

# **SIMULAÇÃO DE ESTADOS ESTACIONÁRIOS DE UM PWR INTEGRAL E DE TRANSIENTES PARA MUDANÇA DE POTÊNCIA ENTRE ESSES ESTADOS USANDO O RELAP5MOD3**

**Ivan Dionysio Aronne<sup>1</sup>, Élcio Tadeu Palmieri<sup>2</sup>, Benedito Dias Baptista Filho<sup>3</sup>,  
Antônio Carlos de Oliveira Barroso<sup>4</sup> e Carlos Vicente Goulart de Azevedo<sup>5</sup>**

<sup>1,2 e 5</sup> Centro de Desenvolvimento da Tecnologia- Nuclear (CDTN / CNEN)  
Caixa Postal 941  
30123-970 - Belo Horizonte, MG / Brasil  
<sup>1</sup> aroneid@cdtn.br, <sup>2</sup> etp@cdtn.br e <sup>5</sup> cvga@cdtn.br

<sup>3 e 4</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
<sup>3</sup> bdf@ipen.br e <sup>4</sup> barroso@ipen.br

## **RESUMO**

Um reator de água pressurizada, PWR, integral apresenta várias diferenças em relação aos PWRs convencionais. As massas de metal e refrigerante dos reatores integrais são maiores que o convencional e por outro lado as bombas tendem a ser menores e o pressurizador deve apresentar características próprias desse arranjo [1]. Essas características, que representam inércias diferentes das usuais, fazem com que a obtenção do estado estacionário desse tipo de reator tenha particularidades que demandam estratégias diferentes das usuais. São apresentadas inicialmente as principais características físicas do reator em estudo [2] e as opções adotadas na modelagem e utilizadas para se obter a simulação de estados estacionários com o código RELAP5-Mod3.

Os resultados obtidos da simulação do estado estacionário mostram tanto os efeitos das diferenças mencionadas acima, onde os tempos são significativamente maiores, bem como a propriedade e eficiência da abordagem definida e utilizada.

Foram simulados dois transientes para a mudança de estado do reator entre os estados estacionários com potências de 100% para 90% , sendo que uma das mudanças se deu em forma de degrau e a outra em forma de rampa com uma taxa de 5%/min. Esses cálculos representam um primeiro passo para a definição e testes de partes de um sistema de controle elementar. Os dois transientes simulados foram baseados em hipóteses de controle plausíveis cujos resultados são apresentados e comentados.

O objetivo final deste estudo é a utilização de resultados de simulações tanto de estados estacionários como de transientes no suporte ao desenvolvimento de um sistema de identificação e classificação de transientes, baseado em redes neurais usando mapas auto-organizados cuja proposição básica [3] é apresentada neste trabalho.

## **1. INTRODUÇÃO**

A construção de novas usinas para geração de eletricidade enfrenta sérios desafios, neste século XXI, devido aos níveis de conscientização e de exigências da sociedade, especialmente no que se refere ao meio ambiente e segurança. No caso da tecnologia nuclear os requisitos para o meio ambiente e a segurança se estendem também às questões relativas aos rejeitos e à resistência à proliferação. É necessário, portanto, desenvolver novos projetos que estejam em consonância com as demandas da sociedade e que sejam competitivos econômica e financeiramente considerando um contexto de liberalização e desregulamentação dos mercados de eletricidade, onde os investimentos são feitos pelo setor

privado que requer um tempo de retorno dos investimentos bem mais curtos que os antigamente praticados.

Nessas condições observam-se várias iniciativas direcionadas à definição de critérios básicos necessários para novos projetos e também ações para identificar aqueles projetos que tem potencial de viabilização nos médio, cerca de 15 anos, e no longo prazo. O projeto do reator ÍRIS procura atender aos desafios apresentados introduzindo melhorias nas questões referentes à: segurança, proliferação, rejeitos, economia e finanças e estar disponível no médio prazo, anteriormente definido.

## 2. O REATOR IRIS

O conceito básico proposto, pelo projeto ÍRIS, para alcançar essas melhorias é o de um reator integral a água pressurizada de cerca de 1000 MW térmicos. Essa configuração visa a atender o mercado para usinas de médio porte, a aproveitar a extensa experiência acumulada na operação dos reatores a água pressurizada existentes no mundo e a aumentar a segurança, eliminando ou minimizando a possibilidade de ocorrência de uma série de acidentes.

