

MODELOS DE NÍVEIS DE MISTURA NA ANÁLISE DE EXPERIMENTOS DE BLOWDOWN DA TOSHIBA E DA GENERAL ELETRIC

Anibal N. Gebrim

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
05508-900 Cidade Universitária - Travessa R 400 - São Paulo

RESUMO

Três diferentes modelos de níveis de mistura foram comparados com a simulação de experimentos de 'blowdown' desenvolvidos pela Toshiba e General Electric. O objetivo do trabalho é observar a eficiência computacional e a precisão nos resultados dos três modelos. O primeiro modelo é utilizado no código termohidráulico ATHLET. O segundo modelo é usado no sistema de cálculo desenvolvido pelo BNL. O terceiro modelo é descrito em um 'paper', porém não se tem conhecimento de que tenha sido testado. Ao contrário do segundo modelo, o primeiro e o terceiro modelo tiveram um bom desempenho.

INTRODUÇÃO

Visando o estudo de uma planta nuclear ou convencional, tanto em fase de projeto ou para análises de transitórios ou acidentes, desenvolveu-se inicialmente sistemas de cálculos relativamente simples, os chamados modelos homogêneos (velocidades das fases iguais), baseados nas equações de conservação de massa, momento e energia para o fluido considerado como uma mistura.

Com base neste modelo, fenômenos físicos, como por exemplo, intercâmbio de massa, bem como a troca de energia e momento entre as fases não eram considerados explicitamente, limitando desta maneira, o escopo de aplicação do modelo. O modelo era e é até hoje adequado para simular transitórios operacionais com pouca formação de vapor.

Sistemas de cálculo largamente utilizados, como por exemplo RELAP, inicialmente foram formulados nesta base e depois expandidos para o chamado modelo de dois fluidos ou seis equações. Outros sistemas de cálculo como ATHLET e APROS, ao contrário de códigos como RELAP, TRAC, RETRAN, utilizam-se de acordo com o usuário de três, quatro, cinco ou seis equações, dependendo do fenômeno que se queira analisar.

Um exemplo de fenômeno físico que, para ser bem avaliado, necessita de um modelo mais sofisticado, é o nível de mistura. Além do que, uma avaliação precisa do nível de mistura, faz com que a simulação do comportamento de uma central nuclear em casos de transitórios ou acidentes seja mais confiável. Para este fim pode-se citar, entre outros, a posição do nível de mistura para determinar quando o núcleo do reator se encontra descoberto, para separar a zona de transferência de calor dominada pelo regime de ebulição da zona de transferência de calor dominada pela radiação, para determinar a condensação do vapor, que é provocada pela água de alimentação, quando o nível se encontra abaixo da entrada da água de alimentação no downcomer. Normalmente em PWRs e BWRs, o nível de mistura é encontrado no núcleo do reator, no presurizador, acumulador, no dome (externo ao tubo do separador), dentro do separador, mas neste caso ele é simulado só quando se desloca para o riser no gerador de vapor e finalmente no plenum inferior.

Neste trabalho comparou-se alguns dos modelos de níveis de mistura usualmente utilizados nos sistemas de cálculos termohidráulicos. Os modelos foram testados nos experimentos de 'blowdown' desenvolvidos pela Toshiba e General Electric [1]. Foram comparados três modelos, o primeiro modelo está

implementado no código ATHLET/Mod 1.0E e é baseado no cálculo do volume abaixo do nível de mistura [1]. O segundo modelo é baseado na diferença de vazão da fase gasosa em torno do nível de mistura e vem sendo utilizado por Wulff (BNL) [2] e Griffith (IMT) [3]. O modelo foi inicialmente concebido por Ishii [4]. O terceiro modelo é baseado na diferença da vazão da mistura em torno do nível de mistura. O modelo é descrito em [5], porém não se tem conhecimento que tenha sido testado.

Todos os cálculos foram feitos em um computador AMDAHL 5870.

