos resultados obtidos em testes envolvendo medidas de reatividade de barras de controle no reator IEA-R1 e do banco C de barras de controle na central nuclear de Angra-I são apresentados e demonstram a funcionalidade e a precisão do computador de reatividade.

#### SUMMARY

It was built at the IPEN a reactivity computer based on the numerical solution of the inverse kinetics equation and it is being tested in the IEA-R1 reactor and in the Angra-I power reactor. The equipment needed for its operation includes an Apple compatible micro-computer, an A/D interface and the usual core instrumentation channels available in the reactors. Some of the results involving measurements of rod reactivity worth in the IEA-R1 reactor and in the Angra-I power reactor are presented and they demonstrate the accuracy and the practicability of the reactivity computer.

## 1. INTRODUÇÃO

O medidor de reatividade consiste em resolver equação de cinética pontual inversa tendo como entrada o sinal de um detetor de nêutrons que responde a perturbações introduzidas no reator. A equação de cinética inversa é obtida da equação de cinética pontual com as equações dos precursores de nêutrons atrasados integradas no tempo<sup>1,2</sup>:

$$\rho(t) = \bar{\beta} + \Lambda \frac{\dot{n}(t)}{n(t)} - \frac{1}{n(t)} \sum_i \lambda_i \bar{\beta}_i \int_{-\infty}^t dt' n(t') e^{\lambda_i(t'-t)} \quad (1)$$

onde  $\rho(t)$  é a reatividade instantânea,  $n(t)$  é a função amplitude de nêutrons,  $\bar{\beta}_i$  é a fração efetiva de nêutrons atrasados do grupo  $i$ ,  $\Lambda$  é o tempo de geração de nêutrons no reator,  $\lambda_i$  é a constante de decaimento dos precursores do grupo  $i$  e  $\bar{\beta}$  é a fração total efetiva de nêutrons atrasados. Toma-se o sinal de um detetor como proporcional à função amplitude do reator onde, no contexto de validação das equações de cinética pontual, é assumido que o fluxo de nêutrons dentro do reator varia igualmente em todas as posições.

## 2. DESCRIÇÃO DO REATÍMETRO DO IPEN

O medidor de reatividade ou reatímetro construído no IPEN baseia-se na solução numérica da equação de cinética inversa em um micro-computador ME2-Spectrum. O sistema funciona em tempo real podendo receber sinais na forma de corrente (câmaras de ionização) ou de pulsos (detetores BF<sub>3</sub>, câmaras de fissão, etc). O sinal recebido é processado no micro-computador (solução da equação de cinética inversa) que produz como saída a reatividade em função do tempo.

No algoritmo para se resolver a Eq. (1) é assumido que a função amplitude ou o sinal do detetor possa ser interpolada linearmente entre os pontos medidos. Dessa forma a integral de convolução da Eq. (1) pode ser resolvida num dado instante baseado nos resultados obtidos para tempos anteriores. A interpolação permite que intervalos de tempo maiores sejam utilizados na discretização do tempo sem perda de precisão. A interpolação linear, por ser mais simples, também permite um processamento mais rápido com o micro-computador ME2 - Spectrum produzindo o resultado com 1 s de defasagem no tempo.

O equipamento necessário para a operação do reatímetro inclui o micro-computador ME2, uma interface A/D e o sistema convencional de medidas de fluxo em um reator. O sinal do detetor (pulso ou corrente), passando pela eletrônica associada à detecção, é transmitido para o micro-computador ME2 através de uma interface A/D desenvolvida no IPEN<sup>3</sup>. No micro-computador o sinal é processado e os resultados tem sua saída na impressora ou visor do micro-computador.

Se for do interesse, os dados de entrada e de reatividade podem também ser armazenados em disquete para análises posteriores.

Os dados de entrada necessários para o reatímetro são os parâmetros cinéticos  $\Lambda$ ,  $\bar{\beta}_i$  e  $\bar{\beta}$ ,  $\lambda_i$ , o intervalo de tempo  $\Delta t$ , tempo morto do detetor no caso de entrada na forma de pulsos, dados de controle da saída gráfica e o sinal do detetor.

## 3. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

O reatímetro do IPEN vem sendo utilizado em fase de testes no levantamento das curvas integral e diferencial de reatividade das barras de controle do reator IEA-R1. Na Figura 1 vê-se uma saída do reatímetro durante um transiente de movimentação de barra. O asterísco (\*) representa a função amplitude ou a potência do reator IEA-R1 e o ponto (.) representa a reatividade. A esquerda

encontram-se a potência normalizada e o instante em que se produz a reatividade que é escrita à direita. O gráfico permite visualizar a evolução do transiente orientando o operador durante as medidas.

