

SIMULAÇÃO DOS ACIDENTES DE PARTIDA A FRIO E QUEDA DE UM ELEMENTO COMBUSTÍVEL NO REATOR IEA-R1m

- Eng^o. Antonio Carlos Iglésias Rodrigues
Dr. Antonio Teixeira e Silva
Dr. Eduardo Lobo Lustosa Cabral
MSc. Roberto Navarro de Mesquita
MSc. Thadeu das Neves Conti

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN-CNEN/SP
Diretoria de Reatores
Travessa R, 400 - Cidade Universitária
05598-900 - São Paulo - SP
• e.mail: acirodri@net.ipen.br

RESUMO

Neste trabalho são analisados dois acidentes postulados de inserção de reatividade, considerados para o reator de pesquisas tipo piscina IEA-R1m operando a 5 MW no IPEN-CNEN/SP. Os cálculos foram desenvolvidos com o código PARET para os acidentes de "Partida a Frio" e "Queda de um Elemento Combustível". Os resultados obtidos demonstram que nenhum limite de segurança é ultrapassado para esta categoria de acidente.

Palavras-Chave: PARET, inserção de reatividade, análise de segurança, RAS.

I. INTRODUÇÃO

Para obtenção da licença de operação do reator de pesquisas IEA-R1m a 5 MW de potência, situado no IPEN-CNEN/SP, foi necessária a entrega do Relatório de Análise de Segurança (RAS).

O capítulo 16 do RAS trata da Análise dos Acidentes Postulados do IEA-R1m. Dentre os acidentes a serem analisados destacam-se os acidentes de inserção de reatividade no núcleo, que requerem uma cuidadosa análise, desde que podem ultrapassar os limites de segurança estabelecidos para este reator.

A análise de acidentes de reatividade em reatores de pesquisa é usualmente feita com o código PARET [1], que tem comprovado através de diversos estudos [2,3], a sua adequabilidade para este tipo de cálculo.

Neste trabalho, os acidentes de inserção de reatividade que são analisados quantitativamente para o reator IEA-R1m são a queda de um elemento combustível

[4] e o acidente de partida.

II. O CÓDIGO PARET

O PARET é capaz de prever o curso e as conseqüências de acidentes de inserção de reatividade e de perda de vazão em reatores não pressurizados, através de uma análise que considera os efeitos acoplados de termo-hidráulica e neutrônica no núcleo e um contínuo efeito de realimentação de reatividade. Ele simula acidentes em reatores com circulação forçada tanto no sentido ascendente como no sentido descendente, bem como acidentes durante o regime de circulação natural.

As equações de cinética são resolvidas através do modelo pontual, que é aplicável em casos de pequena inserção de reatividade e em núcleos pequenos. A condução de calor através do elemento combustível é considerada unidimensional, na direção transversal.

Os cálculos hidrodinâmicos são baseados no modelo integral do momento, no qual as propriedades do fluido dependem de uma pressão média. O cálculo da fração de vazão é realizado através de correlações empíricas. Existem algumas opções de correlação para o

cálculo da fração de vazio, que são aplicadas dependendo das condições físicas e da situação do transitório. Este tipo de tratamento pode conduzir a resultados não confiáveis em transientes onde ocorre ebulição. Uma descrição da versão atual do código PARET e uma comparação com os experimentos SPERT I são fornecidos na referência [5].

Recentemente foram feitos estudos comparativos [6], [7] e [8] do PARET com o RELAP5/MOD2 e MOD3, que são no momento os códigos mais aplicados (a nível mundial) em análise de segurança, e o PARET mostrou-se mais adequado para a análise de reatores de pesquisa do tipo piscina usando combustível tipo placa e operando em baixa pressão (da ordem de 1 atm) e baixa temperatura (próximo da ambiente) chegando a resultados mais realistas (menos conservativos) para os acidentes de inserção de reatividade e perda de vazão.

III. MODELAGEM DO REATOR IEA-R1m

Para a simulação do núcleo do reator IEA-R1m foi considerada a configuração com vinte e quatro elementos combustíveis [9], sendo três destes elementos de segurança e um de controle. Além destes, existe um elemento de irradiação central conforme mostrado na Figura 1. Este arranjo foi dividido em dois canais concêntricos: canal quente, representado por uma placa combustível com seu respectivo canal de resfriamento, e um canal médio representando todo o restante do núcleo.