Os modelos foram implementados em uma subrotina independente ao código ATHLET, mas para isso, foi necessário modificar as seguintes subrotinas: 1) As subrotinas que definem o número de equações diferenciais que são integradas pelo método numérico FEBE (Forward Euler, Backward Euler). 2) A subrotina que calcula a densidade, fração de vazio, etc 3) As subrotinas que definem o processo de transposição do nível de mistura de um volume de controle para outro.

MODELOS

O programa de cálculo ATHLET utiliza-se de três diferentes volumes de controle. No volume de controle com líquido dominante, o líquido pode estar subresfriado, saturado ou super aquecido enquanto que vapor está saturado. No volume de controle com vapor dominante o vapor pode estar no estado subresfriado, saturado ou super aquecido enquanto que o líquido está saturado. No terceiro tipo de volume de controle que é chamado heterogêneo, é aceito que axialmente a fração de vazio apresenta uma discontinuidade que pode mudar de posição com o tempo. Por definição é neste volume de controle que se encontra o nível de mistura. Acima do nível de mistura o vapor é considerado dominante e abaixo o líquido é considerado dominante [1].

Através da resolução das equações de conservação de massa obtém-se o volume abaixo do nível de mistura no volume de controle $i+1$

$$V_{i+1} = M_{L,i} + V_{L,i} + 1(P,H) + M_{V,i+1} + V_{V,i+1}(P) + \Sigma(M_{K,L}V_{K,L}(P,H) + M_{K,V}V_{K,V}(P)) \quad (1)$$

O volume total abaixo do nível de mistura é a soma desta expressão mais os volumes individuais de cada volume de controle:

$$V_{nm} = V_{i+1} + \sum V_k \quad (2)$$

k indica os volumes de controle abaixo do volume de controle i+1.

Conhecido o volume total abaixo do nível de mistura a cada tempo de integração, tem-se então a posição do nível de mistura a partir de uma função, $Z_{nm}=f(V_{nm})$, que é traçada a partir dos dados geométricos.

O segundo e o terceiro método de aferimento da posição do nível de mistura é obtido através da integração das equações de conservação de massa, respectivamente para as fases líquidas e gasosa. O processo de condensação e a evaporação em torno do nível de mistura não é considerado no modelo descrito abaixo.

$$G^-_L - G^+_L = (A^- \rho^-_L (1 - \alpha^-) - A^+ \rho^+_L (1 - \alpha^+)) \partial Z_{mn} / \partial t \quad (3)$$

$$G^-_V - G^+_V = (A^- \rho^-_V \alpha^- - A^+ \rho^+_V \alpha^+) \partial Z_{mn} / \partial t \quad (4)$$

Para $A^- = A^+$ e $\rho^- = \rho^+$ temos,

$$G^-_L - G^+_L = A \rho_L (\alpha^+ - \alpha^-) \partial Z_{mn} / \partial t \quad (5)$$

$$G^-_V - G^+_V = A \rho_V (\alpha^- - \alpha^+) \partial Z_{mn} / \partial t \quad (6)$$

Equação (6) é utilizada pelas referências [2] e [3] para análise de movimentos de nível de mistura.

Neste trabalho somente o experimento da Toshiba foi analisado com a equação (6). A soma de (5) e (6) dá

$$G^-_m - G^+_m = A (\rho_L - \rho_V) (\alpha^+ - \alpha^-) \partial Z_{mn} / \partial t \quad (7)$$

Tanto o experimento da Toshiba quanto o experimento da General Eletric foram analisados com as equações (1) e (7).

Nas equações acima V é o volume, M é a massa, v é o volume específico, P é a pressão, H é a entalpia, G é a vazão de massa, A é área transversal, ρ é a densidade, α é a fração de vazio, Z é posição do nível, t é o tempo. Para os subscritos: L para o líquido, v para o vapor, mn significa nível de mistura e i indica o volume de controle. Para os sobrescritos: - e + são respectivamente a parte imediatamente inferior e superior ao nível de mistura.

