

APLICAÇÃO DO MODELO DE MISTURA 1D EM ESCOAMENTO VERTICAL ASCENDENTE DE GOLFADAS DE AR E ÁGUA

Luiz Eduardo Melo Lima, lelima@fem.unicamp.br

Eugênio Spanó Rosa, erosa@fem.unicamp.br

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua Mendeleiev, S/N, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil, Caixa Postal 6122, CEP 13083-970.

Resumo. O modelo de Mistura 1D é frequentemente utilizado em simuladores de escoamento bifásico gás-líquido. Devido à sua potencial aplicação em diversos cenários de escoamentos bifásicos, torna-se cada vez mais necessário ter um melhor conhecimento dos aspectos físicos e matemáticos intrínsecos deste modelo. No presente trabalho, foi utilizado uma das versões mais conhecidas do modelo de Mistura 1D, o modelo *Drift-Flux*, para o estudo de um escoamento vertical ascendente de golfadas de ar e água, em regime permanente, num duto de seção transversal circular constante. O principal objetivo deste estudo é analisar a variação no gradiente de pressão da mistura, bem como, o comportamento de outros parâmetros importantes, como por exemplo, a velocidade de deslizamento, a velocidade de mistura e a fração de vazios. Os resultados obtidos foram comparados com dados experimentais e são importantes para a validação das correlações existentes.

Palavras chave: Bifásico, Golfadas, Modelo de Mistura, Gradiente de Pressão.

1. INTRODUÇÃO

Uma das versões do modelo de Mistura (Ishii, 1977), conhecida como “modelo *Drift-Flux*”, resulta da aplicação do conceito de mistura em um escoamento multifásico. Isto é, a mistura é tratada como sendo um único fluido com características reológicas específicas. As equações de transporte do modelo são expressas em termos das propriedades da mistura e da velocidade de difusão ou velocidade relativa ao centro de massa da mistura. O modelo é resolvido desde que as equações constitutivas que descrevem a velocidade de difusão, que por sua vez é expressa pela velocidade de deslizamento, sejam conhecidas. No modelo de Mistura, cada fase está representada por uma equação de concentração.

O modelo de Mistura consiste de uma simplificação do modelo de dois fluidos e apresenta como vantagem a viabilização da solução de diversos problemas com relativa facilidade de solução numérica. Entretanto, requer um maior conhecimento das velocidades relativas das fases em relação à mistura, que na maioria das vezes é feito recorrendo às aproximações para obtenção de soluções em diversas aplicações de engenharia.

Em tubulações com seção transversal circular constante, a presença de paredes limita os balanços globais de massa e de quantidade de movimento à direção axial e, através do processo de média na seção transversal, é possível reduzir as equações do modelo tridimensional para unidimensional. Para resolver as equações do modelo de Mistura unidimensional é necessário prover equações constitutivas para a velocidade de deslizamento e para os parâmetros de distribuição. Estas equações constitutivas são específicas para cada padrão de escoamento: disperso ou estratificado. O modelo de Mistura unidimensional permite estender o conceito de mistura para os padrões estratificado e golfadas, uma vez que é realizado processo de média na seção transversal.

Holt et al. (1999) realizaram uma análise da influência dos termos que constituem a queda de pressão da mistura em um escoamento bifásico. Eles observaram que para escoamentos verticais no padrão golfadas e no padrão bolhas dispersas, o termo gravitacional do gradiente de pressão é dominante. O termo de força de atrito representa uma contribuição mínima no gradiente de pressão da mistura. Para dutos de pequeno diâmetro, a influência do termo de força de atrito pode se tornar significativa. De Cachard e Delhay (1998) desenvolveram um modelo para os padrões golfadas e agitado, com referência especial às bombas de elevação de ar em dutos de pequeno diâmetro.

Este trabalho tem por objetivo a aplicação do modelo *Drift-Flux* em escoamento vertical ascendente de golfadas de ar e água, em regime permanente, num duto de seção transversal circular constante, com a finalidade de obter a variação do gradiente de pressão da mistura, a velocidade de deslizamento, a velocidade da mistura e a fração de vazios. Os resultados obtidos puderam ser comparados com dados experimentais de modo a se verificar a confiabilidade do modelo.

