



Resumo

(Programa de Iniciação Científica Voluntária da UNICAMP)

“INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DA PSEUDO RECONSTRUÇÃO 3D DO CAMPO MÉDIO DE UM JATO D’ÁGUA UTILIZANDO *STEREO-PIV*”

Aluno: Mateus Portella

184106

Orientador: Prof. Guilherme José de Castilho

Pesquisadores Participantes: Dr. Helder Lima de Moura e
Ma. Aline Gallo de Mitri

Campinas – SP, outubro de 2020.

Resumo

Durante os últimos 12 meses realizei a investigação experimental do escoamento em um tanque cilíndrico com impelidor 4 pás inclinadas 45° e 4 chicanas igualmente espaçadas. Para tal trabalho foi utilizado o *Stereo-PIV*, uma técnica para determinação dos campos de velocidade em escoamentos de forma não intrusiva, pois grava a movimentação de partículas traçadoras, colocadas no tanque, em uma janela de observação específica, a partir da utilização de duas câmeras posicionadas de forma estereoscópica. Foi escolhida essa técnica ao invés do PIV tradicional, com apenas uma câmera, pois o objetivo deste trabalho foi estudar como se comportam as 3 componentes de velocidade no tanque medidas em três ângulos resolvidos (0°, 30° e 60°), que podem ser definidos como a posição das pás do impelidor em relação ao plano horizontal de iluminação. Além disso, o trabalho também buscou verificar a validade da aplicação da hipótese da pseudoisotropia no cálculo da energia cinética turbulenta, a qual é uma simplificação na qual a componente tangencial da velocidade é dada pela média aritmética das outras duas componentes. Desse modo a análise dos dados obtidos pelo experimento permitem afirmar que a medida em ângulo resolvido de 30° foi a que apresentou maiores efeitos turbulentos, com formação de vórtice no centro. Além disso pode-se afirmar também a aplicação da hipótese de pseudoisotropia não é válida nas proximidades do impelidor.

Motivação

A motivação para a realização desse projeto se dá pelo entendimento do comportamento de fluidos em um sistema de agitação, pois isto é fundamental para caracterizar o processo de mistura, tanto na etapa de projeto, na escolha do impelidor mais efetivo, quanto para solucionar problemas em possíveis áreas de acúmulo de material. Com base nessa motivação, e, a partir do incentivo da Petrobrás com o processo 2017/00376-1, essa pesquisa foi realizada.

Materiais e técnica utilizada

Conforme já explicitado acima, o sistema utilizado é composto de poucos equipamentos, são basicamente um tanque de acrílico cilíndrico com base torisférica padrão ASME 10%, um impelidor PBT (*pitched blade turbine*) com 4 pás inclinadas 45° e 4 chicanas metálicas igualmente espaçadas, 2 câmeras idênticas FlowSense EO 8M-21 (3312x2488pixels, 5Hz), um laser Nd:YAG (532nm, 200mJ) e esferas de vidro revestidas de prata ($dp = 10 \mu\text{m}$) como partículas traçadoras.

O fluido utilizado foi a água, cuja massa específica é $\rho = 997\text{kg/m}^3$ e viscosidade $\mu = 1,002 \cdot 10^{-3}\text{Pa}$, e o escoamento se dá sempre em regime permanente e turbulento, pois a velocidade de rotação foi fixada em 660 rpm, de modo que o número de Reynolds obtido é superior a $2 \cdot 10^4$. O posicionamento das câmeras foi de tal modo que o ângulo entre elas é de 30°, o que apesar de não ser usual, respeita o princípio de *Scheimpflug*,

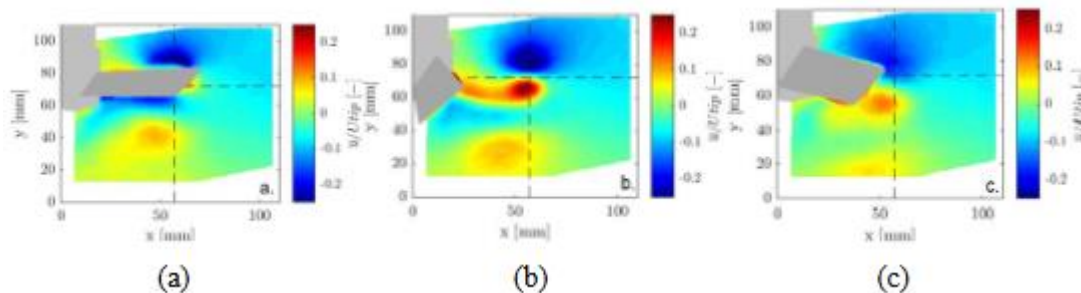
ou seja, a colinearidade entre os planos do objeto, da lente e da imagem, a fim de garantir o foco no plano do objeto, foi assegurada.