DESCRIÇÃO E RESULTADOS COM O TESTE da TOSHIBA

A instalação experimental do teste Toshiba é composta por um vaso de pressão com um aquecedor localizado no solo, um circuito auxiliar com um pressurizador e um tanque de condensação. Para simular diferentes posições de depressurização, o experimento contém três linhas de saídas localizadas à 0.8 m, 4.3 m e 6.5 m acima do solo. Nesta análise somente foi usada a última saída.

As condições iniciais usadas foram:
 pressão no compartimento de vapor: 6.9 MPa
 temperatura inicial: 284.8 °C
 nível de mistura: 4.09 m
 vazão: 0.0 Kg/s

Os dados geométricos são:
 diâmetro do vaso: 0.364 m
 diâmetro do bocal de saída: 0.097 m
 altura do vaso: 7.015 m

Para estabilização dos cálculos iniciais foram rodados 10 segundos de transitório nulo.

As nodalizações utilizadas na análise do experimento Toshiba são apresentadas na Figura 1. Os módulos indicam o número de objetos usados para descrever o experimento com o código ATHLET. Por exemplo, para o experimento Toshiba foram utilizados três módulos, isto é, 2 tubos e uma válvula para dar início a depressurização.

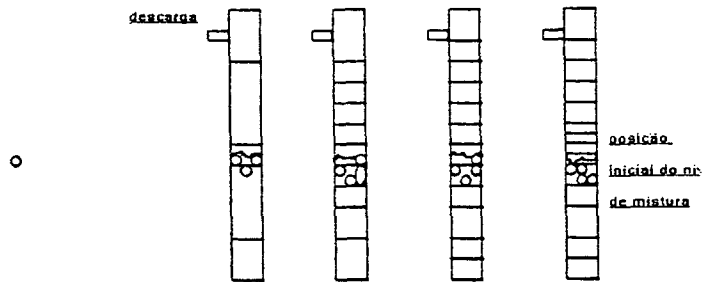


Figura 1: Módulos (três) e nodalizações (4, 10, 12 e 14 volumes de controle) do experimento Toshiba.

Nas Figuras (2) e (3) são apresentados os resultados do nível de mistura e do nível colapsado que foram obtidos com os três modelos. Para os modelos 1 (equação 1) e 3 (equação 6) foram usados 12 volumes de controle, enquanto que para o modelo 2 (equação 7) foram usados 14 volumes de controle.

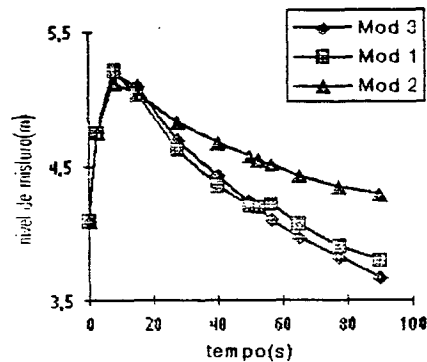


Figura 2: Comparação do nível de mistura com os três modelos. Nodalização: Modelos 1 e 3 (12 Volumes de controle), Modelo 2 (14 Volumes de controle).

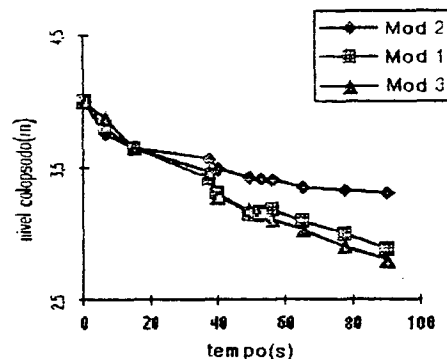


Figura 3: Comparação do nível colapsado com os três modelos. Nodalização: Modelos 1 e 3 (12 Volumes de controle), Modelo 2 (14 Volumes de controle).