2. MODELO

Na formulação unidimensional do modelo de mistura, as informações são condensadas num único ponto por meio do processo de média na seção transversal:

$$\langle \Psi \rangle = \frac{1}{A} \int \Psi dA, \quad (1)$$

sendo Ψ uma grandeza genérica e A a área da seção transversal.

É necessário também definir a média de uma grandeza genérica ponderada pela concentração volumétrica da fase α_k :

$$\langle \Psi_k \rangle^\alpha = \frac{(1/A) \int_A \alpha_k \Psi_k dA}{(1/A) \int_A \alpha_k dA} = \frac{\langle \alpha_k \Psi_k \rangle}{\langle \alpha_k \rangle}, \quad (2)$$

onde o subscrito k indica a fase presente.

Estes conceitos de média definidos nas Equações (1) e (2) são adotados na formulação do modelo.

2.1 Equações de Conservação

Para uma mistura de dois componentes, fase líquida L e fase gasosa G , as equações de conservação da massa da mistura e da fase gasosa, assim como da quantidade de movimento da mistura são definidas nas Equações (3), (4) e (5), respectivamente (Ishii e Hibiki, 2006).

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \rho_m \rangle + \frac{\partial}{\partial z} [\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m] = 0, \quad (3)$$

sendo ρ a massa específica, V a velocidade e o subscrito m representa a mistura.

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_G \langle \alpha \rangle] + \frac{\partial}{\partial z} [\rho_G \langle \alpha \rangle \bar{V}_m] = \langle \Gamma_G \rangle - \frac{\partial}{\partial z} \left[\langle \alpha \rangle \frac{\rho_L \rho_G}{\langle \rho_m \rangle} \bar{V}_{G,J} \right], \quad (4)$$

sendo $\alpha = \alpha_G$ a fração de vazios, Γ_G a vazão mássica devido à mudança de fase e $\bar{V}_{G,J}$ a velocidade de deslizamento média.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m] + \frac{\partial}{\partial z} [\langle \rho_m \rangle (\bar{V}_m)^2] &= -\frac{\partial}{\partial z} \langle P \rangle - \frac{f}{2D} \langle \rho_m \rangle \langle J \rangle^2 \\ &- \langle \rho_m \rangle g_z - \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\langle \alpha \rangle}{1 - \langle \alpha \rangle} \frac{\rho_L \rho_G}{\langle \rho_m \rangle} \bar{V}_{G,J}^2 \right] \\ &- \frac{\partial}{\partial z} \left[(C_{V,m} - 1) \left(\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m^2 + \frac{\langle \alpha \rangle}{1 - \langle \alpha \rangle} \frac{\rho_L \rho_G}{\langle \rho_m \rangle} \bar{V}_{G,J}^2 \right) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

sendo P a pressão da mistura, f o fator de atrito de Darcy da mistura, D o diâmetro, J a velocidade superficial (fluxo volumétrico) da mistura, g_z a componente gravitacional axial e $C_{V,m}$ o coeficiente de covariância da velocidade da mistura.

Na ausência de forças devido à tensão superficial, as pressões que atuam nas fases líquida e gasosa são iguais, de maneira que $P = P_k$. As definições da velocidade superficial e do coeficiente de covariância da velocidade da mistura serão apresentadas na Seção 3.2.

3. SOLUÇÃO

Na presente formulação, as seguintes hipóteses serão adotadas: escoamento estacionário e isotérmico, sem mudança de fase, massa específica e pressão de cada fase uniforme na seção transversal, viscosidade constante e gás ideal.

3.1 Modelo de Mistura em Regime Permanente

Em regime permanente, as equações do modelo de Mistura são simplificadas substancialmente. A equação de conservação da massa da mistura se reduz à:

$$\frac{d}{dz} [\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m] = 0 \quad \therefore \quad \langle \rho_m \rangle \bar{V}_m = \text{constante}, \quad (6)$$

ou seja, o fluxo mássico da mistura permanece constante ao longo do duto. A equação de conservação da massa da fase gasosa, na ausência de transferência de massa, $\Gamma_k = 0$, se reduz à:

$$\frac{d}{dz} [\rho_G \langle \alpha \rangle \langle V_G \rangle^\alpha] = 0 \quad \therefore \quad \rho_G \langle \alpha \rangle \langle V_G \rangle^\alpha = \text{constante}, \quad (7)$$

de modo que o fluxo mássico da fase gasosa também permanece constante ao longo do duto. Note que este resultado é consistente, pois garantindo a conservação da massa da mistura e de uma das fases, a conservação da massa da outra fase está implicitamente satisfeita.

