

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO PRESSURIZADOR DO CÓDIGO RELAP4

THADEU DAS NEVES CONTI e GAIANE SABUNDJIAN
 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES-IPEN/CNEN-SP
 TRAVESSA R, 400 - USP -BUTANTÁ
 05508 - SÃO PAULO -S.P.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo estudar o modelo do pressurizador do Código RELAP4. Este tipo de análise é importante porque o Código trata a mistura água-vapor no pressurizador de maneira simplificada. As fases da mistura encontram-se saturadas e em equilíbrio térmico. Através de um estudo realizado com a Usina Nuclear Angra 1 observa-se que o comportamento da pressão no pressurizador depende fundamentalmente da modelagem adotada neste componente.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento do modelo matemático empregado nos componentes dos Códigos da linha RELAP4 [1] quando sujeito a transientes de inserção de reatividade, do tipo ejeção de barra.

Para isto, modelou-se o vaso do reator, o circuito primário de refrigeração do reator e o lado secundário do gerador de vapor da Usina Nuclear Angra 1, Figura 1.

Como o Programa RELAP4 considera as equações de conservação para uma mistura homogênea e com equilíbrio entre as fases, ao simular-se transientes ou acidentes que envolvem o pressurizador deve-se ter um certo cuidado na modelagem deste componente. Portanto, para solucionar este problema foram analisadas as equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento do modelo do pressurizador e realizou-se vários testes de sensibilidade na modelagem desenvolvida.

MODELO HOMOGÊNEO DO CÓDIGO RELAP4

O Programa RELAP4 considera o sistema termo-hidráulico a ser analisado como uma série de volumes de controle, conectados entre si por junções de interligação e com a transferência de calor sendo efetuada através das estruturas de troca de calor situada entre os volumes. Este programa resolve numericamente as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia para cada um dos volumes de controle, supondo que a mistura é homogênea, com escoamento unidimensional e que as fases líquido e vapor estão em equilíbrio térmico.

As equações básicas para o escoamento homogêneo e unidimensional em um duto são:

conservação de massa:

$$W = \rho_m \cdot v \cdot A = \text{cte} \quad (1)$$

conservação de movimento:

$$W \frac{dv}{dz} = - A \frac{dp}{dz} - P \cdot \tau_v -$$

$$A \cdot \rho_m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (2)$$

conservação de energia:

$$\frac{dq_e}{dz} - \frac{dw}{dz} = W \cdot \frac{d}{dz} \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z_g \right) \quad (3)$$

onde:

W = vazão mássica

A = área de escoamento do duto

P = perímetro do duto

τ_v = tensão na parede

$\frac{dq_e}{dz}$ = transferência de calor por unidade de comprimento

z_g = coordenada vertical

θ = inclinação do duto com a vertical

p = pressão termodinâmica

h = entalpia do fluido

g = aceleração da gravidade

$\frac{dw}{dz}$ = trabalho por unidade de comprimento

Para a mistura água e vapor são utilizadas as tabelas de vapor ou a carta de MOLLIER, com isto a densidade média (ρ_m) pode ser expressa em termos de fração de vazio (α), ou seja:

$$\rho_m = \alpha \cdot \rho_2 + (1-\alpha) \cdot \rho_1 \quad (4)$$

onde: ρ_1 : densidade do líquido

ρ_2 : densidade do gás

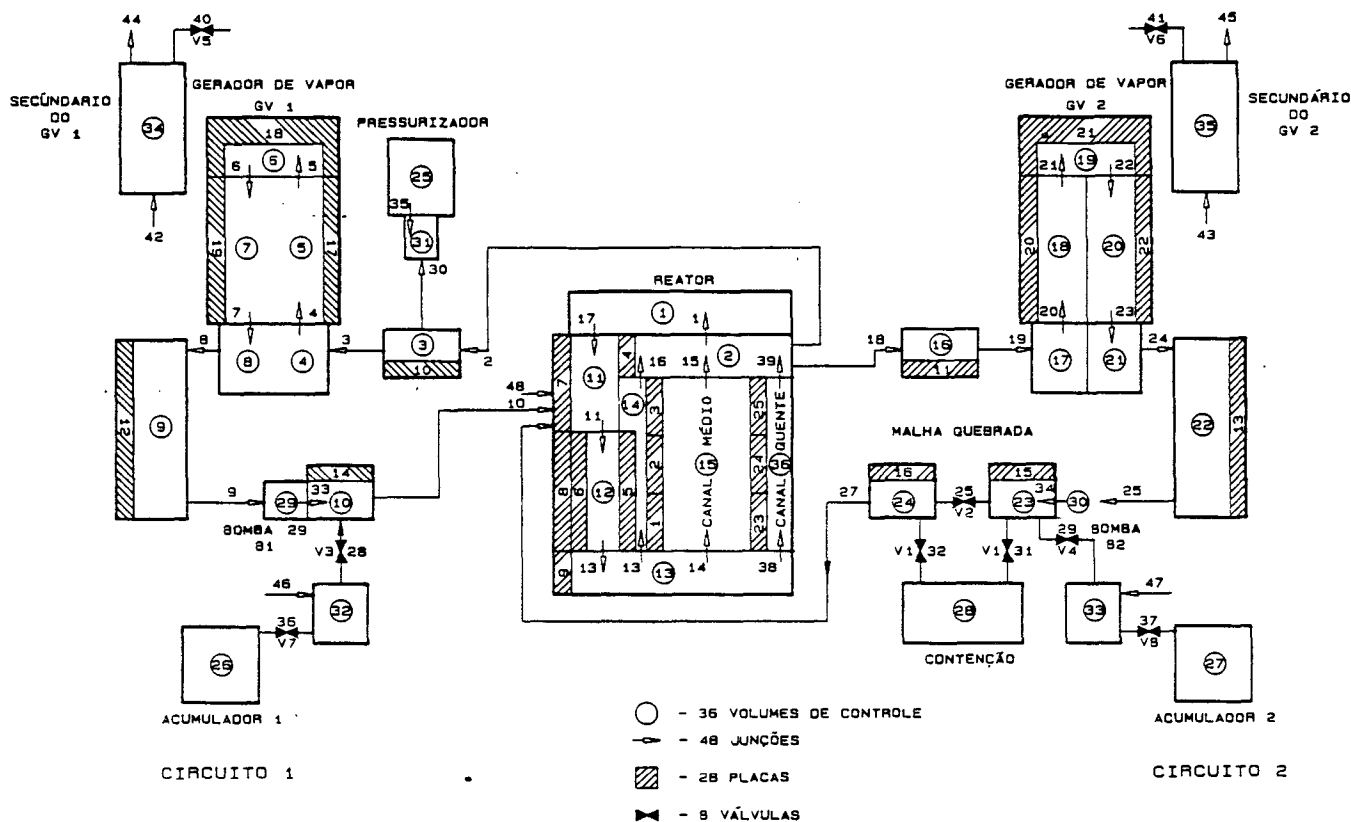


FIGURA 1 - MODELAGEM DE ANGRA1 PARA O CÓDIGO RELAP 4 / MOD. 5

A densidade média (ρ_m) também poderá ser expressa em termos de título da mistura (x):

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x}{\rho_2} + \frac{1-x}{\rho_1} \quad (5)$$

as condições iniciais do sistema de refrigeração do reator pode ser vista através da Tabela 1:

Tabela 1 - Condições Iniciais do Sistema

	P.F.	P.Q.	P.z
Pressão (bar)	161,2	157,8	157,2
Temp. (°C)	285,2	323,0	345,8

MODELAGENS ADOTADAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise do acidente de ejeção de barra foi utilizado inicialmente a modelagem que pode ser vista na Figura 1, que possui 36 volumes de controle, 48 junções de interligação e 25 estruturas de troca de calor.