O projeto do reator IRIS tem, então, todos os componentes do circuito primário, geradores de vapor, bombas, pressurizador e blindagem do núcleo, dentro do vaso de pressão como mostrado na Fig. 1. Uma consequência dessa opção é o aumento da massa de água no circuito primário com o consequente aumento da inércia termo-hidráulica.

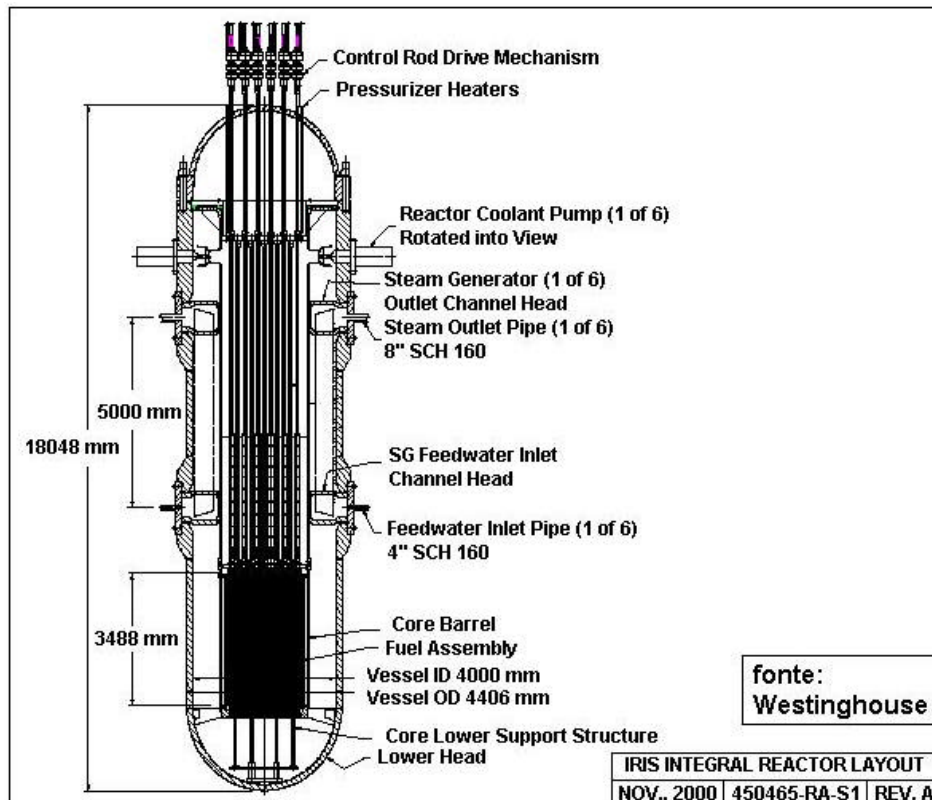


Figura 1. Vaso do Reator Integrado IRIS

### **3. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE TRANSIENTES**

Um dos fatores que contribui para melhorar a segurança, diminuir os riscos econômicos e melhorar as finanças é um sistema de interface homem máquina. Este sistema facilita e auxilia a operação do reator ajudando a mantê-lo em regiões de operação mais estáveis diminuindo riscos de transientes com potencial de provocar paradas forçadas; aumentando assim a disponibilidade da instalação e conseqüentemente seu potencial de retorno financeiro.

Pretende-se então no contexto do projeto do reator ÍRIS desenvolver um sistema de identificação e classificação dos transientes - SICT - de operação do reator IRIS e apontará a tendência de evolução dos mesmos. Esse SICT será baseado na monitoração de alguns parâmetros principais a serem identificados e que sejam adequados às condições do projeto e da operação do reator. Esse sistema será desenvolvido usando as técnicas e teorias desenvolvidas para as redes neurais, em particular usando os mapas auto-organizados - MAO (Self-Organized Maps – SOM), que tem demonstrado sua grande capacidade para resolver os problemas de identificação e classificação de padrões sem necessidade de um aprendizado supervisionado.

Já foram realizados estudos iniciais que indicam a viabilidade do desenvolvimento do SICT usando redes neurais com mapas auto organizados e uma descrição detalhada dessa metodologia é apresentada por Baptista F. e Barroso[3]. O desempenho de um sistema desse tipo pode, no entanto, melhorar sensivelmente usando uma extensa fase de aprendizado onde são fornecidos, para o sistema, valores das variáveis de processo em tempo real. As variáveis e suas evoluções a serem apresentadas para o sistema na fase de desenvolvimento serão determinadas através de simulação numérica do reator, em particular com o código RELAP5 que tem o potencial de simular esse reator, que é um sistema complexo, de maneira adequada.