Por fim, a equação de conservação da quantidade de movimento da mistura, Equação (5), se reduz ao equilíbrio entre o gradiente de pressão e as forças de atrito e peso, e um termo fonte associado à variação de quantidade de movimento devido à expansão da mistura e a distribuição das fases na seção transversal:

$$\frac{d}{dz} \langle P \rangle = -\frac{f}{2D} \langle \rho_m \rangle \langle J \rangle^2 - \langle \rho_m \rangle g_z - \frac{d}{dz} \left[C_{V,m} \left(\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m^2 + \frac{\langle \alpha \rangle}{1 - \langle \alpha \rangle} \frac{\rho_L \rho_G}{\langle \rho_m \rangle} \bar{V}_{G,J}^2 \right) \right]. \quad (8)$$

Agrupando os termos com gradiente na direção axial, a Equação (8) assume a forma:

$$\frac{d}{dz} \left[\langle P \rangle + C_{V,m} \left(\langle \rho_m \rangle \bar{V}_m^2 + \frac{\langle \alpha \rangle}{1 - \langle \alpha \rangle} \frac{\rho_L \rho_G}{\langle \rho_m \rangle} \bar{V}_{G,J}^2 \right) \right] = -\frac{f}{2D} \langle \rho_m \rangle \langle J \rangle^2 - \langle \rho_m \rangle g_z. \quad (9)$$

A Equação (9) juntamente com as condições de contorno foi resolvida numericamente. O código numérico desenvolvido no trabalho foi baseado no método de Runge-Kutta de quarta ordem (Press et al., 1992).

As condições de contorno da Equação (9) correspondem aos valores das velocidades superficiais de gás J_G , de líquido J_L e da pressão da mistura P , em uma estação de medida, denominada Estação 2 (E2). A marcha de integração numérica é realizada desta estação em direção à outra estação de medida, denominada Estação 1 (E1), que está localizada numa posição inferior.

3.2 Equações Auxiliares e Constitutivas para o Padrão Golfadas

A massa específica da mistura média na seção transversal é definida por:

$$\langle \rho_m \rangle = \langle \alpha_G \rangle \rho_G + \langle \alpha_L \rangle \rho_L = \langle \alpha_G \rangle \rho_G + (1 - \langle \alpha_G \rangle) \rho_L = \langle \alpha \rangle \rho_G + (1 - \langle \alpha \rangle) \rho_L, \quad (10)$$

onde $P_G/\rho_G = \text{constante}$ (lei dos gases ideais).

A fração de vazios (concentração volumétrica da fase gasosa) é definida por meio da relação de Zuber e Findlay (1965):

$$\langle \alpha \rangle = \langle \alpha_G \rangle = \frac{\langle J_G \rangle}{C_0 \langle J \rangle + \langle V_{G,J} \rangle^\alpha}, \quad (11)$$

sendo C_0 o parâmetro de distribuição e $\langle V_{G,J} \rangle^\alpha$ a velocidade de deslizamento média ponderada pela concentração volumétrica da fase gasosa.

A velocidade superficial da mistura é definida por:

$$\langle J \rangle = \langle J_G \rangle + \langle J_L \rangle, \quad (12)$$

sendo $\langle J_G \rangle = Q_G/A$ e $\langle J_L \rangle = Q_L/A$ as velocidades superficiais das fases gasosa e líquida. Q_G e Q_L são as vazões volumétricas das fases gasosa e líquida.

