

MEFTE
Bragança 09

III Conferência Nacional
em mecânica de fluidos, termodinâmica
e energia

17 e 18 de Setembro
Instituto Politécnico de Bragança

Fernando Pinho
Pedro Coelho
Paulo Oliveira
Paulo Piloto

Título: Actas da III Conferência Nacional em Mecânica de Fluidos, Termodinâmica e Energia (MEFTE - BRAGANÇA 09), resumos.

Autores da edição: Fernando Pinho, Pedro Coelho, Paulo Oliveira, Paulo Piloto.

ISBN: 978-989-96264-0-9

Depósito Legal: 297510 / 09

Editora: Associação Portuguesa de Mecânica Teórica Aplicada e Computacional (APMTAC)

Imagem: Atilano Suarez (Serviços de imagem do IPB) e Ricardo Gonçalves (CTI-ESTIG-IPB)

Paginação: Paulo Piloto, Elizabeth Pereira, Fernanda Maçorano

Produção Gráfica: Escola Tipográfica

ACTAS DA

III Conferência Nacional em Mecânica de Fluidos, Termodinâmica e Energia
(MEFTE - BRAGANÇA 09)
resumos

ORGANIZAÇÃO

APMTAC – Associação Portuguesa de Mecânica, Teórica, Aplicada e Computacional
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IST – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
UBI – Universidade da Beira Interior
IPB – Instituto Politécnico de Bragança

APMTAC



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia



IPB
INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BRAGANÇA

COMISSÃO ORGANIZADORA

Fernando Pinho – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Pedro Coelho – Instituto Superior Técnico
Paulo Oliveira – Universidade da Beira Interior
Paulo Piloto – Instituto Politécnico de Bragança

COMISSÃO EXECUTIVA

Ana Isabel Pereira – Instituto Politécnico de Bragança
Carlos Balsa – Instituto Politécnico de Bragança
Olga Ferreira – Instituto Politécnico de Bragança
Simão Pinho – Instituto Politécnico de Bragança
Ricardo Dias – Instituto Politécnico de Bragança
Rolando Dias – Instituto Politécnico de Bragança
Rui Lima – Instituto Politécnico de Bragança
Valdemar Garcia – Instituto Politécnico de Bragança

COMISSÃO HONRA

Albano Alves – Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Vitor Alves – Governo Civil de Bragança
Jorge Nunes – Câmara Municipal de Bragança
Sobrinho Teixeira – Instituto Politécnico de Bragança

COMISSÃO CIENTÍFICA

A. F. Miguel – Universidade de Évora
A. Heitor Reis – Universidade de Évora
Abel Rouboa – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
António C. Sousa – University of New Brunswick – Canadá
António Gameiro Lopes – Universidade de Coimbra
António Mendes – Universidade da Beira Interior
António Moreira – Instituto Superior Técnico
António Raimundo – Universidade de Coimbra
Carlos Pinho – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Celestino R. Ruivo – Universidade do Algarve
Falcão Campos – Instituto Superior Técnico
Fernando Pinho – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
João Campos – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
João Viegas – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Jorge Capote Abreu – Universidade de Cantabria
José C. Pereira – Instituto Superior Técnico
José Carlos Teixeira – Universidade do Minho
José Conde – Universidade Nova de Lisboa
José Costa – Universidade de Coimbra
José Dias – Universidade Nova de Lisboa
José Palma – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Juana Fortes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Luís Adriano Oliveira – Universidade de Coimbra
Luís Eça – Instituto Superior Técnico
Luís Pais – Instituto Politécnico de Bragança
Manuel Alves – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mário Costa – Instituto Superior Técnico
Paulo Oliveira – Universidade da Beira Interior
Pedro Coelho – Instituto Superior Técnico
Pedro Dinho – Universidade da Beira Interior
Rui Ferreira – Instituto Superior Técnico
Sobrinho Teixeira – Instituto Politécnico de Bragança
Toste Azevedo – Instituto Superior Técnico
Viriato Semião – Instituto Superior Técnico
Vitor Costa – Universidade de Aveiro

Oxigenação de águas em colunas de borbulhamento a operar em escoamento co-corrente descendente