Foram registradas 1000 pares de imagens, em cada câmera, no modo *double-frame*, com tempo entre os frames de 100 μ s, garantido assim pela sincronização entre o laser e as câmeras por um microcontrolador. Além disso, para refinar e garantir acurácia nos resultados, as imagens passaram por diversos processamentos, todos realizados em MatLab©, em que diferentes algoritmos otimizaram a resolução das imagens, eliminaram ruídos e identificaram falsos vetores.

Resultados e discussões

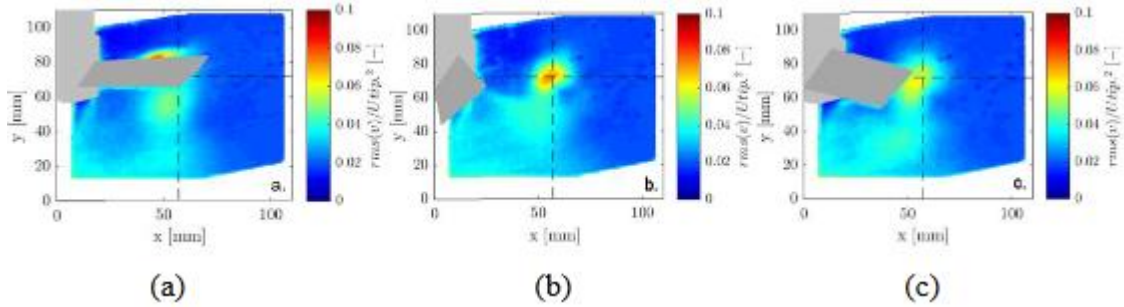
Através da análise de todas as imagens coletadas foi possível construir campos de velocidade de cada componente para cada ângulo resolvido. Desse modo, verificou-se que os maiores valores são observados na componente axial, enquanto os menores se encontram na componente tangencial. É fundamental dizer que em todos os casos há notável variação nas vizinhanças do impelidor, causadas por seu movimento, enquanto as velocidades tendem a se estabilizar conforme se distancia desta região. Isso pode ser comprovado pela análise da Figura 1, que mostra os campos da componente radial.

Figura 1: Campos de velocidade média radial (\bar{u}) normalizada pela velocidade na ponta do impelidor (U_{tip}) para os ângulos resolvidos de 0° (a), b. 30° (b) e 60° (c).



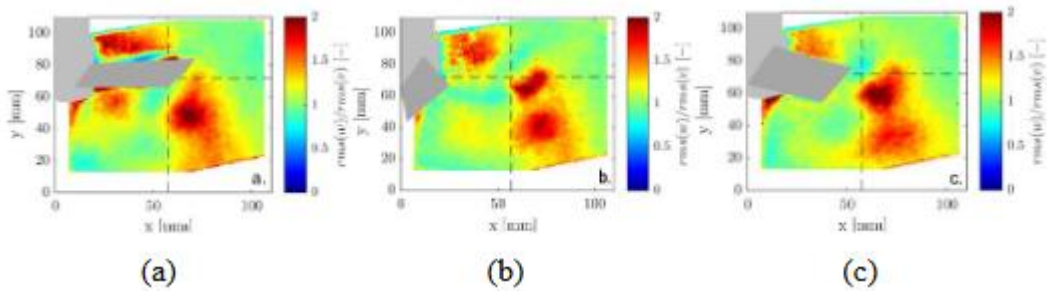
Foram construídos também os campos da raiz média quadrática de velocidade de cada componente, pois é necessário verificar a aplicabilidade da hipótese de pseudoisotropia, que é uma simplificação matemática, na qual a energia cinética turbulenta do escoamento passa a ser calculada somente pelas contribuições das componentes axial e radial, sendo que a componente tangencial é considerada igual a média aritmética das outras duas. A partir desses campos chegou-se à conclusão de que eles apresentam ordem de grandeza parecida, o que favorece tal simplificação matemática, porém nas proximidades do impelidor são notadas diferenças significativas nos valores das velocidades, principalmente devido à formação de vórtices, que fica mais proeminente para o ângulo resolvido de 30°. A Figura 2 mostra esses campos para a componente axial.

