

ARRASTO DE PARTÍCULAS DIANTE DE VARIAÇÕES DE VELOCIDADE

Ronaldo do Espírito Santo Rodrigues

e-mail: ronaldo.nho@terra.com.br

Artigo elaborado a partir da dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 03/07/03.

Professor Orientador: Alwin Wilhelm Elbern

Keywords: *DPIV, LDV, particle drag, Venturi*

RESUMO

As modernas técnicas de medição de fluxo, mais especificamente, a Velocimetria Laser Doppler (VLD) e Velocimetria por Imagens Digitais de Partículas (VIDP), necessitam que partículas sejam dispersas no fluido em questão. Supõe-se que as partículas – denominadas de traçadoras ou marcadoras – acompanham o fluido. Então, bastaria conhecer o movimento das partículas e saber-se-ia, portanto, o movimento do fluido. Entretanto esta suposição precisa de um amadurecimento. É preciso saber sob que condições as partículas acompanham ou não o fluido, validando os métodos acima relatados. Este presente estudo analisará a influência do diâmetro da partícula e das variações espaciais da velocidade no acompanhamento ou não da partícula. Serão feitas medições com VLD e VIDP, sendo estas comparadas com uma simulação numérica feita com o software fluent.

1. INTRODUÇÃO

O estudo de fluidos tem utilizado técnicas de visualização. Por outro lado tem sido necessário um eficiente método de medição de vários parâmetros de interesse, tais como pressão, velocidade, vazão e assim por diante.

Na década de 60, com o desenvolvimento de lasers, um novo impulso foi dado na visualização e na medição em fluxos. Atualmente existem duas técnicas bastante difundidas: Velocimetria por Laser-Doppler e Velocimetria por Imagens Digitais de Partículas (VIDP). A primeira delas consegue efetuar medições de duas componentes ortogonais do vetor velocidade em um determinado ponto. A técnica VIDP consegue obter valores de velocidade em um plano instantaneamente podendo até efetuar medições em um volume. Diante disto, a VIDP tem ganho bastante espaço no meio acadêmico atualmente.

Nas duas técnicas citadas, é necessária a adição de partículas traçadoras (ou marcadoras). Parte-se do suposto que as partículas acompanhariam o fluido. Então bastaria, neste caso, acompanhar o movimento das partículas. Entretanto a literatura sobre o assunto [1] alerta para o fato que, em algumas situações, as partículas não conseguem acompanhar o movimento do fluxo. Este presente trabalho estudou a influência das dimensões de partículas no acompanhamento de fluxo diante de gradiente de velocidade, comparando resultados obtidos das técnicas LDV e PIV com simulação numérica desenvolvida no software FLUENT.

Todo o trabalho experimental foi executado no Laboratório de Mecânica dos Fluidos e Computacionais (LAMAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Este trabalho foi apresentado como dissertação de Mestrado do autor e apresentado do Congresso Internacional de Visualização de Fluxo, em Sorrento, Itália, no corrente ano.

2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

2.1 Classificação das partículas

O fluido adotado para estudo foi a água, dado a facilidade em obtê-la e de manuseá-la. O material das partículas traçadoras é polipropileno, de densidade $0,92 \text{ g/cm}^3$, bem próximo ao da água. Desta maneira o empuxo sofrido por estas, quando imersas em água, é pequeno suficiente e será desprezado. Estas têm formato irregular, como é apresentado na Figura 1. As partículas foram separadas conforme as suas dimensões, por peneiramento, utilizando valores da escala Tyler (mesh number). Estas foram classificadas em quatro tipos:

Classe de partículas (escala Tyler)	Diâmetros (μm)
Acima de 65#	Acima de 210
Entre 65# e 100#	Entre 210 e 149
Entre 100# e 200#	Entre 149 e 74

Tab. 1 – Classes de partículas

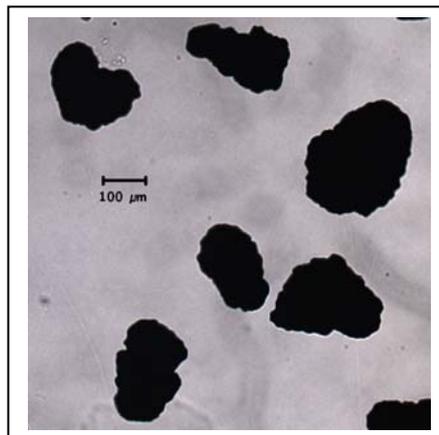


Fig. 1 – Partículas utilizadas na experimentação

A irregularidade na forma das partículas faz com estas tenham um movimento rotacional quando colocadas em fluido em movimento. Entretanto, avaliações da ordem de grandeza da energia cinética rotacional fornecem valores extremamente baixos se comparados com a energia cinética de translação da mesma. Ou seja, foi desprezada a rotação das partículas.

