

UM MODELO BIDIMENSIONAL PARA O CÁLCULO DE
TRANSIENTES COM MUDANÇA DE FASE EM REATO-
RES REFRIGERADOS A SÓDIO

Por Mario Roberto Granziera
- IPEN -

O programa NATOF2D foi desenvolvido para a simulação numérica de situações onde a não uniformidade radial no escoamento de sódio é um fator importante. Historicamente, a análise de transientes em reatores a sódio baseou-se extensivamente no programa SAS, que é um modelo unidimensional. Mais recentemente, os aspectos multidimensionais do escoamento de sódio em condições transientes a traiu a atenção, pela potencialidade de representar um contribuinte passivo à segurança dos reatores refrigerados a metal líquido /1/.

O projeto atualmente usado em elementos de combustível de reatores refrigerados a sódio apresenta uma significante não uniformidade radial de temperaturas, de modo que o crescimento da região de ebulição e o tempo para a inversão da direção do escoamento não podem ser previstos acuradamente com um modelo unidimensional. A escolha da bidimensionalidade do modelo aqui apresentado é um compromisso entre o tempo de computação necessário à simulação dos transientes e o nível de detalhe obtido nessa simulação.

O programa emprega o modelo de dois fluidos para representação do escoamento, no qual cada fase é descrita por um conjunto completo de equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento. Este modo de representação tem a vantagem de evitar hipóteses limitantes dos modelos simplificados, permitindo a representação de condições realistas de escoamento, tais como o não equilíbrio ou a não igualdade de velocidades entre as fases. Por outro lado, esta maior flexibilidade requer um entendimento detalhado dos fenômenos envolvidos no acoplamento entre as fases, tais como as taxas de troca entre as fases de massa, quantidade de movimento e energia. O presente estágio de conhecimento nesta área deixa a desejar, apesar de recentemente a comunidade científica começar a voltar sua atenção para o desenvolvimento de modelos de transporte de não equilíbrio entre as fases.

A solução numérica usa um método semi-implícito, no qual os termos convectivos foram diferenciados com as velocidades calculadas implicitamente e todos outros termos calculados explicitamente. Com este esquema de diferenciação o conjunto de equações algébricas resultante é reduzido a um problema de inversão de matriz relativamente fácil e rápido, e ao mesmo tempo o critério de estabilidade envolvendo a velocidade sônica é evitado. Entretanto, a estabilidade numérica da solução impõe um limite inferior no incremento de tempo empregado, governado pela velocidade de escoamento das fases. Os termos de acoplamento entre as fases, bem como os de interação entre o fluido e os materiais estruturais também são tratados implicitamente. Este tratamento traz um efeito estabilizante muito forte, permitindo ao modelo superar os problemas intrínsecos de estabilidade acarretado pelo fato de as raízes características do sistema de equações de dois fluidos serem complexas.

O modelo incorpora uma correlação para a taxa de troca de massa baseada na teoria cinética de evaporação e condensação /2/, /3/, uma correlação empírica para a taxa de troca de quantidade de movimento baseada na análise de dados experimentais alemães /4/ e uma curva de ebulição desenvolvida como uma extensão paramétrica líquidos dos trabalhos de Chen /5/:

Uma importante característica do modelo é o fato de as condições de contorno usadas serem as pressões na entrada e na saída do elemento de combustível, o que permite a simulação de todo tipo de transiente, inclusive os que envolvem a mudança de direção do escoamento.

Como parte de um programa de qualificação e de teste do modelo foi simulado o experimento SLSF-P3A realizado no Engineering Test Reactor, Idaho, período de julho a setembro de 1977. O teste consistiu de um transiente de perda de refrigeração realizado com um elemento de combustível contendo 37 varetas com 5,84 mm de diâmetro externo, espaçadas com arame helicoidal, 914 mm de comprimento na região aquecida e 5334 mm de comprimento total, onde sódio entra a uma temperatura de 422,2°C com uma vazão inicial de 4,173 kg/seg e é aquecido por uma potência de

1240 Kw. A perda de carga total inicial é 7,619 atm.

A Figura 1 apresenta a evolução das temperaturas, onde uma concordância satisfatória entre os valores experimentais e teóricos pode ser observada. A previsão do início da ebulição de 8,9 segundos e de reversão do escoamento de 10,08 segundos também concordam satisfatoriamente com os valores experimentais de 8,8 e 10,15 segundos respectivamente.