A velocidade da mistura média (Ishii e Hibiki, 2006) é definida por:

$$\bar{V}_m = \langle J \rangle + \frac{\langle \alpha \rangle (\rho_L - \rho_G) \bar{V}_{G,J}}{\langle \rho_m \rangle}, \quad (13)$$

sendo $\bar{V}_{G,J}$ a velocidade de deslizamento média definida por:

$$\bar{V}_{G,J} = (C_0 - 1) \langle J \rangle + \langle V_{G,J} \rangle^\alpha. \quad (14)$$

Para a definição destas equações constitutivas, é necessário a determinação do parâmetro de distribuição C_0 e da velocidade de deslizamento média ponderada pela concentração volumétrica da fase gasosa $\langle V_{G,J} \rangle^\alpha$. Além disso, para o fechamento da equação de conservação da quantidade de movimento da mistura, é necessário definir também o fator de atrito de Darcy da mistura f e o coeficiente de covariância da velocidade da mistura $C_{V,m}$. Todos estes parâmetros são dependentes do padrão de fluxo.

Em escoamentos verticais, o parâmetro de distribuição C_0 e a velocidade de deslizamento da fase gasosa média ponderada pela concentração volumétrica da fase gasosa $\langle V_{G,J} \rangle^\alpha$ podem ser definidos conforme Tabela 1. Estes valores foram estabelecidos por estudos realizados por Nicklin et al. (1962) e posteriormente Bendiksen (1984) em escoamentos verticais no padrão golfadas com fluidos de baixa viscosidade.

O coeficiente de covariância da velocidade (Ishii e Hibiki, 2006) é definido por:

$$C_{V,m} = \frac{\rho_G \langle \alpha \rangle C_{V,G} + \rho_L (1 - \langle \alpha \rangle) C_{V,L}}{\langle \rho_m \rangle}, \quad (15)$$

Tabela 1. Valores de C_0 e $\langle V_{G,J} \rangle^\alpha$ para escoamento vertical no padrão golfadas.

Regime	C_0	$\langle V_{G,J} \rangle^\alpha$
Laminar	1,8 a 2,0	$0,35 \sqrt{gD \frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_L}}$
Turbulento	1,1 a 1,2	

sendo $C_{V,G}$ e $C_{V,L}$ os coeficientes de covariância das velocidades das fases gasosa e líquida, respectivamente. Para o padrão golfadas, não se tem uma definição específica para o coeficiente de covariância da velocidade. Entretanto, para o regime turbulento é esperado que $C_{V,G} = C_{V,L} = C_{V,m} = 1$, uma vez que os perfis de velocidade e de concentração volumétrica são relativamente planos devido ao regime turbulento e a alternância entre os pistões de líquido e as bolhas de gás. Para o regime laminar isto pode não ser verdadeiro, sendo necessário um estudo mais aprofundado sobre o coeficiente de covariância da velocidade.

O fator de atrito de Darcy da mistura pode ser estimado pela seguinte relação:

$$f = \begin{cases} \frac{64}{Re_m}, & \text{laminar} \rightarrow Re_m < 2 \times 10^3, \\ \frac{0,316}{Re_m^{0,25}}, & \text{Blasius} \rightarrow Re_m < 10^5, \end{cases} \quad (16)$$

sendo $Re_m = (\rho_m \langle J \rangle D) / \mu_m$ o número de Reynolds da mistura e μ_m a viscosidade da mistura. Sua determinação é um dos pontos fracos do modelo de mistura. Para escoamentos gás-líquido, frequentemente considera-se a viscosidade da fase líquida μ_L . Cada caso deve ser analisado isoladamente, porém, havendo a predominância de uma das fases, líquida ou gasosa, junto à parede e se o regime for turbulento, os fatores de atrito de escoamento monofásico podem ser aplicados e a massa específica e a viscosidade da mistura podem ser substituídas pelas propriedades da fase junto à parede.

No presente trabalho, considera-se a força de atrito que a parede exerce no pistão de líquido. Além disto, supõe-se que no pistão a fase líquida esteja em contato com a parede, de forma que, a força de atrito por unidade de volume, expressa na equação de conservação da quantidade de movimento da mistura, é modelada pela Equação (17), definida neste trabalho.

$$\frac{f}{2D} \langle \rho_m \rangle \langle J \rangle^2 = (1 - \beta) \frac{f_L}{2D} \rho_L \langle J \rangle^2, \quad (17)$$

sendo f_L o fator de atrito de Darcy da fase líquida, estimado por meio do número de Reynolds da fase líquida $Re_L = (\rho_L \langle J \rangle D) / \mu_L$. O fator de intermitência β é definido pela razão entre o comprimento da bolha e o comprimento da bolha mais o pistão de líquido $\beta = L_B / (L_B + L_S)$. Ele é modelado de forma aproximada pela razão de velocidades superficiais $\beta \cong \langle J_G \rangle / \langle J \rangle$.

4. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta a grade dos testes realizados e a medida experimental do gradiente de pressão. Os resultados experimentais, utilizados para comparação dos resultados numéricos obtidos neste trabalho, foram obtidos utilizando um circuito experimental construído em cima de uma treliça articulada com aproximadamente 8m de extensão. A linha é um trecho reto de tubulação de acrílico transparente com 26mm de diâmetro interno D e comprimento total de aproximadamente 306D, posicionado na vertical. As estações de medida E1 e E2 estão localizadas a 77D e a 257D a jusante do misturador gás-líquido, respectivamente. Os valores de J_L e J_G são relativos à pressão atmosférica de 946mbar e temperatura ambiente de 25°C.

Tabela 2. Grade de testes experimentais.

Teste (#)	$\langle J_L \rangle_{(Rel.)}$ (m/s)	$\langle J_G \rangle_{(Rel.)}$ (m/s)	$\langle J \rangle_{(Rel.)}$ (m/s)	$\nabla \langle P \rangle$ (mbar/m)
5	0,3	1,8	2,1	32
7	0,6	0,6	1,2	67
8	0,6	1,2	1,8	53
10	0,9	0,9	1,8	69
13	1,2	0,9	2,1	80
17	0,5	0,6	1,1	66
19	0,3	2,2	2,6	32
21	1,3	1,2	2,5	78

As condições operacionais dos testes descritos na Tabela 2 correspondem ao padrão golfadas, conforme representação no mapa de padrões de Taitel et al. (1980), apresentado na Figura 1.

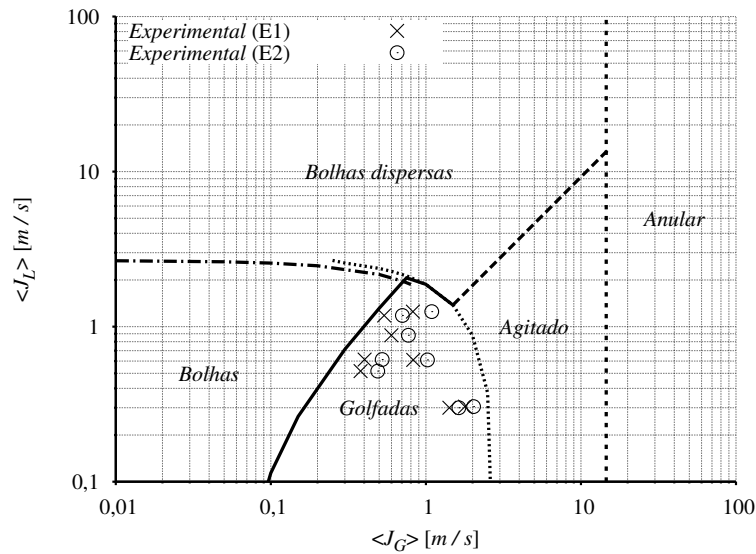


Figura 1. Mapa de padrões.

Foi realizada uma análise de sensibilidade do erro do gradiente de pressão $\epsilon_{\nabla\langle P \rangle}$, em função do parâmetro de distribuição C_0 , e outra análise em função do tamanho do passo de integração numérica H , conforme mostrado nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Erro no gradiente de pressão em função do parâmetro de distribuição.

C_0	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20
$\ \epsilon_{\nabla\langle P \rangle}\ (\%)$	2,50	2,55	3,06	3,83	4,73	5,68	6,66	7,65	8,64	9,63	10,61

Tabela 4. Erro no gradiente de pressão em função do tamanho do passo de integração.

N. de Pontos	10	20	40	80	160	320	640	1280	2560	5120
H/D	18,00	9,00	4,50	2,25	1,13	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
$\ \epsilon_{\nabla\langle P \rangle}\ (\%)$	2,61	2,54	2,52	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50

O erro do gradiente de pressão é dado pelo módulo da diferença entre os gradientes de pressão numérico e experimental, dividido pelo gradiente de pressão experimental. O valor do erro apresentado nas Tabelas 3 e 4 correspondem à norma do erro dos testes descritos na Tabela 2. É possível verificar que o valor mais baixo para o erro no gradiente de pressão é obtido quando $C_0 = 1,10$, e que a partir de $H = 2,25D$ a variação do valor do erro é inferior a 0,01%. Portanto, estes valores foram adotados no presente trabalho.