Neste trabalho simulou-se apenas os 20 primeiros segundos do acidente proposto, sendo que não foi considerada a ruptura do vaso de pressão.

Para esta análise são consideradas as seguintes hipóteses:

- inserção de reatividade mostrada na Figura 2;
- desligamento do reator apenas a partir de 2 segundos do início do acidente, Figura 2;
- as bombas não são desligadas;
- a água de alimentação principal do gerador de vapor não é interrompida durante o acidente;
- o "set point" de abertura da válvula de alívio do pressurizador é de 161,0 bar, e

Com os dados geométricos, materiais e operacionais do circuito primário de Angra 1, obtidos através das referências [2,3], com exceção dos dados fornecidos na Figura 2, tem-se condições de simular o acidente proposto com o Código RELAP4/MOD5.

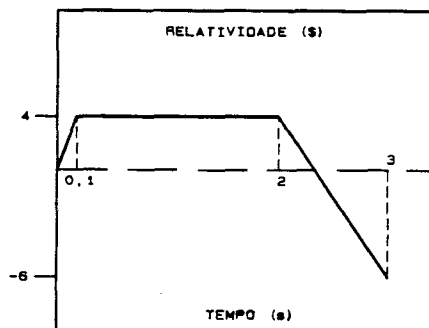


FIGURA 2 - INSERÇÃO DE REATIVIDADE

A partir dos primeiros resultados obtidos desta simulação, observou-se que em torno dos 2 primeiros segundos a pressão no vaso do reator chegava ao máximo em torno de 163 bar e após este instante começava a diminuir no decorrer do transiente. Isto se deve ao fato de haver um aumento da reatividade no sistema, devido ao acidente de ejeção de barra. Portanto, o líquido no vaso começa a se expandir e caminhar no sentido do pressurizador, onde há possibilidade de expansão do volume de líquido.

Pelo fato do pressurizador ter sido modelado como um único volume de controle e o modelo assumido pelo código ser homogêneo, o líquido proveniente do primário subresfriado se mistura com o líquido saturado do pressurizador, já na interface com o vapor, aumentando assim a taxa de condensação de tal forma que a pressão que deveria subir, devido a elevação do nível e compressão do volume de vapor, diminui sensivelmente. Este efeito é ilustrado na Figura 3.

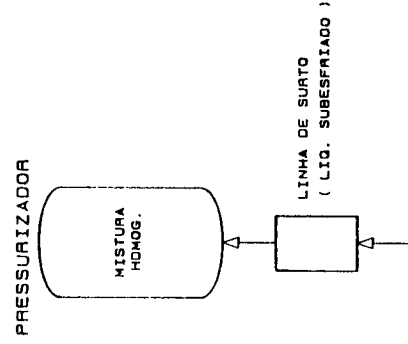


FIGURA 3 - PRESSURIZADOR MODELADO COM 1 VOLUME DE CONTROLE

Verificou-se por meio desta modelagem que os resultados obtidos não estavam descrevendo corretamente o acidente, portanto, baseados em outros trabalhos [4] dividiu-se o pressurizador em dois volumes de controle, um contendo líquido saturado e o outro com vapor saturado, como pode ser visto na Figura 4.

Neste caso verificou-se que o líquido subresfriado proveniente da expansão do primário se mistura homogêaneamente com o volume de líquido saturado do pressurizador e se expande para o vapor de tal forma que a taxa de condensação é menor que no caso anterior, como era de se esperar.

Portanto, o nível de líquido no volume 2 aumenta de tal forma a comprimir o volume de vapor e elevar a pressão no pressurizador, consequentemente, abrindo a válvula de alívio, quando a pressão chegar 161,0 bar. Neste instante a pressão no circuito primário atinge seu valor máximo em 2,5 segundos, vindo a diminuir devido o alívio do pressurizador e ao "scream" do reator (Figura 2).

A fim de se fazer um estudo de sensibilidade, modelou-se o pressurizador em 6 volumes de controle [4], Figura 5, sendo 5 volumes de líquido saturado e 1 de vapor saturado.