Nas Figuras (4) e (5) são apresentados os resultados teóricos comparados com os resultados experimentais do nível de mistura, utilizando-se respectivamente de uma nodalização de 4 e 10 volumes de controle. Na tabela 1 é colocado o tempo de CPU em segundos, necessários para simular o transiente. Para esta análise utilizou-se dos modelos 1 e 3.

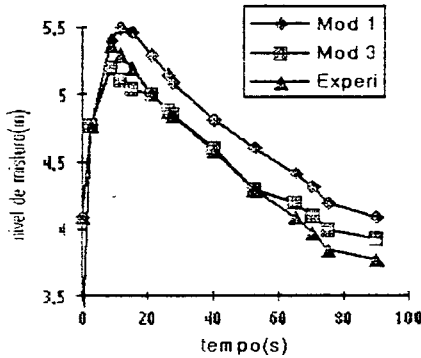


Figura 4 : Comparação com os resultados experimentais do nível de mistura, para uma nodalização com 4 volumes de controle.

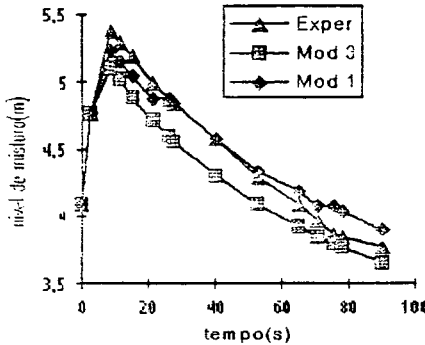


Figura 5 : Comparação com os resultados experimentais do nível de mistura, para uma nodalização com 10 volumes de controle.

Número de Volumes de controle	4	10
Modelo 3 (CPU-segundos)	16	85
Modelo 1 (CPU-segundos)	15	79

Tabela 1 : Tempo de CPU necessários para simular 100 segundos de transiente, utilizando-se de 4 e 10 volumes de controle.

DESCRIÇÃO E RESULTADOS COM O TESTE DA GE

A instalação experimental da General Electric é composta por um vaso de pressão com um aquecedor localizado no solo. Para simular diferentes posições de depressurização, o experimento contém duas linhas de saídas, localizadas à 0,694 m e 3,2 m acima do solo. Nesta análise somente foi usada a segunda saída.

As condições iniciais usadas foram :
 pressão no compartimento de vapor : 7,3 MPa
 temperatura inicial : 288 °C
 nível de mistura : 2,895 m

vazão : 0,0 Kg/s

Os dados geométricos são:
 diâmetro do vaso : 1,19 m
 diâmetro tubo lateral: 0,264 m
 altura do vaso : 4,3 m

Para estabilização dos cálculos iniciais foram rodados 10 segundos de transitório nulo.

Os módulos e nodalizações do experimento da GE são apresentadas na Figura 6. Os módulos usados foram os mesmos do experimento Toshiba.

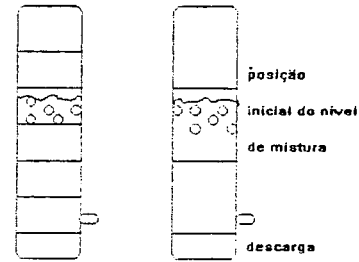


Figura 6 : Módulos (3) e nodalizações (7 e 4 volumes de controle) do experimento da GE.

Nas Figuras de (7) a (12) são apresentados os resultados teóricos e experimentais do nível de mistura, da pressão e da vazão de depressurização para uma nodalização de 7 e 4 volumes de controle. Na Tabela 2, o tempo gasto na simulação em segundos de CPU é apresentado. Utilizou-se nesta análise somente os modelos 1 e 3.