Na Figura 2, são apresentados os valores do gradiente de pressão da mistura $\nabla\langle P \rangle$ obtidos numericamente contra os valores experimentais (esquerda) e valores do gradiente de pressão da mistura contra os valores do gradiente de pressão hidrostático $\nabla\langle P_{Hidr.} \rangle$ (direita). É possível observar que há uma boa concordância entre resultados numéricos e experimentais, e que o gradiente de pressão hidrostático, no caso do escoamento vertical ascendente de golfadas de ar e água, é o termo dominante no gradiente de pressão da mistura.

Por meio das Equações (13) e (14), e com a solução numérica de P é possível avaliar $\bar{V}_{G,J}$ e \bar{V}_m . A Figura 3 mostra a evolução destas grandezas ao longo do duto. Os valores crescentes de $\bar{V}_{G,J}$ (esquerda) e \bar{V}_m (direita) são devido à expansão do gás.

Na Figura 4, são apresentados os valores da fração de vazios $\langle \alpha \rangle$ obtidos numericamente contra valores experimentais. Os valores de $\langle \alpha \rangle_{(Exp.)}$ são obtidos por meio de estimativa do hold-up de líquido e dos dados experimentais. É possível observar que há uma boa concordância nos resultados.

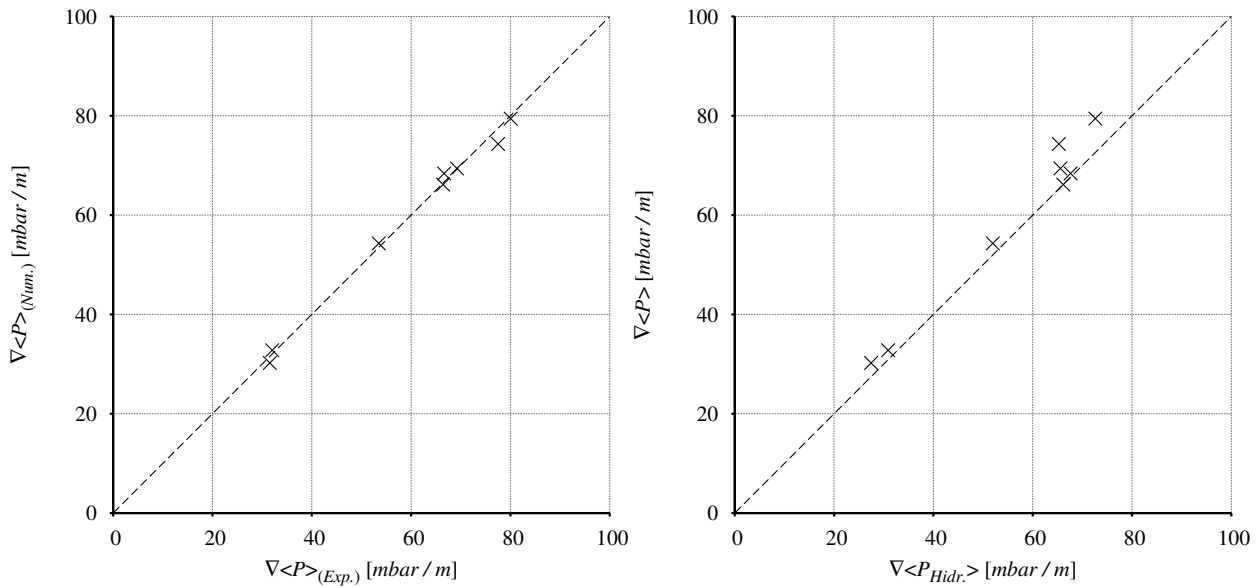


Figura 2. Valores numéricos contra experimentais do gradiente de pressão da mistura (esquerda) e gradiente de pressão da mistura contra o gradiente de pressão hidrostático (direita).