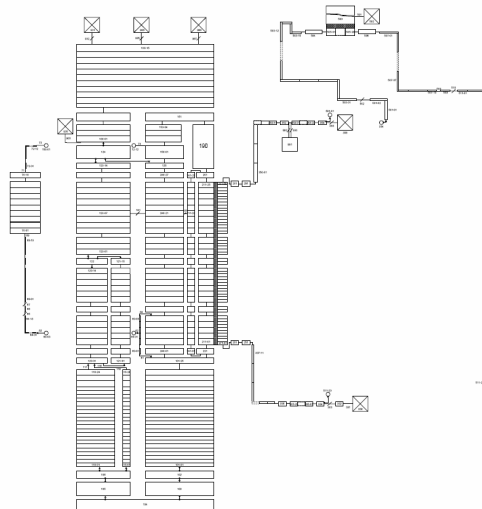
### **4. MODELAGEM PARA ESTADOS ESTACIONÁRIOS E TRANSIENTES USANDO O RELAP5**

A modelagem de um reator com o RELAP5 requer basicamente:

- a modelagem geométrica e termo-hidráulica dos componentes do reator (nodalização),
- a modelagem do sistema de controle que define como o reator reage às diversas condições de operação e
- condições de contorno, em especial aquelas que definem o tipo de estudo a se realizar.

#### **4.1 Nodalização dos Componentes**

A nodalização do reator foi feita tendo em vista cálculos de estado estacionário e de transientes, especialmente aqueles requeridos durante a operação do reator, como as mudanças de potência seja em rampa ou degrau. Isso levou a um conceito de nodalização que considera todos os fenômenos importantes e, portanto, bastante detalhada onde os volumes de controle apresentam um comprimento na faixa de 0,2 a 0,5 m. Considerando ainda que o IRIS tem como uma vantagem o uso de circulação natural em situações de emergência foi utilizada a técnica de células em canais paralelos tem a mesma altura, minimizando assim os efeitos numéricos da simulação nos resultados. A nodalização final apresenta mais de 3000 componentes termo-hidráulicos (volumes e junções). A Fig. 2 apresenta um esquema simplificado da nodalização resultante para o reator mostrado na Fig. 1.



**Figura 2. Nodalização do Reator Integrado IRIS**

#### **4.2 Elementos Principais do Sistema de Controle Simulado**

Os principais elementos do sistema de controle, que se encontra em fase de estudos e definição, utilizados na simulação foram:

- Sistema de controle, artificial e numérico, do nível e da pressão do pressurizador, para uso durante fases iniciais de cálculo estacionário,
- Sistema de controle, operacional de nível e de pressão do pressurizador,
- Sistema de controle da válvula de admissão de vapor na turbina, para controle da da pressão do secundário e indiretamente da potência entregue à turbina,
- Sistema de controle para o nível do secundário dos geradores de vapor,
- Sistema de controle, artificial e numérico, da potência do primário, para uso durante fases iniciais de cálculo estacionário,
- Sistema de controle da potência do primário, que considera a cinética do núcleo do reator. Esse sistema foi implementado usando-se variáveis de controle do RELAP5 (CONTRLVAR) e inclui, por exemplo, o controle da inserção e retirada das barras de controle do reator.

Nas simulações realizadas da potência de operação é definição a partir do valor imposto para a vazão de injeção no secundário dos geradores de vapor. A partir dessa condição de contorno os sistemas de controle acima citados devem estabilizar a potência do primário e secundário nessa potência e em condições predefinidas.

#### **4.3 Condições de Contorno**

As principais condições de contorno implementadas no sistema de controle (set points) e que definem o balanço termo-hidráulico da usina foram:

- Pressão do secundário: mantida constante em 56,7 bar,
- Pressão do primário: constante em 155,13bar
- Temperatura média do primário: varia linearmente de 300 °C a 310 °C para potências térmicas entre 0 e 1000MW, respectivamente,
- Nível do pressurizador: varia linearmente entre 1,3 e 2,0 m para temperatura média do primário variando entre 300 °C e 310 °C. Fora desses limites de temperatura o nível deve ser mantido no valor mínimo ou máximo, conforme a temperatura.

Deve-se ressaltar ainda que o sistema de controle dos aquecedores inclui, de maneira artificial, a perda de calor do pressurizador, até o valor máximo de 240kW.

## 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram então realizadas três simulações para se verificar a adequação do sistema proposto.

