

## ESTUDO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DO FENÔMENO PLUMA DE BOLHAS

Djhon Coelho<sup>1</sup>; Élen Rodrigues<sup>2</sup>; João Melo<sup>3</sup>; Ana Souza<sup>4</sup>

1 Universidade Federal do Pará, *djhon@ufpa.br*

2 Universidade Federal do Pará, *cacaurodrigues007@hotmail.com*

3 Universidade Federal do Pará, *jntecsousa@hotmail.com*

4 Universidade Federal do Pará, *aninhacosta46@gmail.com*

### Introdução

Os escoamentos bifásicos gás-líquido de modo geral por sua vez podem ocorrer em diversas camadas, como por exemplo, das indústrias de engenharia tais como: elementos combustíveis, geradores de vapor, condensadores e tubulações de centrais nucleares; tubulações de transporte de gás e petróleo bruto e muitas outras. De acordo com Faccini (2008) o conhecimento da fenomenologia destes escoamentos proporcionam a otimização de equipamentos mais seguros e confiáveis a fim de assegurar melhores condições operacionais e experimentais.

Um dos fenômenos que exemplifica um escoamento bifásico gás-líquido é o de pluma de bolhas que vem despertando muitos interesses de estudo. Para podermos adentrar no fenômeno relatado acima, devemos entender o que é uma pluma de bolhas, no ramo industrial, trata-se do escapamento de gases naturais em alta pressão quando ocorrem vazamentos de óleo no fundo do oceano. O estudo do fenômeno possibilita agilizar operações de resgate minimizando assim os riscos para as equipes envolvidas. O gás é uma ameaça invisível e permanente nesse trabalho. Esse fenômeno também é encontrado nas indústrias químicas e metalúrgicas. Por exemplo, de acordo com Freire et al. (2002) na indústria metalúrgica de aço, o movimento ascendente de um gás inerte num banho provoca a agitação do metal fundido, o que resulta na química a homogeneização térmica da mistura.

O objetivo deste trabalho é utilizar os sensores eletroresistivos para estudar os problemas físicos, como distribuição de fração de gás, distribuição de velocidade e distribuição de diâmetro médio das bolhas em 3 graus de liberdade, gerados pela pluma de bolhas

Além disso, o presente trabalho tem como ênfase também na confecção de Sensores Eletroresistivos (ou de Condutividade), que visam à medição das propriedades gasosa do escoamento gás-líquido. Entretanto um fator de extrema importância que devemos levar em consideração quando formos fazer a medição utilizando as sondas duplas é a sua intrusividade no escoamento, que é um importante fator que deve ser analisado. Por exemplo, Hoffer e Resnick (1975) comentam que o molhamento das pontas dos sensores, o qual retarda a detecção da fase gasosa e depende da tensão superficial, precisa ser considerado. Evidências experimentais mostram que os sinais obtidos com a técnica de sensores eletroresistivos têm erros devido ao seu comportamento intrusivo. A análise dos sinais, baseados nos padrões de reconhecimento lógico e informações estatísticas, tenta eliminar a incerteza associada à natureza estocástica inerente ao processo de interceptação das bolhas pelo sensor (Jones e Zuber, 1975).

### Metodologia

O procedimento experimental, inicialmente foi realizado a construção e calibração dos sensores eletroresistivos e da calibração de rotâmetros, para uma obtenção de dados confiáveis, foi montado todo o aparato experimental para se realizar o estudo da coluna de borbulhamento (pluma de bolhas). Com base nesta instrumentação, o ar é injetado através de um compressor de ar, passa por mangueiras e posteriormente em equipamentos como válvula, regulador de pressão e

medidor de vazão (rotâmetro), com a intenção de manter a vazão constante na saída do injetor de ar, o injetor de ar se encontra posicionado na base de um aquário feito de vidro. Onde o aquário contém um volume de líquido de aproximadamente 104 litros, sendo que este líquido é uma mistura de água destilada com 2 g/L de acetato de sódio, que faz com que o líquido se comporte como um condutor de corrente elétrica.

O aquário foi montado para se reproduzir o fenômeno da pluma de bolhas, onde ocorre um movimento ascendente das bolhas para a superfície. O ar que passa pelo injetor de ar gera as bolhas no aquário, caracterizando assim uma mistura bifásica composta de água e ar, ocorrendo à ascensão das bolhas até a superfície do mesmo, formando um desenho semelhante a um cone. Os sensores duplos de condutividade em questão foram construídos a partir de agulhas de aço inox revestidas com tinta isolante, exceto nas pontas, as quais constituem as regiões ativas para a condução elétrica, os sinais obtidos por essa técnica de sensores têm erros devido o seu caráter intrusivo, sendo necessário tratamento de imagens para se fazer um estudo estatístico do mesmo, caracterizando assim o equipamento, com o fim de minimizar estes erros. O tratamento estatístico também é necessário para a caracterização do rotâmetro.