Sobrinho Teixeira¹, Carlos Balsa² e Valdemar Garcia²

¹Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Quinta de Sta Apolónia, 5301-855 Bragança, Bragança, Portugal

email: sobrinho@ipb.pt <http://www.esa.ipb.pt>

²Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Quinta de Santa Apolónia, 5301-857 Bragança, Bragança, Portugal

Sumário

Apresenta-se um estudo teórico e experimental sobre transferência de massa num escoamento co-corrente descendente de oxigénio-água em colunas de borbulhamento verticais. As experiências foram efectuadas num tubo de 32 mm de diâmetro interno e 5.37 m de altura. A velocidade superficial do líquido variou entre 0.3 e 0.8 m/s e a razão de caudais volumétricos gás/líquido entre 0.015 e 0.30.

Desenvolve-se um modelo teórico de transferência de massa para este tipo de escoamento. Obteve-se para a razão entre o coeficiente de transferência de massa e o raio inicial das bolhas, $k_l/r_0=0.12 \text{ s}^{-1}$.

Palavras-chave: Oxigenação de águas; Escoamento co-corrente descendente; Colunas de borbulhamento verticais; Modelo de transferência de massa.

1 Introdução

As colunas de borbulhamento, equipamento em que a fase gasosa é dispersa na forma de pequenas bolhas numa fase líquida contínua, têm sido largamente usadas como dispositivos de contacto gás-líquido em absorvedores. O escoamento de ar/oxigénio-água pode utilizar-se em áreas onde a oxigenação de águas seja importante como a aquicultura, o tratamento de águas residuais e a despoluição de rios. O escoamento co-corrente destes fluidos ocorre em equipamentos como, por exemplo, o *tubo em U* com aplicações nas áreas referidas [1, 2, 3]. O estudo aqui apresentado refere-se precisamente ao escoamento simultâneo de oxigénio e água em regime co-corrente descendente em colunas de borbulhamento verticais.

2 Experiências

As experiências foram efectuadas num tubo de vidro acrílico transparente posicionado na vertical com 32 mm de diâmetro interno e 5.37 m de altura. Os fluidos, água da torneira e oxigénio puro comercial, eram introduzidos na extremidade superior do tubo. A pressão, P , era medida à entrada da coluna e a concentração em oxigénio dissolvido, C , em quatro pontos ao longo da coluna. A temperatura dos fluidos foi de 17 °C.

Efectuaram-se experiências com velocidades superficiais de líquido, U , entre 0.3 e 0.8 m/s e razões de caudais volumétricos gás/líquido à entrada da coluna, $\chi=G_0/L$ entre 0.015 e 0.30.

3 Modelo de transferência de massa

Um modelo teórico é apresentado para descrever o processo de transferência do oxigénio para a água, num escoamento co-corrente descendente. Neste modelo admite-se, para cada caudal de água e de oxigénio, que as bolhas que se formam na introdução do gás na coluna são todas do mesmo tamanho e esféricas. À medida que os fluidos descem no tubo, todas as bolhas diminuem igualmente de tamanho com o aumento da pressão, de modo que numa determinada secção x , todas têm o mesmo volume e velocidade. Tem-se em conta a variação da pressão e o consumo de oxigénio resultante da sua transferência para o líquido e, conseqüentemente, a variação do caudal volumétrico de gás, G e o raio das bolhas, r .

A partir de um balanço material ao oxigénio dissolvido na água numa fatia infinitesimal dx da coluna e tendo em conta a equação diferencial da pressão, obtêm-se as equações diferenciais do modelo, em cuja resolução simultânea se usa como condição fronteira $C=C_0$ (concentração à entrada) para $P=P_0$ (pressão à entrada) e $x=0$

$$\frac{dP}{dx} = \rho g \frac{\frac{U-U_0}{\chi}}{\frac{U-U_0}{\chi} + \frac{U}{P} \left(P_0 - \frac{C-C_0}{\chi} RT \right)} \quad (1)$$

$$\rho g \frac{1}{3} \frac{k_L}{r_0} \frac{U - U_0}{\chi} \left(P_0 - \frac{C - C_0}{\chi} \mathcal{R} T \right)^{-2/3} \frac{dC}{dP} + CP^{-2/3} - \frac{P^{1/3}}{H} = 0 \quad (2)$$

onde ρ é a massa volúmica do líquido, g a aceleração da gravidade, U a velocidade superficial do líquido, U_0 , a velocidade das bolhas em meio estagnado, \mathcal{R} a constante do gás ideal, k_L o coeficiente de transferência de massa do lado do líquido, r_0 o raio das bolhas à entrada do tubo, T a temperatura e H a constante da lei de Henry.