REFERÊNCIAS

1. HINKLE, W., "LMFBR Safety and Sodium Boiling", MIT, 1977.
2. COLLIER, J.G., "Convective Boiling and Condensation", McGraw-Hill, UK, 1972.
3. HINKLE, W., et al, "Sodium Boiling Analysis Group Progress Report", MIT, 1979.
4. ANTRUFFE, M., "Theoretical Study of Thermo-hydraulic Phenomena for LMFBR Accidente Analysis", S.M. Thesis, MIT, 1978.
5. THOMPSON, D.H., et al, "SLSF In-Reactor Experiment P3A - Interim Post test Report", ANL/RAS 77-48, Novembro 1977.
6. GRANZIERA, M.R., "A Two Dimensional, Two Fluid Model for Sodium Boiling in LMFBR Fuel Assemblies, Ph. D Thesis, MIT, 1980.

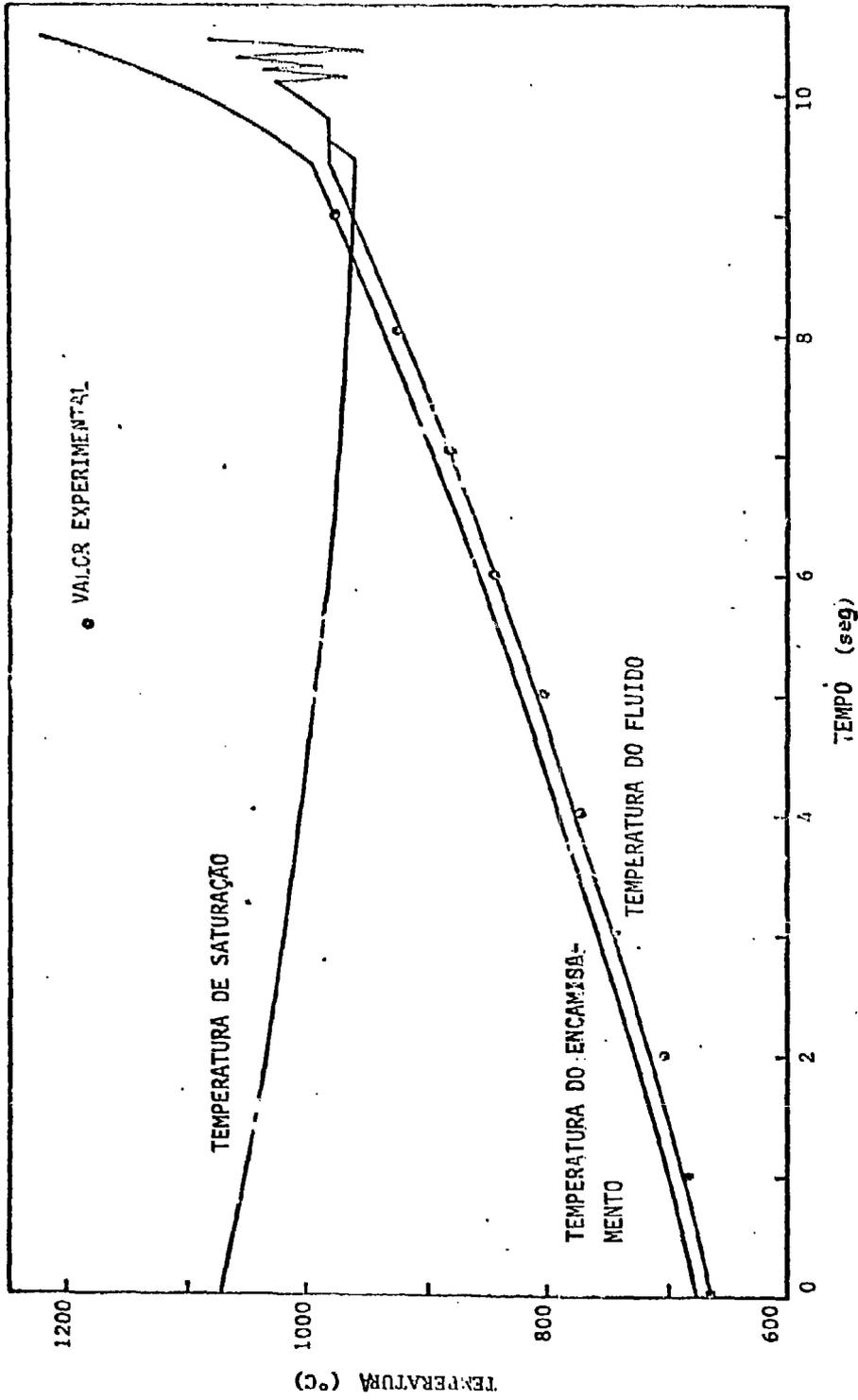


Figure 1 : P3A: EVOLUÇÃO DAS TEMPERATURAS