

MODELAGEM DA TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO EM AERAÇÃO FORÇADA

Oliveira, A.B.F.¹ & Corrêa, N.A.²; Benatto, N.C.B.³; Lobosco, R.J.⁴

Resumo – A questão da aeração forçada ou natural estão ligados à capacidade de auto-purificação dos corpos d'água, menos agressiva substâncias oxidantes a resultar em baixa toxicidade. Oxigênio dissolvido na água é um passo importante no processamento de águas residuais. Para realizar esta dissolução, que usamos que são unidades de aerador (tanques) onde o ar é soprado através do líquido, que se move em um regime de fluxo contínuo. Esta proposta de investigação diz respeito a modelagem fenomenológica da transferência de oxigênio das bolhas de ar para a simulação meio líquido com integrações numéricas de Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs) e Equações Diferenciais Parciais (PDE), em comparação com dados experimentais. Esses modelos podem contribuir para os estudos de transporte turbulento, que são necessários para avaliar a natureza dos fluxos, em situações como no monitoramento dos recursos hídricos ou operações em tratamentos de águas residuais.

Abstract – The issue of forced or natural ventilation are linked to self-purification capacity of water bodies, less aggressive oxidizing substances to result in low toxicity. Dissolved oxygen in water is an important step in the processing of wastewater. To accomplish this dissolution, we use that are aerator units (tanks) where the air is blown through the liquid, which moves in a continuous flow regime. This research proposal concerns the phenomenological modeling of oxygen transfer from air bubbles to simulate liquid medium with numerical integrations of Ordinary Differential Equations (ODEs) and Partial Differential Equations (PDE) in comparison with experimental data. These models can contribute to the studies of turbulent transport, which are needed to assess the nature of movements in situations such as monitoring of water resources or operations in waste water treatment.

Palavras-Chave – aeração, fluxo turbulento, o oxigênio dissolvido.

1 - INTRODUÇÃO

¹ Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. Av. Trabalhador Sancarlene, 400- Centro São Carlos/SP, fone/ fax(16)33739555, andrezab@sc.usp.br.

²: Prof. Dr. Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. Av. Trabalhador Sancarlene, 400- Centro São Carlos/SP, fone/ fax(16)33738249, nacorrea@sc.usp.br.

Os mecanismos que envolvem os movimentos de bolhas de ar na água são importantes para a compreensão e modelagem do fenômeno da dissolução de oxigênio.

Dissolução de oxigênio é o passo fundamental no processamento dos efluentes poluentes. Os microorganismos degradantes precisam do oxigênio para oxidar compostos orgânicos e mineralizá-los em substâncias menos agressivas ao meio ambiente e à saúde humana. Em dissolução natural esse mecanismo se dá através da interface água e ar auxiliado por turbilhões, dependendo do regime de fluxo turbulento em corpos d'água.

Naturalmente, a eficiência de transferência pode ser baixa, mas a área de contato é significativa.

Para recriar esta dissolução em um ambiente controlado, onde a área interface livre exposta não tem uma proporção satisfatória, a maneira mais fácil é borbulhar ar no meio líquido escoante para melhorar a transferência de oxigênio. O aerador (tanque de aeração ou canal) é a unidade responsável por esse processo e suas configurações são extensas e operado de várias maneiras diferentes. A razão para tantas variações é a busca da maior eficácia possível na transferência de oxigênio em massa para a água.

O assunto de aeração é antigo e um monte de contribuição para o processo tem sido feito, mas ainda há muito a ser explorado, principalmente sobre o processo com lodos ativados. Os regimes de fluxo na natureza são essencialmente turbulentos, e todos os mecanismos de transferência dependem da magnitude da intensidade e mistura originada pelos turbilhões. Assim, o grau de absorção de oxigênio na água é também uma função da intensidade de agitação. Através de correlações para o número Schimidt turbulento, no qual este parâmetro viscosidade turbulenta está envolvido, por exemplo, é possível estimar difusividade turbulenta (D_{abt}) de oxigênio dissolvido no meio líquido para a quantificar a modelagem, controle de processos, entre outros.

Considerando a afirmação acima, procurou-se avaliar a viscosidade turbulenta em aeração forçada aplicando a técnica de velocimetria a laser para ser utilizada na modelagem de transferência de oxigênio contribuindo para os estudos de recuperação da qualidade de água. A pesquisa atual diz respeito fenômenos aeração forçada, a turbulência e ao uso da técnica de velocimetria a laser (PIV).