Inicialmente foi calculado um estado estacionário a 100% de potência, que usou até 500s os controles artificiais de pressão e nível do pressurizador e que não considerava as condições para cálculo da potência por cinética do reator, sendo que após esse instante e até 2000 segundo foram desativados os controles artificiais de pressão e nível do pressurizador e iniciados os controles operacionais. A potência continuou sendo imposta artificialmente porém calculando-se, após os 500s, os efeitos da reatividade. As Fig. 3 e 4 mostram que as pressões variaram muito pouco e estão praticamente constantes em 2000 s. O mesmo comportamento foi apresentado para as demais variáveis verificadas durante a análise dos resultados.

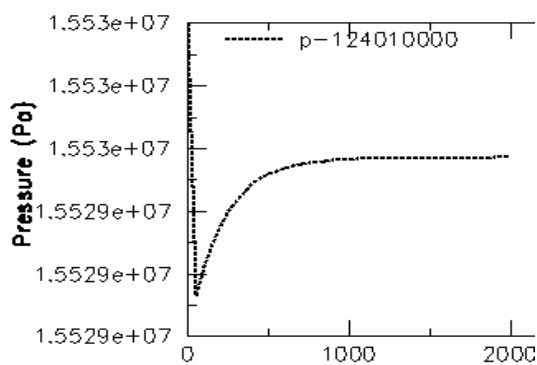


Figura 3. Pressão no Circuito Primário.

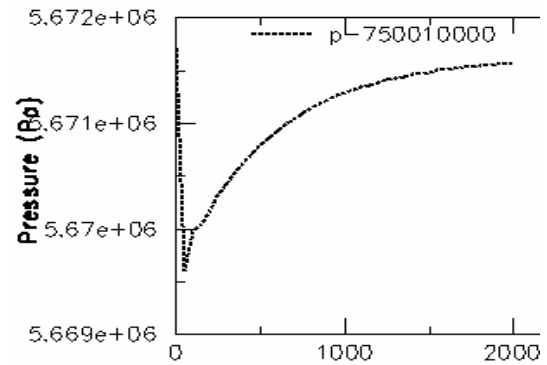


Figura 4. Pressão no Circuito Secundário.

Os dois cálculos de mudança de potência de 100% para 90% foram realizados usando a opção de *restart* do RELAP que utilizou os resultados finais, 2000 s, da simulação de 100% de potência como condição inicial para o transiente. Durante os casos de mudança abrupta, mostrada como linha tracejada ou contínua nas figuras, e de mudança em rampa (5%/min), mostrada como linha pontilhada nas figuras, não foram utilizados quaisquer controles artificiais e a potência foi calculada através da cinética pontual aplicada ao núcleo do reator. O tempo de simulação do transiente calculado e apresentado nas figuras foi maior que 2000 s porém somente os resultados até 2000 s são significativos pois algumas condições de contorno não foram acertadas para funcionarem após esse tempo.

As Figuras de 5 a 10 apresentam os resultados das variáveis mais importantes para a avaliação do desempenho da simulação realizada.

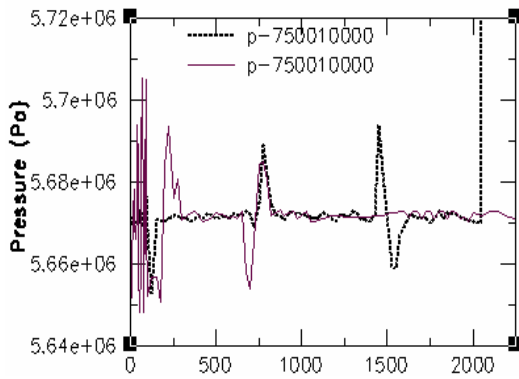


Figura 5. Pressão no Circuito Secundário.

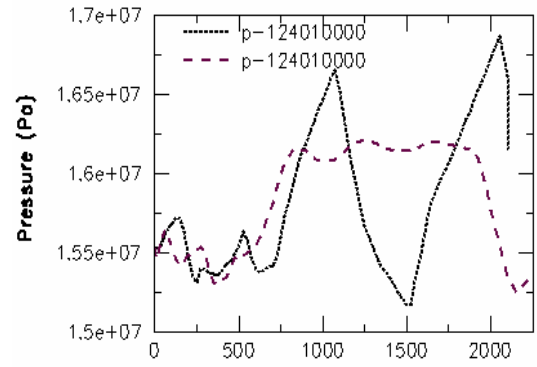


Figura 6. Pressão no Circuito Primário.