Cada elemento combustível deste reator é constituído por dezoito placas combustíveis planas dispostas paralelamente [10]. Já os elementos combustíveis de controle e segurança possuem doze placas de combustível na região central e duas regiões vazias nas extremidades para receber as barras absorvedoras.

A placa combustível é do tipo dispersão U_3O_8 -Al com 19,75% em peso de enriquecimento em U_{235} no cerne, e revestida de alumínio. Para a simulação com o Código PARET, a placa foi dividida em seis regiões transversais, sendo três delas no combustível e as outras três no encamisamento.

Este elemento combustível foi dividido em vinte regiões axiais, de aproximadamente 30mm cada.

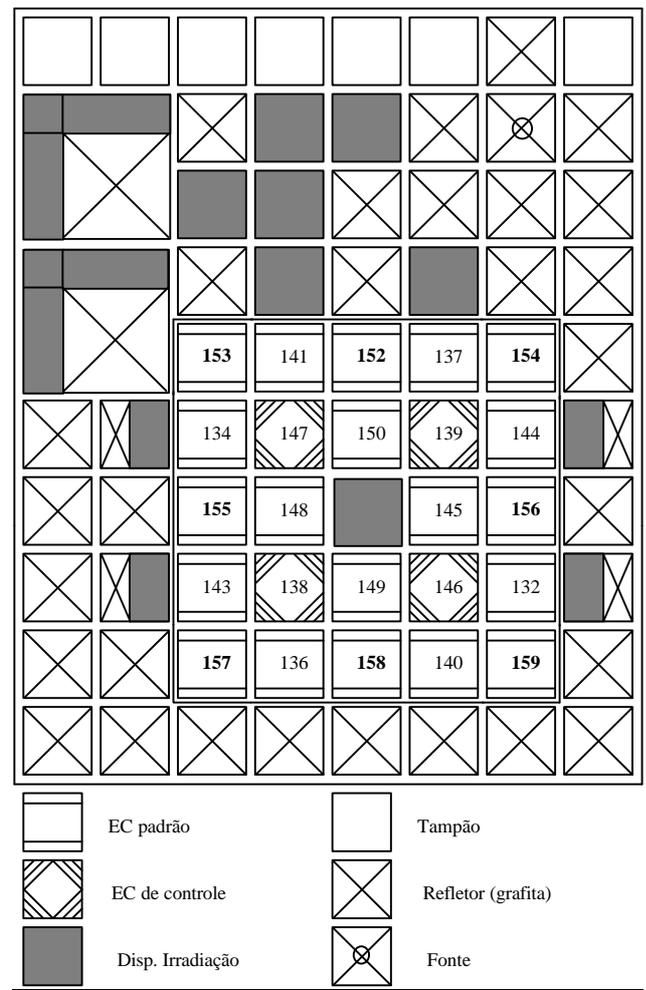
Alguns parâmetros do núcleo considerados nas simulações estão apresentados na Tabela 1.

Os principais dados de projeto utilizados nas simulações são:

- **Potência de operação:** 5,5 MW (10% maior que a nominal) para o acidente de queda de um elemento combustível;
10⁻⁹ MW para o acidente de partida.
- **Vazão volumétrica:** 2700 gpm \cong 0,17037 m³/s (10% menor que a vazão nominal).

- **Curva de Inserção de Reatividade:** apresentada na Tabela 2;
- **Curva de Inserção de Reatividade Devido à Queda das Barras de Controle e Segurança:** apresentada na Tabela 3. Nestes dados assume-se que as barras de segurança e de controle estão inseridas 30cm dentro do núcleo, antes do início do transitório.

Os demais dados de entrada do código foram obtidos de desenhos de projeto e especificações técnicas do reator, já considerando as modificações a serem realizadas para o aumento de potência do reator.



(elementos em negrito são de 2,3 gU/cm³).