Figura 2: Campos da raiz média quadrática (rms) da componente de velocidade axial normalizada pela velocidade na ponta do impelidor (U_{tip}) para os ângulos resolvidos de 0° (a), 30° (b) e 60° (c).



Para enfatizar e esclarecer a proximidade entre as ordens de grandeza dos campos de flutuação da velocidade (rms) de cada componente, principalmente em relação à tangencial, pois é a aproximada pela pseudoisotropia, foram construídos campos da razão entre as componentes. Os resultados apresentados mostraram que a razão se distancia de 1, valor desejado, para regiões próximas do impelidor, ou para regiões de vórtice, conforme mostra a Figura 3, que compara as componentes tangencial e axial para cada ângulo resolvido.

Figura 3: Distribuição da razão entra a raiz média quadrática (rms) das componentes tangencial (w) e axial (v) para os ângulos resolvidos de 0° (a), 30° (b) e 60° (c).



Por fim, chegou-se à conclusão que na região analisada, próxima ao impelidor, não é recomendado a aplicação da hipótese de pseudoisotropia, desse modo os campos da energia cinética turbulenta (k) foram calculados conforme a Equação 1.

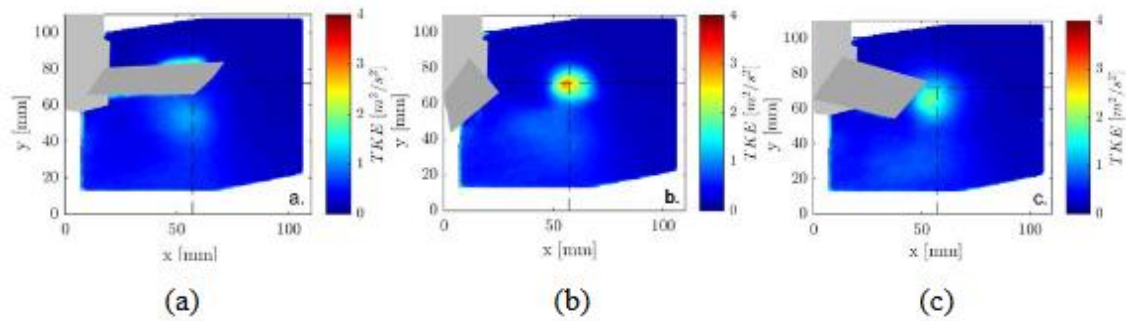
$$k = \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2) \quad (1)$$

Em que:

- k : é a energia cinética turbulenta do escoamento;
- \bar{u} : média da componente radial da velocidade
- \bar{v} : média da componente axial da velocidade;
- \bar{w} : média da componente tangencial da velocidade.

Os resultados são mostrados na Figura 4. É possível afirmar que não há grandes dispersões de energia ao longo do tanque, com exceção de pequenas regiões, que correspondem às proximidades do impelidor e para o vórtice (no caso de ângulo resolvido de 30°).

Figura 4: Distribuição da energia cinética turbulenta para os ângulos resolvidos de 0° (a), 30° (b) e 60° (c).



Conclusão

A aplicação da hipótese de pseudoisotropia, em geral, é uma simplificação matemática válida para construir campos de energia cinética turbulenta em tanques de agitação complexos, ou seja, aqueles que apresentam chicanas. Entretanto, ela deixa de ser viável para regiões de proximidade do impelidor. Além disso, deve-se avaliar também o nível de agitação do tanque e o ângulo resolvido utilizados.

Quanto aos ângulos resolvidos analisados, vale destacar que o de 30° foi o que apresentou maiores variações na velocidade, inclusive com formação clara de vórtice no centro, portanto é o que gera maior mistura. Em oposição tem-se o ângulo de 0°, no qual variações são notadas apenas na vizinhança do impelidor.