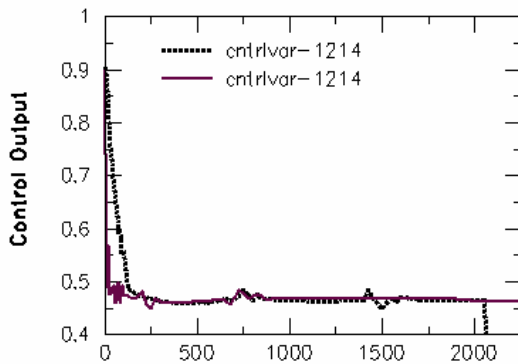


Figura 7. Posição da válvula de admissão de vapor na turbina

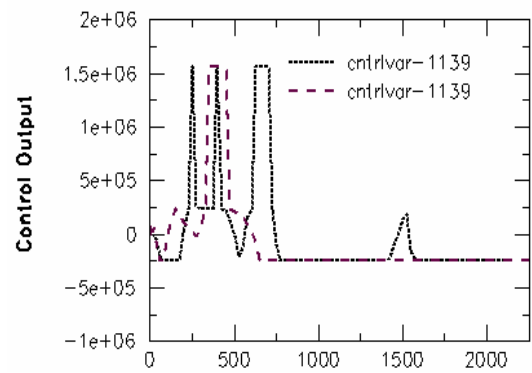


Figura 8. Potência nos Aquecedores do PRZ.

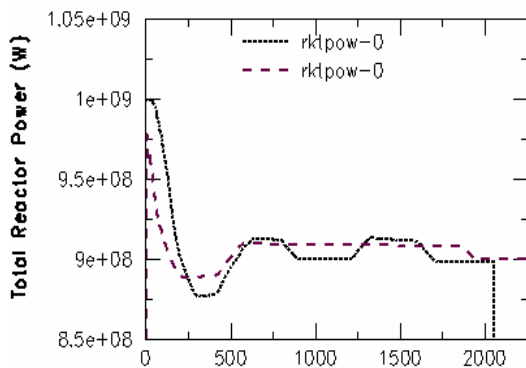


Figura 9. Potência Nuclear.

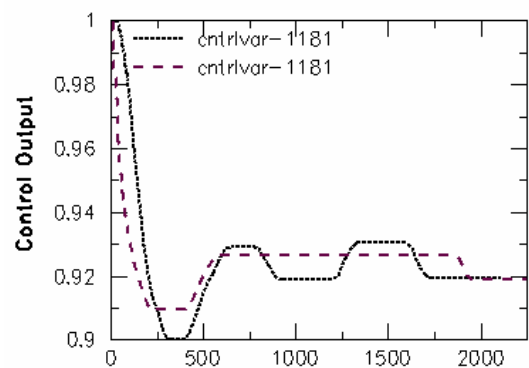


Figura 10. Posição das Barras de Controle.

## 6. CONCLUSÕES

A nodalização utilizada se mostrou adequada para os cálculos realizados, não tendo sido detectado nenhum problema provocado por ela.

O sistema de controle utilizado mostrou desempenho satisfatório no cálculo do estado estacionário a 100% de potência e até mesmo para a fase inicial dos transientes de mudança

de potência, porém apresentou um comportamento não convergente e oscilante ou instável na fase final de estabilização na nova potência de 90%.

Considerando os comportamentos observados é provável que os sistemas para controle e as condições contorno propostos possam ser melhorados alterando-se tão somente as constantes de tempo dos vários sistemas de controle sem alterar sua estrutura básica.

A utilização dos dados proporcionados pela simulação com o RELAP no Sistema de Identificação e Classificação de Transientes proposto só poderá ser realizada de maneira efetiva após o ajuste do sistema de controle de formas a produzir resultados condizentes com os usuais e desejáveis para a operação ótima do reator.

## REFERÊNCIAS

1. Barroso, A. C. O., Baptista F., B. D., Aronne, I. D., Macedo, L. A., Sampaio, P. A. B., Moraes, M., "IRIS Pressurizer Design," *Proceedings of ICAPP '03*, Cordoba, Spain, May 4-7, 2003.
2. Carelli, M. D., Conway L.E., Oriani L., Petroviæ B., et al., "The Design and Safety Features of the IRIS Reactor", *Nuclear Engineering and Design*, **230**,. pp 151-167 (May 2004).
3. [3] Baptista F., B. D.; Barroso, A. C. O., "Identification of IRIS Reactor Transients with Self-Organized Maps", In: *International Conference on Global Environment and Advanced Nuclear Power Plants - GENES4/ANP2003*. Kioto, 2003.