Figura 1: Configuração do núcleo do reator IEA-R1m com 24 elementos combustíveis (EC's)

Tabela 1: Coeficientes de Reatividade e Parâmetros Cinéticos do Núcleo de 24 Elementos

β_{ef}	$\Lambda(\mu s)$	<i>Doppler</i> (pcm/°C)	Vazio (pcm/%vazio)	Temperatura do Moderador (pcm/°C)	Densidade do Moderador (pcm/°C)
0,00764	57,90	-1,93	-235,09	-13,18	-12,29

Tabela 2: Curva de Inserção de Reatividade para o Evento de Queda de um Elemento Combustível.

Tempo (s)	Reatividade Inserida (\$)
0,0	0,0
10,0	0,0
10,4	1,31
150,0	1,31

Tabela 3: Curva de Inserção de Reatividade das Barras de Controle e de Segurança.

Comprimento Inserido das Barras (m)	Reatividade Inserida (\$)
0,00	0,00000
0,06	-3,00691
0,12	-5,35656
0,18	-7,04195
0,24	-8,12773
0,30	-8,69843
0,36	-8,69843
0,42	-8,69843
0,48	-8,69843
0,54	-8,69843
0,60	-8,69843

IV. SIMULAÇÃO DOS TRANSIENTES

Para os dois acidentes simulados foi considerado um estado estacionário de 10s, com a finalidade de se obter a estabilidade numérica das variáveis.

- **Queda de Um Elemento Combustível:**

Este acidente é assumido ocorrer com o reator crítico a uma potência de 5,5 MW (cálculo conservativo).

O acidente é induzido por uma rampa de inserção de reatividade, na qual é inserida 1000pcm (1,31\$) em 0,4s, a partir do instante de 10s.

O desligamento do reator ocorre quando a potência atinge 110% do valor inicial (em estado estacionário), ou seja, 6,05 MW e com tempo de atraso de 200ms.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos principais resultados obtidos.

- **Acidente de Partida:**

Nesta simulação foi assumida a condição de partida do reator crítico a 10^{-9} MW e a 20°C de temperatura.

Foi considerado que a barra de controle fosse retirada inadvertidamente inserindo a taxa de reatividade de 35 pcm/s.

Foi obtido de cálculos preliminares, que esta taxa inserção de reatividade deve ser considerada vinte e um segundos após o início do acidente, no máximo. Isso porque este é o tempo suficiente para que o reator eleve sua potência atingindo o limite de $2,2 \times 10^{-4}$ MW (220W) e desencadeie o seu desligamento com 200ms de atraso. Para que ocorra o desligamento do reator, é necessário que a barra de controle e as três barras de segurança sejam desacopladas de seus mecanismos de acionamento. Com a queda dessas quatro barras, não teremos mais a taxa inserção de 35 pcm/s.

O resumo dos principais resultados obtidos para esta simulação são apresentados na Tabela 4.

O comportamento das principais variáveis de interesse é apresentado nas Figuras 2 a 6 para a simulação da queda de um elemento combustível e nas Figuras 7 a 11 para o acidente de partida.

Tabela 4: Resumo Geral dos Resultados Obtidos nas Simulações dos Acidentes de Inserção de Reatividade.

		Queda de um Elemento Combustível	Acidente de Partida
Potência máxima	(MW)	15,601 [10,246s]	$4,507 \times 10^{-4}$ [30,602s]
Temperatura máxima no combustível (°C)	canal médio	88,56 [10,27s]	20,002 [30,591s]
	canal quente	126,75 [10,27s]	20,003 [30,556s]
Temperatura máxima no revestimento (°C)	canal médio	87,21 [10,27s]	20,002 [30,602s]
	canal quente	124,02 [10,27s]	20,003 [30,556s]
Temperatura máxima no refrigerante (°C)	canal médio	55,07 [10,36s]	20,000 [-----]
	canal quente	70,44 [10,36s]	20,001 [30,556s]

(Evento de Queda de um EC.)

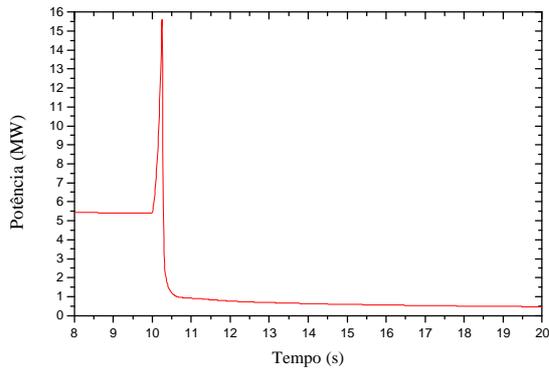


Figura 2: Variação temporal da potência. (Evento de Queda de um EC.)