4 Resultados e discussão

No modelo apresentado, k_L/r_0 é um parâmetro de ajuste da equação (2) podendo obter-se a partir dos dados experimentais. Obtiveram-se valores de k_L/r_0 entre 0.101 e 0.140 s^{-1} , com um valor médio de 0.12 s^{-1} . Como alternativa, sugerimos a correlação de Hughmark [4] que rearranjada permite explicitar k_L/r_0 a usar na equação (2) do modelo. Com essa correlação (ver artigo completo), obtêm-se valores próximos de 0.12 s^{-1} . Simulações efectuadas com o modelo mostram que o perfil de concentrações não varia muito, quer se use o valor constante de 0.12 s^{-1} para k_L/r_0 ao longo da coluna, quer se explicita k_L/r_0 em função das variáveis de operação, obtido com a equação de Hughmark, conforme se mostra na Fig.1, para uma coluna de 20 m e duas condições de operação.

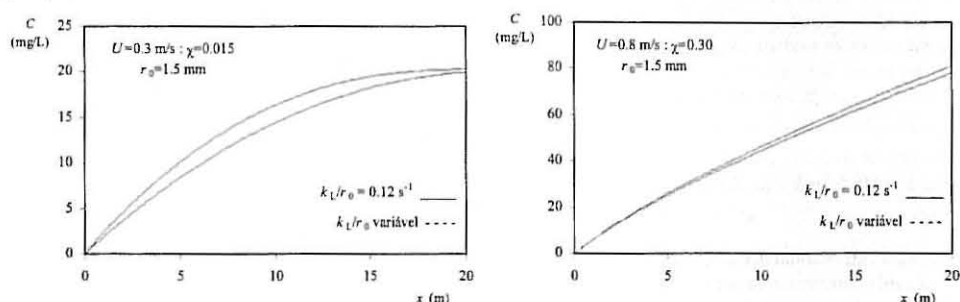


Fig.1. Concentrações obtidas com o modelo numa coluna com 20 m de altura, com $k_L/r_0=0.12$ s^{-1} e k_L/r_0 variável.

5 Conclusões

Apresenta-se um modelo de transferência de massa para colunas de borbulhamento com escoamento simultâneo de gás e líquido em regime co-corrente descendente. O modelo tem em linha de conta o aumento da pressão ao longo do tubo, a diminuição do tamanho das bolhas, a variação do caudal volumétrico de gás provocada quer pela diminuição da pressão quer pelo consumo de soluto absorvido pelo líquido.

O parâmetro k_L/r_0 , razão entre o coeficiente de transferência de massa e o raio inicial das bolhas, e portanto k_L , na maior parte das situações com interesse prático, varia pouco com o raio da bolhas ao longo da coluna, pelo que se pode usar um valor constante de $k_L/r_0=0.12$ s^{-1} , valor médio que resulta do ajuste do modelo aos dados experimentais e que é próximo do obtido com a correlação de Hughmark.

Referências

1. Boyd, C. and Watten, B., 1989. Aeration systems in aquaculture. *Rev. in Aquatic Sciences*, 1 (3), 425-472.
2. Speece, R., 1996. Oxygen supplementation by U-Tube to the Tombigbee river. *Water Science and Technology*, 12, 83-90.
3. Teixeira, J. A. S., 1998. Oxigenação em aquicultura: o sistema do Tubo em U. Tese de doutoramento apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
4. Hughmark, G., 1967. Holdup and mass transfer in bubble columns. *Ind. Eng. Chem. Process Design and Development*, 6, 218-220.