1.1 Aeração

A questão da aeração natural está vinculada ao processo de autodepuração, isso acontece naturalmente por mecanismos de transporte, devido ao movimento do corpo d'água na qual ela se apresenta com baixa eficiência

A quantidade e a concentração de efluentes requerem um espaço de troca significativa, incompatível com a área superficial dos corpos d'água. Devido aos problemas resultantes da poluição, a intervenção humana é necessária para aumentar a área de transporte de oxigênio

dissolvido (OD), por meio de aeração forçada, onde a quantidade de bolhas oferece uma área de troca significativa. . A intensa agitação devido ao deslocamento, causada por pressão, aumenta a aeração forçada ainda mais. Por esta razão aeração forçada é amplamente aplicada no tratamento de efluentes líquidos (Cirpka e Viessman, 1993).

1.2 Fluxo Turbulento

A estrutura de fluxo no regime turbulento é caracterizado por movimentos aleatórios, tridimensionais de partículas de líquido, somado ao movimento principal. Isto é porque há volumes macroscópica do líquido que aleatoriamente o tráfego através de fluxo com velocidades mais altas. Portanto, conclui-se que a viscosidade turbulenta é função do estado de agitação turbulenta no fluxo considerado. Esta característica é relevante porque mostra que o coeficiente de proporcionalidade pode ser função da posição que está sendo considerado no fluxo. Ou seja, um mesmo fluxo pode apresentar um perfil viscosidade turbulenta (Schulz, 2003).

1,3 Técnica PIV

A técnica PIV é usado para obter imagens para determinar campos de velocidade instantâneos e para determinar o tamanho da bolha em um campo de fluxo bi-dimensional. A técnica PIV consiste de um feixe de luz que ilumina todas as partículas em suspensão no fluxo que atravessam o campo bi-dimensional do feixe. As partículas iluminadas seguem o movimento fluido, sendo capaz de ser fotografado em uma alta frequência de número de quadros por segundo. A co-relação desses dados fornecem velocidades local do fluido. LIU et al, (2006) estudou o comportamento de bolhas em uma coluna retangular usando PIV, onde as bolhas subiam em uma corrente num líquido estagnado. Os campos instantâneos líquidos do fluxo medido por PIV mostraram a diversidade de como as bolhas de crescem em trajetórias diferentes. A co-relação obtidos nesta pesquisa pode razoavelmente prever a velocidade da bolha terminal, de forma mais conveniente para os parâmetros obtidos, tais como, propriedades do líquido, a taxa de fluxo de ar e a frequência de formação de bolhas. BALDI et al, (2004) utilizaram esta metodologia para medir a velocidade média em um tanque agitado por uma turbina, onde as medidas diretas de distribuição realizadas com PIV foram determinadas. Onde adquiriram informações úteis para uma estimativa exata de projetos futuros. Apesar da quantidade de informação substancial obtidos nos tanques agitados para a distribuição de velocidades médias e níveis de turbulência, a determinação exata da taxa de dissipação de energia cinética turbulenta apresentou-se como um desafio, pois as escalas dissipativas que precisam de solução apresentaram-se em pequenos tamanhos. . FAN et al, (2003) utilizaram a técnica de PIV para caracterizar a instabilidade de fluxo em tanques mecanicamente agitados, que foram exploradas através da análise de testes de escalas multi-dimensional Investigações adicionais mostraram que estes testes-padrão foram complexos e as macro-instabilidade (MI) aparece como um interruptor entre elas. A função de distribuição de