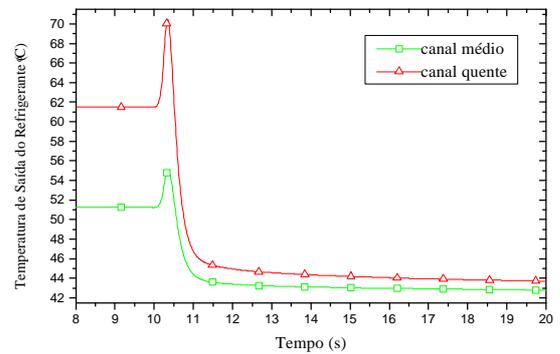


Figura 4: Variação temporal da temperatura de saída do refrigerante. (Evento de Queda de um EC.)

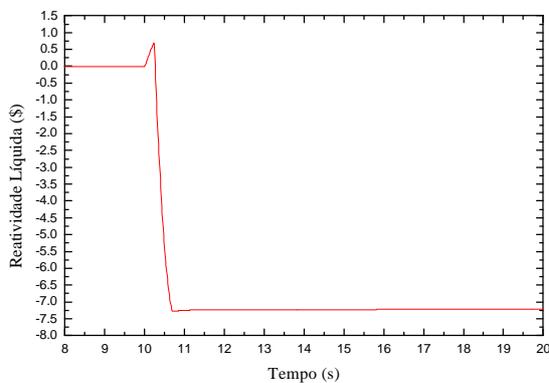


Figura 3: Variação temporal da reatividade.

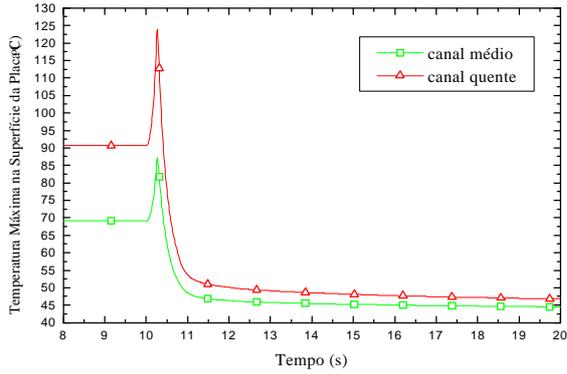


Figura 5: Variação temporal da temperatura na superfície da placa. (Evento de Queda de um EC.)

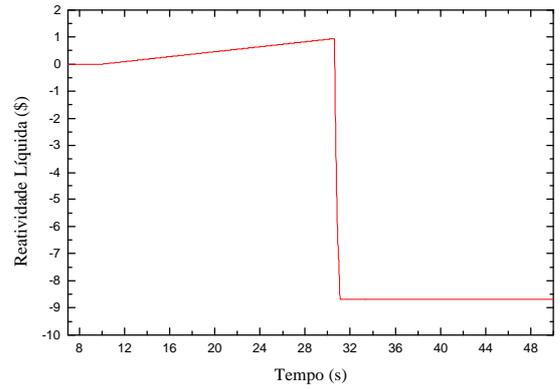


Figura 8: Variação temporal da reatividade. (Acidente de Partida.)

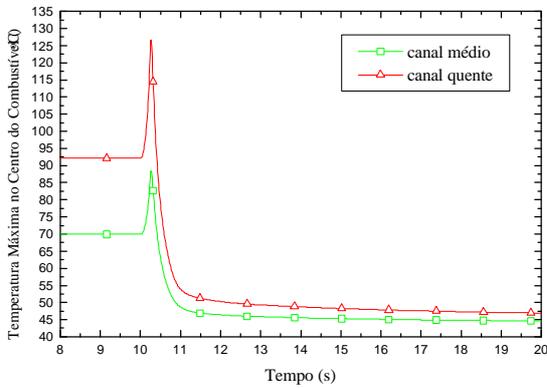


Figura 6: Variação temporal da temperatura máxima no centro do combustível. (Evento de Queda de um EC.)