2.2 Bancada

Para produzir uma variação de velocidade, decidiu-se utilizar o perfil de Venturi. Uma foto deste perfil é apresentada na Fig.2 e as dimensões do mesmo na Fig.3. Quando o fluxo se encaminha para a região mais estreita, a velocidade do fluido aumenta, provocando a desejada variação de velocidade. A vazão foi mantida constante e a velocidade das partículas foi medida em quatro posições axiais. Tomando como origem um dos pontos de tomada de pressão, as posições foram $-50,0 \text{ mm}$, $-20,0 \text{ mm}$, $+50,0 \text{ mm}$ e $+150,0 \text{ mm}$, sendo que estes foram denominados de pontos I,

II, III e IV (Fig.3). Estes pontos foram escolhidos de maneira que se tivesse valores de velocidade antes, durante e depois do estreitamento. De II para III a velocidade do fluido aumenta e de III para IV a velocidade diminui.

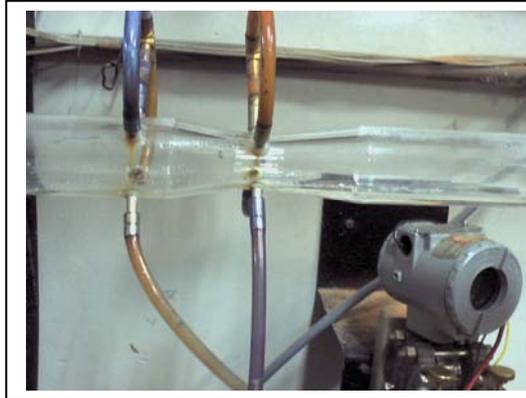


Fig.2 – Perfil de Venturi

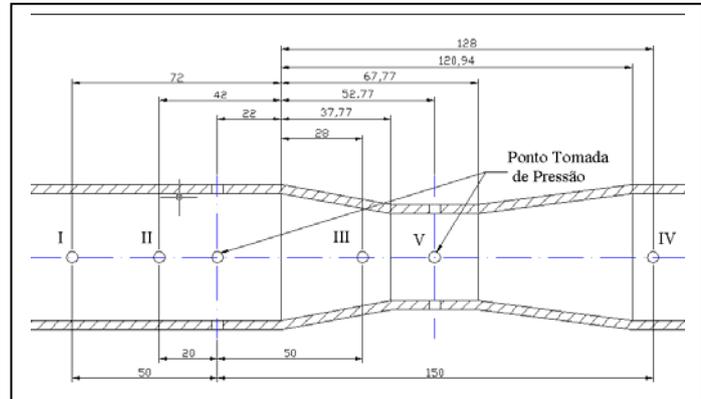


Fig. 3 – Perfil de Venturi e os pontos de medição (I, II, III e IV)

2.3 Técnicas de Medição

Para determinação da velocidade axial, experimentalmente, foram utilizados dois métodos: Velocimetria Laser Doppler (VLD) e Velocimetria por Imagens Digitais de Partículas (VIDP). Os dois métodos são comparados entre si. Estas duas técnicas foram aplicadas para as três classes de partículas da Tab. 1.

2.3.1. Velocimetria Laser Doppler (LDV)

Na década de 1960 foi desenvolvida a técnica de Velocimetria Laser Doppler aproveitando o fato de partículas em fluido dispersarem luz (dispersão Mie). Quando dois feixes coerentes, defasados entre si, se encontram, produz-se um padrão de interferência (claro-escuro). Quando uma partícula atravessa esta região, a frequência da luz dispersa que retorna para um sensor, depende da velocidade da partícula. Então, quanto maior a velocidade, maior a frequência do sinal luminoso. Este processo pode ser utilizado para descobrir velocidades ortogonais, ao longo de eixos perpendiculares, porque é possível produzir padrões de interferência ortogonais entre si, com comprimentos de onda diferentes.

O aparelho utilizado foi produzido pela DANTEC, com potência máxima 10W e comprimento de onda 514,5 nm (verde). Este comprimento de onda é utilizado para medições do componente do vetor velocidade (axial).

2.3.2. Velocimetria por Imagens Digitais de Partículas (DPIV)

A Velocimetria por Imagens de Partículas existe a bastante tempo. Inicialmente utilizava o tamanho rastro das partículas para a determinação da velocidade [1]. Com o desenvolvimento de tecnologias de captura de imagens digitais e de processadores a análise de imagens digitais teve avanços. Com a técnica de Lasers duplamente pulsados consegue-se resultados com resolução suficiente para estudos de finas estruturas do fluido. A técnica de determinação de rastros é

resgatada neste presente trabalho, fazendo um tratamento estatístico do histograma dos tamanhos traços. A idéia fundamental neste processo é selecionar somente os maiores rastros através de refinamento do histograma.