probabilidade de um ponto de vista matemático foi introduzido para extrair informações de MI no campo de velocidade, onde a distribuição bi-dimensional de MI e sua dependência de número de Reynolds foram estudados. Os resultados mostraram que a análise de probabilidade através da função de distribuição espectral pode ser utilizado com sucesso na quantificação relativa das macro-instabilidades. Comparando-a com a técnica de observação visual deste novo método de análise por meio de PIV é mais objetivo e pode ser usado para obter compreensão mais profunda do espaço-temporal das propriedades macro-instabilidades. Orlins et al, (2000) observaram as variações temporais entre turbulência na superfície livre e de transporte de massa, também utilizando a técnica de PIV para este procedimento. Os autores obtiveram dados da superfície da água, sub-regiões, velocidade, vorticidade e da divergência bi-dimensional foram calculados em função do espaço e do tempo de cada região.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A fase experimental deste estudo foi realizada no laboratório de Hidráulica Ambiental, localizado no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste laboratório, a planta experimental foi de fluxo cruzado gaseificador sem agitação mecânica. O canal mede 5m de comprimento, 350 milímetros de altura e 200mm de largura, feito de acrílico, que torna mais fácil a visualização do fluxo das plumas de bolhas. O tanque foi alimentado com água de abastecimento local e pó de talco neutro foi utilizado como traçador de partículas. A técnica PIV (velocimetria por imagem de partículas) foi utilizada para obter perfis de velocidade dentro do canal. Nesta técnica, um feixe de luz em um formato de lâmina (folha de luz), originados a partir de um laser de vapor de cobre (Oxford Laser LS-20-10 20W) corta o tanque em uma direção longitudinal, e uma câmera CCD do lado do tanque captura diversas imagens na área iluminada. As imagens capturadas foram tratadas em um programa específico (Visiflow), que forneceu valores de velocidade em um número de pontos, de acordo com a relação entre a detecção de partículas de deslocamento e frequência de captura da câmera. O uso do laser permite a obtenção de dados de tensão Reynolds que são essenciais para o estudo de fluxo turbulento e com esses dados é possível definir uma taxa de aeração com o objetivo de validar os possíveis modelos. O objetivo principal deste trabalho é a difusividade turbulenta de acordo com o modelo básico da equação de transporte (em coordenadas x):

$$-\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \bar{V}_x}{\partial x} - \rho \overline{V'_x V'_x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{V}_x}{\partial y} - \rho \overline{V'_x V'_y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \bar{V}_x}{\partial z} - \rho \overline{V'_x V'_z} \right) + \rho \bar{B}_x =$$

$$= \rho \left(\frac{\partial \overline{V_x}}{\partial x} \overline{V_x} + \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y} \overline{V_y} + \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial z} \overline{V_z} + \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

Os termos entre parênteses no primeiro membro envolvem uma parcela que representa o fluxo de quantidade de movimento molecular, enquanto a parte que envolve as flutuações turbulentas de velocidade representa o fluxo de quantidade de movimento turbulento. É possível definir o movimento turbulento coeficiente de transferência de quantidade, escrito abaixo (com sinal positivo):

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y} + \mu_{txy} \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y} \quad (2)$$

Em comparação com os termos na equação. 2, temos:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y} - \rho \overline{V_x' V_y'} \quad (3)$$

A partir da equação 3 obtém-se, imediatamente:

$$\mu_{txy} = - \frac{\rho \overline{V_x' V_y'}}{\left(\frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y} \right)} \quad (4)$$

Vale observar que as tensões desejadas são Reynolds $\rho \overline{v'_x v'_y}$ que são v'_x e v'_y as flutuações de velocidade e seguindo as direções x e y no sistema cartesiano.

3 - RESULTADOS PRELIMINARES

A análise dos resultados é expressa por qualificação velocidade de dados visual, quando expostos em áreas vectorial do setor no canal estudado. Os estudos foram realizados considerando duas dimensões, a altura e o comprimento do canal.

As velocidades flutuantes comporam as tensões de Reynolds para avaliar a viscosidade turbulenta. A Figura 1 mostra o perfil de viscosidade turbulenta em um gráfico de contorno, onde a cor indica a disposição da viscosidade em um contorno de acordo com a escala de cores abaixo.