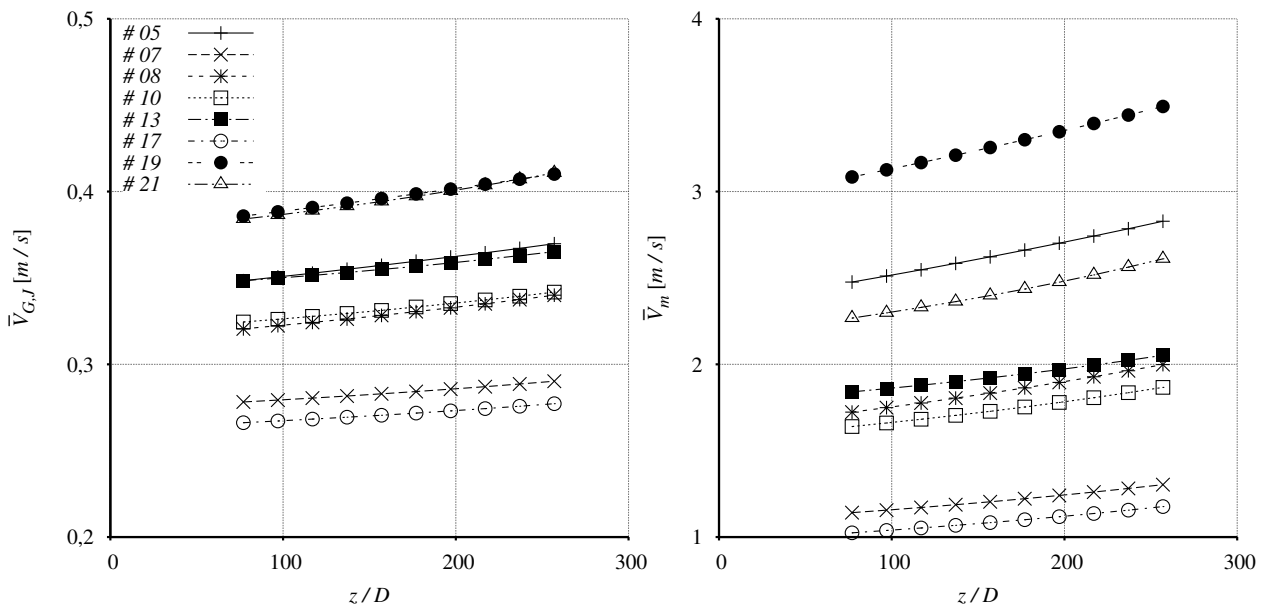


Figura 3. Variação da velocidade de deslizamento média (esquerda) e da velocidade de mistura (direita), ao longo do duto.

5. CONCLUSÃO

O modelo de *Drift-Flux* apresenta uma concordância com dados experimentais do gradiente de pressão da mistura, com valor da norma do erro em torno de 2,5%, para escoamento vertical ascendente de golfadas de ar e água, num duto de seção transversal circular constante. Este tipo de resposta pode ser estendido a outros padrões de escoamentos bifásicos, desde que sejam aplicadas as relações constitutivas adequadas.

O modelo, juntamente com as simplificações adotadas no presente trabalho, tem uma relativa facilidade de implementação numérica, visto que, a equação a ser resolvida é uma equação diferencial ordinária de primeira ordem e o método numérico utilizado fornece resultados com bastante rapidez.

Outro ponto importante a ser comentado diz respeito ao gradiente de pressão hidrostático, que no caso do escoamento vertical ascendente de golfadas de ar e água tem ordem de grandeza mais significativa do que o gradiente de pressão devido ao atrito e dos termos associados ao coeficiente de covariância da velocidade.

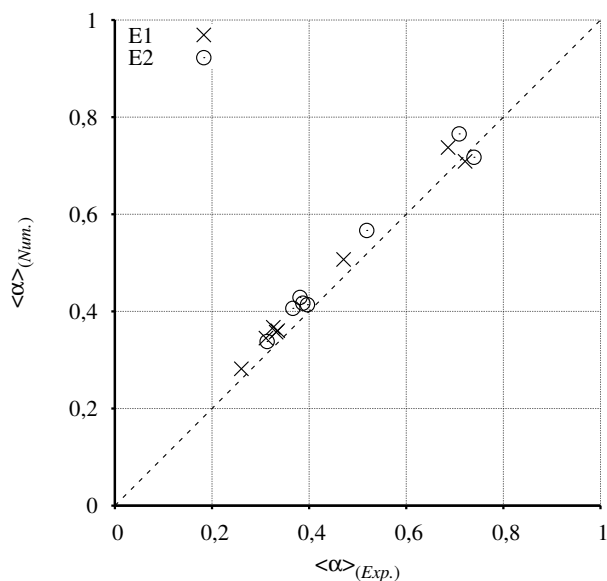


Figura 4. Valores numéricos da fração de vazios contra valores obtidos experimentalmente.