Os resultados obtidos foram semelhantes ao caso de 2 volumes vindo também a diminuir devido a abertura das válvulas de alívio do pressurizador e ao "scream" do reator (Figura 2).

PRESSURIZADOR

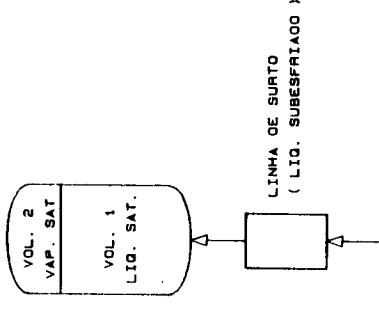


FIGURA 4 - PRESSURIZADOR MODELADO COM 2 VOLUME DE CONTROLE

PRESSURIZADOR

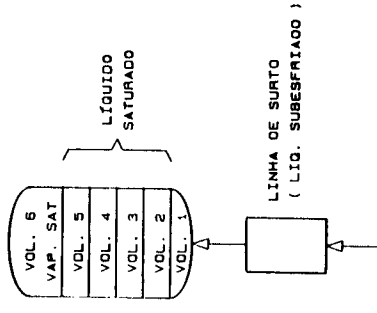


FIGURA 5 - PRESSURIZADOR MODELADO COM 6 VOLUME DE CONTROLE

A modelagem final utilizada foi a mesma da Figura 1 com exceção do pressurizador que foi subdividido em 6 volumes de controle, por ter sido o caso mais conservativo.

Na Figura 6 observa-se a evolução temporal da pressão no pressurizador e o instante onde ocorre o pico de pressão.

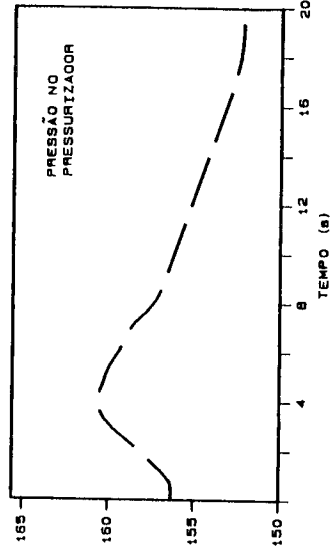


FIGURA 6 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRESSÃO

CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que o modelo matemático utilizado nos componentes dos Códigos da linha RELAP4 não é adequado para simular acidentes de ejeção de barra. Contudo, modelando-se convenientemente o pressurizador é possível contornar este problema. Para isso, tem-se que modelar o pressurizador em vários volumes de controle a fim de se obter as regiões de água subresfriada, água saturada e vapor saturado suprimindo assim as limitações do modelo homogêneo.

REFERÊNCIAS

- [1] MOORE, K.V. & RETTING, W.H. - "RELAP4 - A Computer Program for Transient Thermal Hydraulic Analysis". ANCR -1127, Dezembro de 1973.
- [2] Utilização do Programa RELAP4 (Parte 1). Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1978 (DR/GSTS-01/78 - DR nº 72/78).
- [3] Sabundjian, G. & Freitas, R.L. - Utilização da Versão RELAP4/MOD5/SAS num Acidente de Perda de Refrigerante Primário na Usina Nuclear Angra 1. I CGEN, Rio de Janeiro, Março de 1986.
- [4] Conti, T.N. , Sabundjian, G. & Neto, J.M.O - Cálculo do Pré e Pós-Testes do 3º Exercício do Problema Padrão Proposto para o Experimento PMK-NVH-IAEA Utilizando os Códigos RELAP4/MOD5 e RELAP5/MOD1.

ABSTRACT

The objective of the present work is to study the performance of the used pressurizer in the RELAP4 computer code. The importance of the work is due to the fact that RELAP4 uses a simplified model for the steam/liquid mixture. It is assumed by the code that the phases are in thermal equilibrium through studies performed with Angra 1 Power Plant it was observed that the pressure in the Pressurizer solely on the model used for the component.