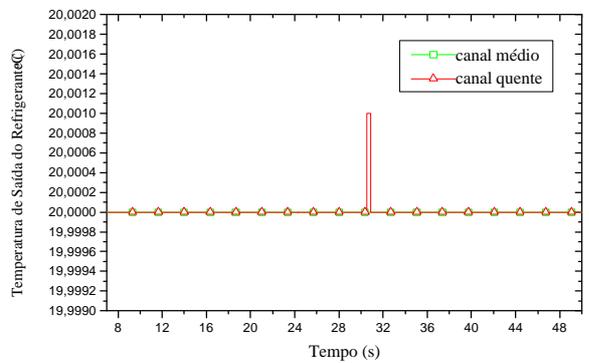


Figura 9: Variação temporal da temperatura de saída do refrigerante. (Acidente de Partida.)

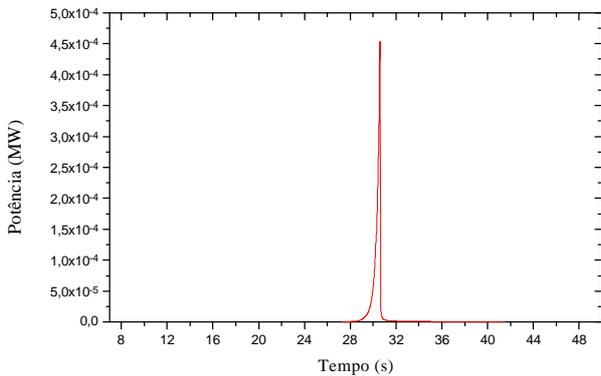


Figura 7: Variação temporal da potência. (Acidente de Partida.)

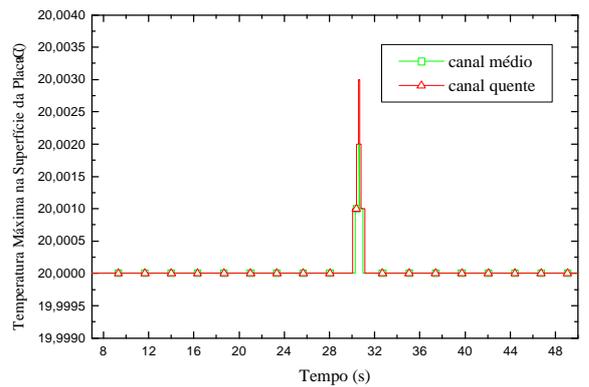


Figura 10: Variação temporal da temperatura na superfície da placa. (Acidente de Partida.)

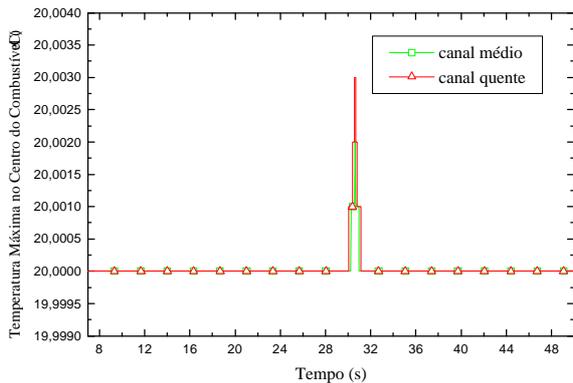


Figura 11: Variação temporal da temperatura máxima no centro do combustível. (Acidente de Partida.)

V. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

O acidente de queda de um elemento combustível é o muito mais crítico como pode ser observado na Tabela 4. Isso é devido basicamente à taxa de inserção de reatividade do primeiro acidente ter sido maior que a do segundo.

Na simulação da queda de um elemento combustível ocorre um pico de temperatura no centro do combustível do canal quente de $126,8^{\circ}\text{C}$ (ver Fig. 6). Para a superfície do revestimento do combustível a máxima temperatura atingida é de $124,0^{\circ}\text{C}$ (ver Fig. 5). Estas temperaturas são bem inferiores aos limites máximos admissíveis para a segurança dos materiais envolvidos. Para o alumínio a partir de 500°C , e para os outros materiais bem maiores que 500°C .