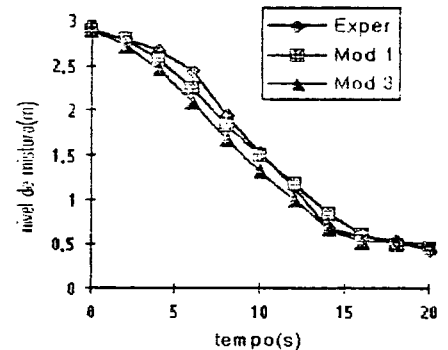


Figura 7 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos do nível de mistura para o experimento da GE com 7 volumes de controle.

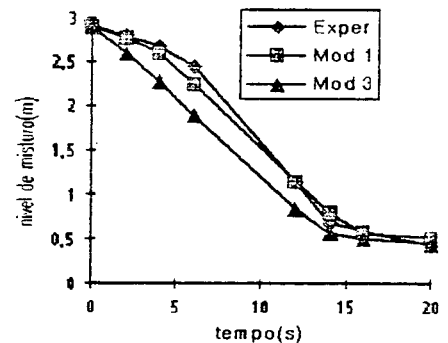


Figura 8 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos do nível de mistura para o experimento da GE com 4 volumes de controle.

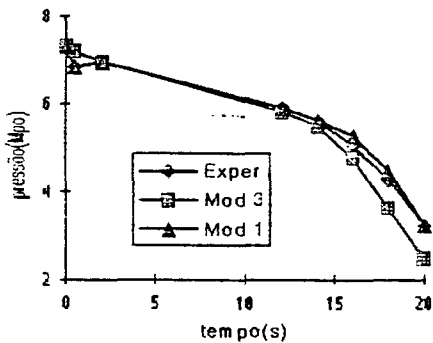


Figura 9 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos da Pressão para o experimento da GE com 7 volumes de controle.

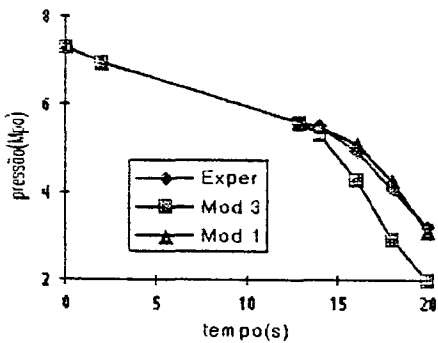


Figura 10 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos da Pressão para o experimento da GE com 4 volumes de controle.

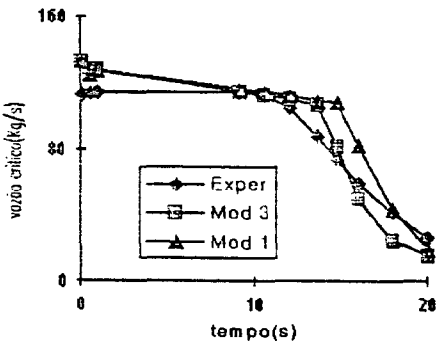


Figura 11 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos da vazão crítica para o experimento da GE com 7 volumes de controle

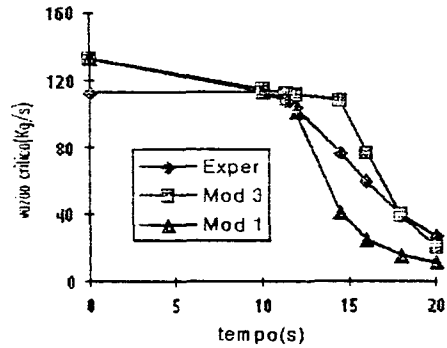


Figura 12 : Comparação entre os resultados experimentais e teóricos da vazão crítica para o experimento da GE com 4 volumes de controle

Número de volumes de controle	4	7
Modelo 3 (CPU-segundos)	12	20
Modelo 1 (CPU-segundos)	12	17

Tabela 2 : Tempo de CPU necessários para simular 20 segundos de transiente , utilizando-se de 4 e 7 volumes de controle.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para o experimento da Toshiba, as seguintes conclusões podem ser tiradas :