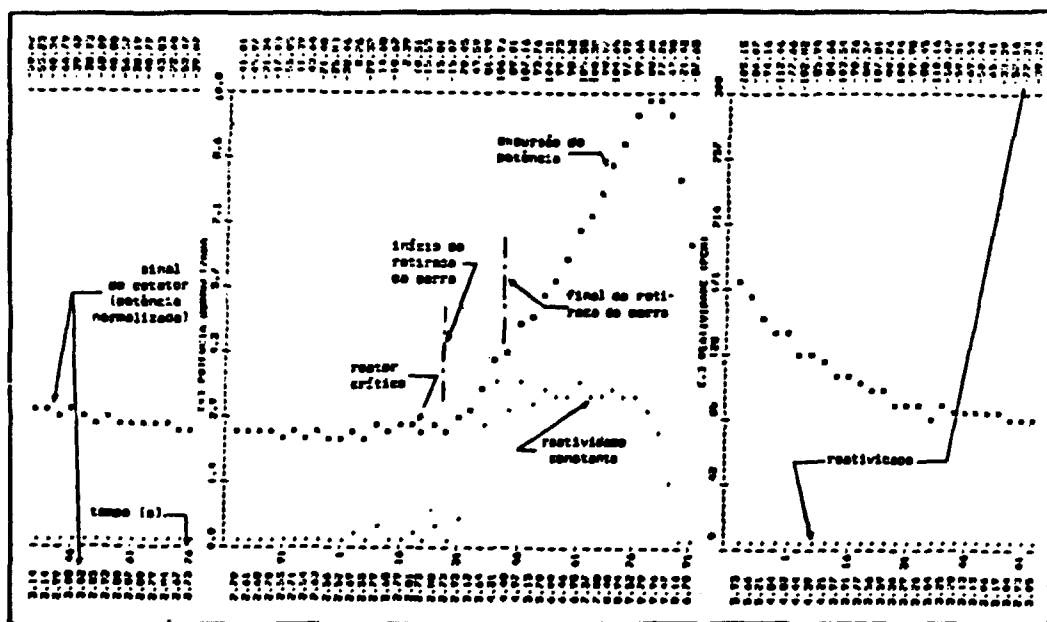


Figura 1 - Saída do reatímetro para um transiente de movimentação de barra de controle no reator IEA-R1.

Nesse trabalho apresentamos sucintamente os resultados obtidos em 4 testes realizados na central nuclear Angra-I, onde a reatividade medida com o reatímetro é comparada com medidas baseadas na técnica do período estável. O objetivo desses testes era avaliar a precisão do reatímetro do IPEN visando sua utilização durante as operações de recarga previstas para o início de 1986. Três dos testes consistiram na retirada do banco C de barras de controle e o quarto, na inserção do banco C de barras de controle. As saídas dos canais N-36 e N-41 de fluxo foram conectados a um registrador gráfico do qual media-se o período estável e, através da equação Inhour, obtém-se a reatividade. A saída do canal N-41 de fluxo também alimentava o reatímetro.

Na Tabela 1 encontram-se os resultados dos quatro testes realizados no reator de Angra-I. Os resultados do reatímetro em cada um dos testes é comparado com a média dos 3 outros baseados na medida do período estável. Nota-se que os dois medidores produziram períodos estáveis suficientemente diferentes para gerar os resultados apresentados na Tabela 1. O reatímetro produziu resultados dentro da precisão requerida de 4% para os testes 2 e 3. A precisão, do reatímetro, no entanto, não pôde ser determinada devido a variação de ordem de 4% ou mais das medidas baseadas no período estável. A discrepância maior ocorreu para o teste 4 de reatividade negativa devido ser necessário esperar mais tempo para a estabilização do período<sup>4</sup>.

Como continuação desse trabalho tentaremos dotar o reatímetro de maior flexibilidade aumentando o número de canais na interface A/D de 256 para 4096. Incluiremos também a capacidade de se medir coeficientes de temperatura em tempo real. O reatímetro com essas novas características poderá ser utilizado nos

testes físicos a serem realizados no início de 1986 na central nuclear de Angra-I.

Tabela 1 - Medidas de reatividade em Angra-I

Método utilizado	reatividade (pcm)			
	teste 1	teste 2	teste 3	teste 4
período estável (Inhour)				
dados do reatímetro canal N-41	29,7	19,5	38,5	-42,2
dados do registrador canal N-41	28,6	18,2	35,7	-33,0
dados do registrador canal N-36	26,8	20,6	36,5	-39,2
reatímetro (cinética inversa)	29,3	20,3	36,8	-36,6

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço à FURNAS Centrais Elétricas por permitir testarmos o reatímetro em Angra-I, aos Ms. Paulo R.P. Coelho, Ms. Pedro Ponzoni Filho, Ms. João B. Borges e Mauro Minoru pela atenção demonstrada durante a realização dos testes e, de maneira especial, ao Ms. Eduardo W. Pontes por construir a interface A/D e viabilizar tecnicamente o equipamento.

#### REFERÊNCIAS

1. FERGUSON, K. et alii. Development of improved data analysis methods for reactivity measurements in large thermal-power reactors. In: Nucl. Tech., 29 37, 1976.
2. MOREIRA, J.M.L. Space-time analysis of reactivity measurements. Ann Arbor, MI, University of Michigan, May 1984. Ph.D. Thesis.
3. PONTES, E.W. Projeto de Interface A/D para micro-computadores da linha APPLE. São Paulo, IPEN-RTI, Agosto 1985. Comunicação Interna.
4. TOPPEL, B.J. Sources of error in reactivity determinations by means of asymptotic period measurements. In: Nucl. Sci. Eng., 5 : 88, 1959.