Os outros parâmetros analisados neste trabalho (velocidade de deslizamento, velocidade de mistura e fração de vazios) também apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando que a modelagem adotada fornece uma boa representação da física do problema.

Para ser ter uma melhor confiabilidade na resposta obtida, com relação à modelagem adotada em cada termo das equações, é necessário estender a análise realizada a outros padrões de escoamento, para verificar a influência da modelagem de cada termo das equações de conservação.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido pela Petrobras sob contrato no. 00500029781.07.2 para realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Bendiksen, K. H., "An Experimental Investigation of the Motion of Long Bubbles in Inclined Tubes", *Int. J. of Multiphase Flow*, Vol. 10, No. 4, pp. 467–483.
- De Cachard, F. and Delhaye., J. M., 1998, "Stability of small diameter airlift pumps", *Int. J. of Multiphase Flow*, Vol. 24, No. 1, pp. 17–34.
- Holt, A. J., Azzopardi, B. J. and Biddulph, M. W., 1999, "Calculation of Two-Phase Pressure Drop for Vertical Upflow in Narrow Passages by Means of a Flow Pattern Specific Model", *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 77, No. 1, pp. 7–15.
- Ishii, M., 1977, "One-dimensional drift-flux model and constitutive equations for relative motion between phases in various two-phase flow regimes", Argonne National Laboratory, ANL - 77-47.
- Ishii, M. and Hibiki, T., 2006, "Thermo-Fluid Dynamics of Two-Phase Flow", Springer.
- Nicklin, D. J., Wilkes, J. O. and Davidson, J. F., 1962, "Two-phase Flow in Vertical Tubes", *Trans. Inst. Chem. Eng.*, Vol. 40, pp. 61–68.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. and Flannery, B. P., 1992, "Numerical Recipes in Fortran 77 – The Art of Scientific Computing", Cambridge University Press.
- Taitel, Y., Barnea, D. and Dukler, A. E., 1980, "Modelling Flow Pattern Transitions for Steady Upward Gas-Liquid Flow in Vertical Tubes", *AIChE J.*, Vol. 26, 345-354.
- Zuber, N. and Findlay, J. A., 1965, "Average volumetric concentration in two-phase flow systems", *J. of Heat Transfer*, Vol. 87, pp. 453–468.

8. Informação de Responsabilidade

O material impresso no presente documento é de responsabilidade do(s) autor(es).

APPLICATION OF DRIFT-FLUX MODEL IN VERTICAL ASCENDANT SLUG FLOW OF AIR AND WATER

Luiz Eduardo Melo Lima, lelima@fem.unicamp.br

Eugênio Spanó Rosa, erosa@fem.unicamp.br

Mechanical Engineering Faculty (FEM), State University of Campinas (UNICAMP), Mendeleiev Street, "Zeferino Vaz" University City, Barão Geraldo, Campinas, SP, P.O. Box 6122, CEP 13083-970.

***Abstract.** The Mixture models have been used in gas-liquid flow simulator applied to the nuclear and petroleum industry. Despite of the fact that the Mixture model shave been developed during the 1970, they still doesn't have a widespread use and lack of experimental data to check the accuracy of the numerical predictions. This work employs the Drift-Flux model, one of the popular models in the class of the Mixture models, to access its accuracy against experimental data. The analysis is based on experimental data taken in an ascendant co-current vertical mixture air-water flowing in circular section pipe in slug pattern. The numerical predictions of pressure gradient and void fraction are compared against the experimental data. Furthermore, it is determined the model's sensitivity to the distribution parameter as well as the estimates of the drift and mixture velocities.*

Keywords: Two-Phase Flow, Slug, Drift-Flux, Pressure Gradient.