Mesmo empregando um número maior de volumes de controle, os resultados com a utilização do modelo 2 na análise do experimento da Toshiba, mostram uma certa discrepância em relação aos outros dois modelos. Utilizando-se de 10 volumes de controle, o tempo de CPU para o modelo 1 e 3 foi 1.5 vezes menor do que o tempo real. Utilizando-se de 4 volumes de controle, o tempo de CPU, tanto para os modelos 1 e 3, foi 5 vezes menor do que o tempo real. Utilizando-se de 4 volumes de controle, o modelo 3 apresenta melhores resultados para o nível de mistura do que o modelo 1, enquanto que, com a utilização de 10 volumes de controle os dois modelos tiveram quase o mesmo desempenho no cálculo do nível de mistura, a não ser na parte inicial e final, onde o modelo 1 teve um desempenho um pouco melhor.

Uma explicação plausível, porém não conclusiva, para a discrepância dos resultados gerados pelo modelo 2 na análise do experimento da Toshiba, pode ser dada da seguinte maneira : ao contrário dos modelos (1) e (3) que aferem a posição do nível de mistura através da vazão de massa da mistura, que é obtida com a integração da equação de conservação do momento, o modelo 2 faz uso direto do modelo de 'drift' para obter as vazões das fases, que é usado nas equações (2) e (3) para o cálculo do nível de mistura e, como se sabe, estes modelos são obtidos a partir de dados de experimentos realizados sob certas condições, nem sempre 100% válidas para todos os outros experimentos.

Para o experimento da General Electric, as seguintes conclusões podem ser tiradas :

Com a utilização de 7 volumes de controle, os resultados dos modelos 1 e 3 tem uma boa concordância com os resultados experimentais. No uso de 4 volumes de controle, os resultados teóricos do modelo 3 divergem um pouco do modelo 1 e dos resultados experimentais. O tempo de cálculo quando se utiliza o modelo 1 e 3 com 7 volumes de controle

são praticamente iguais ao do tempo de computação. Para 4 volumes de controle o tempo de cálculo dos dois métodos é três vezes menor do que o tempo real.

Pode-se dizer que o modelo 1 e 3 são praticamente equivalentes tanto na precisão dos resultados quanto na rapidez computacional, enquanto que para o método 2 necessita-se de um maior número de volumes de controle para que se tenha bons resultados e conseqüentemente necessita-se de um maior tempo computacional.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Steinhoff, **Thermo und Fluidodynamikmodelle mit Rechenprogramm DRUFAN und im Nachfolgeprogramm ATHLET zur Simulation von Separationvorgängen und Gemischspiegelbewegungen in Vertikalen Strömungskanälen**, GRS-A-1539 und 1540, Marz 1989.
- [2] Wulff, W. et al, **Kinetics of Two-Phase Mixture Level Motion in BWR Pressure Vessel, Specialists' Meeting on Small Break LOCA Analyses in LWR's**, Pisa, June 1985.
- [3] Griffith, P. et al, **Heat Transfer, Carry-over, and Fallback in PWR Steam Generators During Transients**, NUREG/CR-4376, February 1986.
- [4] Ishii, M., **Thermal-Fluid Dynamic Theory of Two-Phase Flow**, Paris 1975.
- [5] Yadigaroglu, G. and Adriani, M., **Two-Fluid Modeling of Thermal-Hydraulic Phenomena for Best-Estimate LWR Safety Analysis**, **Fourth International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-hydraulics**, October 1989.

ABSTRACT

Three different mixture level tracking methods to vertical flow channels were tested in two Blowdown experiments. The aim of the tests is to observe the computational efficiency and the agreement of their results with the experimental data. The first method has been used in the system code ATHLET. The second one has been used in the system code developed at BNL. The third one is described in a report but there is no notice that it has been tested. The results show that the first and the third method produce good agreement with the experimental data. The third method need a fine nodalization to yield good results.