O sensor inserido na parte superior se encontra mergulhado no líquido, enquanto as bolhas emergem, sendo que, se nenhuma bolha passar pelos sensores o sinal não muda, mas quando a parte dianteira entra em contato com o sensor, ele capta a passagem para o meio isolante, ou seja, o ar, havendo uma interrupção da corrente elétrica imediatamente. O sensor se encontra ligado ao circuito eletrônico (que processa os sinais elétricos gerados pelo sensor), que por sua vez se encontra ligado à placa de aquisição e ao computador, onde emite um sinal representado por um pulso aberto que é visualizado no osciloscópio em forma de quadrado. Ao passar pela parte traseira da bolha, o sensor volta a entrar em contato com o meio condutor, ou seja, o líquido, e o pulso é fechado até a passagem de uma próxima bolha. Os pulsos gerados ficam armazenados no computador e através deles é possível calcular a velocidade de ascensão da bolha, fração de vazão e o tamanho das bolhas (através da sua corda - comprimento da bolha interceptado pelo sensor).

### **Resultados e discussão**

O fenômeno de Pluma de Bolhas é bastante estudado devido a sua complexidade, este por sua vez se caracteriza por ascensão de fluxo de gás em meio a um líquido estático, proporcionando uma figura geométrica que denominamos de cone. Esse trabalho tem por finalidade estudar este fenômeno em três regiões de escoamento, a zona em desenvolvimento, zona desenvolvida e superfície livre, para obtenção de dados de fração de gás, velocidade de subida da bolha e diâmetro médio das bolhas, para três alturas acima do injetor, 10, 15 e 29,7 cm.

Para a distribuição de fração de gás, quando agrupadas segundo variáveis análogas às definidas nos problemas de jatos e plumas térmicas, os perfis Gaussianos colapsam mostrando que o fenômeno de plumas de bolhas também exhibe similaridade. Essas distribuições foram geradas a partir de três alturas específicas do trabalho, de 10 cm, 15 cm e 29,7 cm, na qual a primeira está localizada na Zona em Desenvolvimento, onde sofre uma grande influência do injetor, por isso percebe-se um aumento da fração de gás, já que o fluxo de ar nessa região é mais intenso a outra encontra-se na Região de Escoamento Desenvolvido, na qual sofre uma influência da injeção de ar um pouco menor do que na anterior, mas porém possui uma distribuição nos seus valores médios mais bem definidos, já a terceira altura encontra-se na zona que denominamos de superfície livre, que na qual o fluxo de gás já é mais rarefeito.

Analisando a velocidade de ascensão das bolhas, apesar da dispersão, quando agrupados em variáveis de similaridade, os dados coalescem em perfis

Gaussianos. Conclusões semelhantes às proferidas sobre a

influência das condições de injeção na fração de gás na Região de Escoamento em Desenvolvimento, Desenvolvido e Superfície Livre são válidas para o caso de velocidades de subida.

Para a análise da distribuição do diâmetro das bolhas (corda perfurada) Embora haja forte dispersão, nota-se que, para a altura de 10 cm acima do injetor, as cordas das bolhas apresentam-se valores dentro de uma estreita faixa, já para a altura de 15 cm acima do injetor ocorre uma pequena diminuição nos valores comparados com a altura anterior, devida a uma quebra nas bolhas, ao atingirem esta determinada altura. A partir desta estação z, estas mantêm tamanho aproximadamente constante, apenas espalhando-se radialmente à medida que se movimentam para cima. Agora para a terceira altura de 29,7 cm podemos observar uma diminuição um pouco maior em relação a anterior. Portanto chegamos à conclusão que para a altura mais próxima do injetor a corda da bolha se torna maior devido ao processo de coalescência, pois esta se encontra na zona que denominamos em desenvolvimento, para a zona desenvolvida que é na altura de 15 cm acima do injetor, a corda da bolha vem perdendo diâmetro, mas mesmo sofrendo esta diminuição ainda se mantém constante, devido estar na zona que denominamos de desenvolvida, já a altura de 29,7 cm acima do injetor se observa uma diminuição maior na corda da bolha, devido ao fenômeno de quebra das bolhas, já que estas se encontram na zona que denominamos de superfície livre.

### **Conclusões**

Um programa experimental baseado no Método de Sensores Eletro-resistivos foi apresentado. Instrumentação dois pares de canais foi desenvolvida e aplicada ao problema de plumas de bolhas, demonstrando resultados satisfatórios quando empregada na medição de propriedades da fase gasosa. Foram descritas a estrutura do sinal de saída, bem como as técnicas empregadas para dele extrair grandezas de interesse, como fração de gás, velocidade de subida e diâmetro médio das bolhas em três graus de liberdade, para este último podemos observar através dos resultados experimentais os fenômenos de coalescência das bolhas e quebra, nas zonas em desenvolvimento e superfície livre, respectivamente.

**Palavras chave:** Bifásico, Pluma de Bolhas, Sonda Condutiva.

### **Referências**

- FREIRE, A. P. S., D. D. E. Miranda, L. M. S. Luz and G. F. M. França (2002). *Bubble Plumes and the Coanda Effect*. International Journal of Multiphase Flow 28(8): 1293-1310.
- JONES, Jr., O. C. 1981, *Two phase flow measurement techniques in gás-liquid systems*. U. S. Nuclear regulatory comission, Office of nuclear regulatory research, under contract DE-AC02-76H00016, NRC FIN no. A-3045.
- HOFFER, M.S. e RESNICK, W. 1975, *A modified eletroresistivity probe technique for steady and unsteady-state measurements in fine dispersions – I*. Chemical Engineering Science, v. 30, pp. 473-480.
- BARBOSA, J. R. *O método dos sensores eletro-resistivos aplicado à pluma de bolhas*. 1997. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.