A temperatura de saída da água no canal quente atinge $70,44^{\circ}\text{C}$ aos 10,4s aproximadamente (ver Fig. 4), estando abaixo da temperatura de saturação na condição de pressão do núcleo, que é cerca de 129°C .

Pelo fato do incidente de partida ser menos crítico que o outro acidente discutido acima, e como pode ser observado na Tabela 4 e Figs.7 a 11, podemos dizer que este evento também não causaria nenhum tipo de dano ao núcleo do reator ou à instalação.

VI. CONCLUSÕES

A modelagem do núcleo do reator IEA-R1m foi, na medida do possível, elaborada de forma a representar fielmente o que ocorreria com o núcleo durante os acidentes considerados. Também, levando-se em conta que as simulações foram executadas com os principais dados de entrada superestimados (como potência de

operação do reator e reatividade inserida), podemos considerar os resultados conservativos e válidos para o processo de licenciamento do aumento de potência do reator IEA-R1m.

REFERÊNCIAS

- [1] OBENCHAIN, C.F. **PARET - A Program for the Analysis of Reactor Transients**. Idaho Operations Office, 1969. (IDO-17282).
- [2] **Research Reactor Core Conversion Guidebook**. Volume 3: Analytical Verification, 1992. (IAEA-TECDOC-643).
- [3] MARAGNI, M.G. E SILVA, A.T. **Verificação de Códigos Termo-Hidráulicos para Análise de Acidentes de Reatores de Pesquisa** IN: IX Brazilian Meeting on Reactor Physics and Thermal-Hydraulics (Caxambú, M.G., Brazil, October 25-29, 1993), Minas Gerais, CDTN-CNEN/MG, 1993, p.393-7.
- [4] RODRIGUES, A.C.; e SILVA, A.T.; CABRAL, E.L.L.; MESQUITA, R.N. **Análise de acidentes de inserção de reatividade postulados para o reator IEA-R1m**. IN: XI Brazilian Meeting on Reactor Physics and Thermal Hydraulics (Poços de Caldas, M.G., Brazil, August 18-22, 1997).
- [5] WOODRUFF, W.L.. **A Kinetics and Thermal-Hydraulics Capability for the Analysis of Research Reactors**. Nuclear Technology, 64, 196(1984).
- [6] KIM, S.S. ;McKIBBEN, J.C.. **PARET/ANL and RELAP5/MOD2 benchmarking comparison with the SPERT-IV test data** IN: Annual meeting of the American Nuclear Society. Atlanta, GA (USA). 4 – 8 Jun 1989.
- [7] WOODRUFF, W.L., HANAN, N.A., SMITH, R.S. and MATOS, J.E.. **A comparison of the PARET/ANL and RELAP5/MOD3 codes for the analysis of IAEA benchmark transients** IN:1996 Internacional Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Seoul (Korea). 7 – 10 October 1996.
- [8] WOODRUFF, W.L., HANAN, N.A., SMITH, R.S. and MATOS, J.E.. **Comparison of the PARET/ANL and RELAP5/MOD3 codes for the analysis of IAEA benchmark transients and the SPERT experiments**. IN:1997 American Nuclear Society (ANS) winter meeting. Albuquerque, NM (USA). 16 – 20 Nov 1997.

[9] YAMAGUCHI, M. **Análise Neutrônica do Núcleo do Reator IEA-R1m para 5MW** Relatório n° de Projeto: PSI.REN.IEAR1.002 e n° do Documento: RELT.002.R00, 05/1996.

[10] MAIORINO, J.R., PERROTTA, J.R., KOSAKA, N. E SILVA, A.T. **Atualização dos Cálculos da Configuração do Reator IEA-R1m, Dados Padronizados** Relatório n° R410160021411-01-01, 01/1989.

ABSTRACT

The present paper describes the calculations for the two more limiting reactivity initiated accidents of the IPEN - CNEN / SP research reactor IEA - R1 operating at 5 MW. The simulation was made with the computer code PARET for the postulated accidents "Fuel Element Drop" and "Start-up Accident". The results have showed that no safety limit will be violated for this accident category.