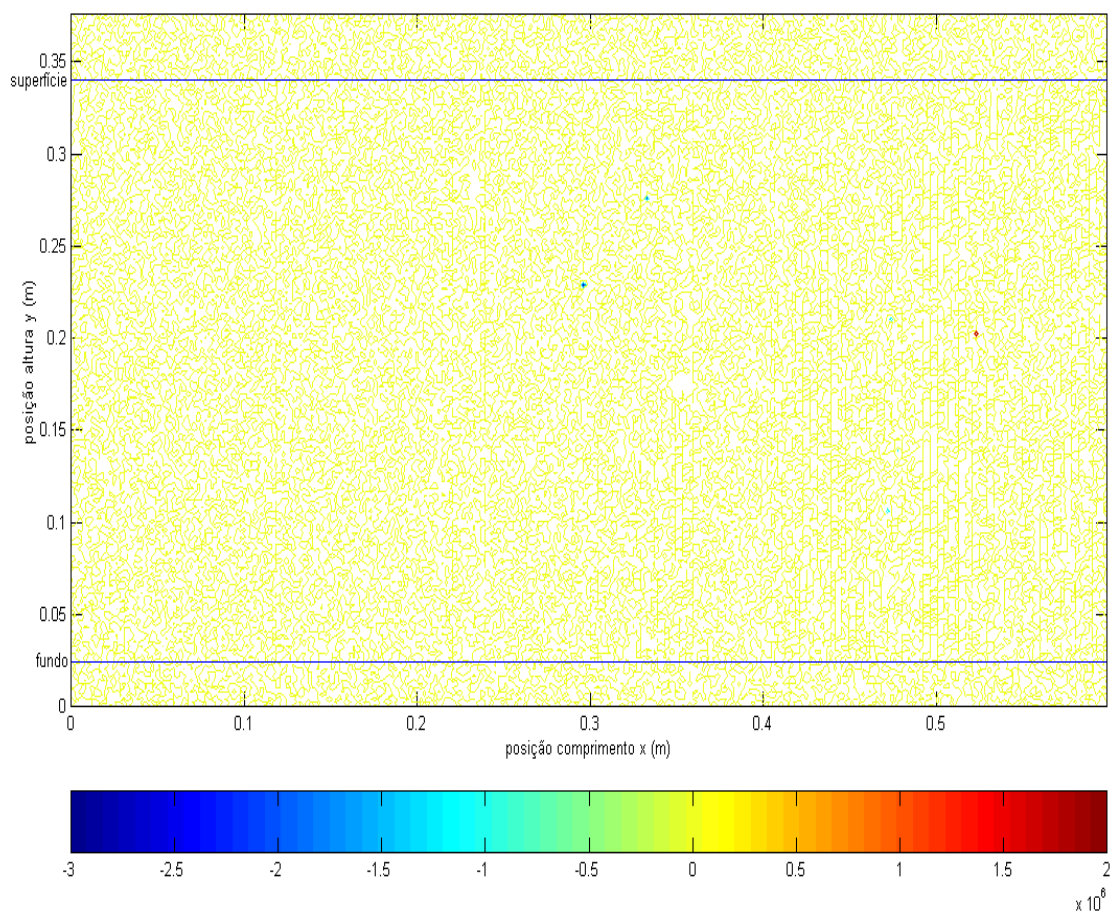


Figura 1: disposição de viscosidade turbulenta $\mu_{t,xx} = \rho \left(\overline{v'_x v'_x} \right) / (d\bar{v}_x / dx)$ no contorno. Escala de cores em Pa.s.

Com base nas tarefas explicadas na metodologia e no resultado experimental, pretende desenvolver um modelo numérico que pode ser validado com dados experimentais, permitindo novas investigações para examinar a dispersão das bolhas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (proc. 0302768-1) pelo apoio financeiro a este trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

Bald, S. e Yianneskis, M.(2004) On the Quantification of energy dissipation in th Impeller Stream of a Stirred Vessel from Fluctuating Velocity Gradient Measurements. Experimental and Computational Laboratory for the Analysis of Turbulence (ECLAT), Division pf Engineering, King's College, London.

Cirpka, O. e Viessman JR. W (1993). – Environmentally Science Technologic., v 27, n.10, 2086p

Liu, Z., e Zheng, Y.(2006), PIV Study of Bubble Rising Behavior. Deptment of Chemical Engineering, Univerty of New Brunswick, Canada.

Orlins, J.J. e Gulliver, J.S.(2000), Measurement of Free Surface Turbulence, In: International Symposium on gas Transfer at Water Surfaces, 4., Flórida, /Comunicação Pessoal/.

Schulz, E. H.(1985) Investigação do Mecanismo de Reoxigenação da Água em escoamento e sua Correlação com o Nível de Turbulência junto à Superfície. São Carlos, SP, EESC-USP, 299p. (Dissertação).

Schulz, E. H.(1989) Investigação do Mecanismo de Reoxigenação da Água em escoamento e sua Correlação com o Nível de Turbulência junto à Superfície. São Carlos, SP, EESC-USP, 348p. (Tese).

Schulz, E. H.(2003) O Essencial em Fenômenos de Transporte. São Carlos, SP, EESC-USP.