As imagens são tomadas perpendicularmente ao fluxo, como indica a Fig. 4. As partículas que se deslocam no fluido atravessam o volume (lâmina de Laser) e dispersão luz.

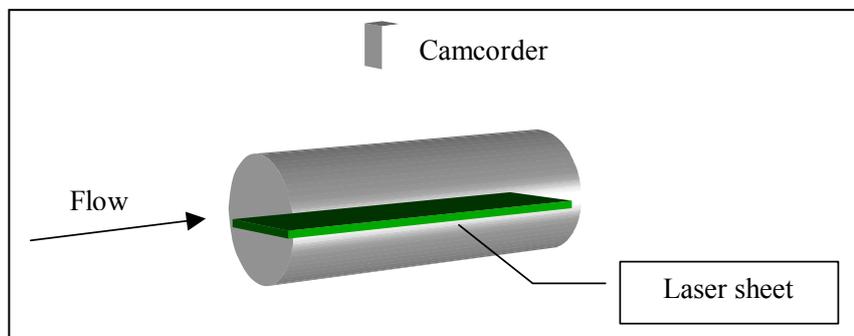


Fig. 4 – Captura de imagens em PIV

Inicialmente o filme é armazenado analogicamente e a digitalização é feita posteriormente utilizando uma placa digitalizadora de vídeo, externa, com acesso pela porta USB, cujo fabricante é Pinnacle Systems Inc, em arquivos de extensão AVI. Um software desmembra o fluxo de vídeo transformando as imagens em bitmaps (BMP). Estes são armazenados para análise. Através de refinamento no histograma dos maiores traços nas imagens, determina-se a velocidade média das partículas no intervalo de tempo da medição. O tempo utilizado para as medições foi de 1 minuto.

2.4. Simulação Numérica

Os resultados experimentais foram comparados com os resultados da simulação numérica efetuada com software FLUENT 6.1 (modelo k- ϵ padrão, axi-simétrico e segregado). Os parâmetros utilizados foram:

- $C_{\mu} = 0,09$
- $C_1 - \epsilon = 1,44$
- $C_2 - \epsilon = 1,92$
- $\sigma_K = 1$
- $\sigma_K = 1,3$

Estes valores são recomendados pela literatura pertinente [2].

A simulação numérica ocorreu com a utilização das facilidades, de software e de pessoal, do LAMAC () da Engenharia Mecânica (UFRGS).

2.5 Incertezas envolvidas

As incertezas foram quantificadas. No que diz respeito ao LDV, a incerteza é de um desvio padrão, enquanto que no PIV a incerteza está associada ao erro de quantização. Estas incertezas estão devidamente incluídas nas medidas apresentadas.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Simulação Numérica

Os valores encontrados para cada um dos pontos ao longo do eixo do tubo de Venturi foram:

Ponto de medição	v (m/s)
I	1,57
II	1,57
III	2,38
IV	2,00

Tab.2 – Velocidades axiais no tubo de Venturi – Simulação Numérica

3.2. Medição LDV

Os valores das medições feitas com LDV, para as três classes de partículas que constam da Tabela 1, são apresentados na Tabela 3:

Ponto\Partícula	100#-200# v(m/s)	65#-100# v(m/s)	Acima de 65# v(m/s)
I	1,45±0,08	1,47±0,09	1,47±0,09
II	1,49±0,08	1,48±0,08	1,46±0,08
III	2,33±0,08	2,32±0,07	2,34±0,08
IV	1,81±0,08	1,82±0,08	1,76±0,08

Tab.3 – Velocidades para as diferentes partículas segundo a técnica LDV

3.3. Medição PIV

Os valores da medição PIV foram:

Ponto\Partícula	100#-200# v(m/s)	65#-100# v(m/s)	Acima de 65# v(m/s)
I	1,30±0,18	1,50±0,19	1,49±0,19
II	1,44±0,19	1,51±0,19	1,48±0,19
III	2,09±0,16	2,24±0,18	2,15±0,17
IV	1,62±0,19	1,89±0,21	1,83±0,20

Tab.4 - Velocidades para as diferentes partículas segundo a técnica PIV

4. CONCLUSÕES

4.1. Comparação entre as técnicas de medição

Através da análise das Tabelas 3 e 4, levando em consideração as incertezas envolvidas, os resultados obtidos através das técnicas PIV e LDV tiveram concordância. A Figura 3 mostra um exemplo desta concordância, para as partículas entre 100# e 200#.

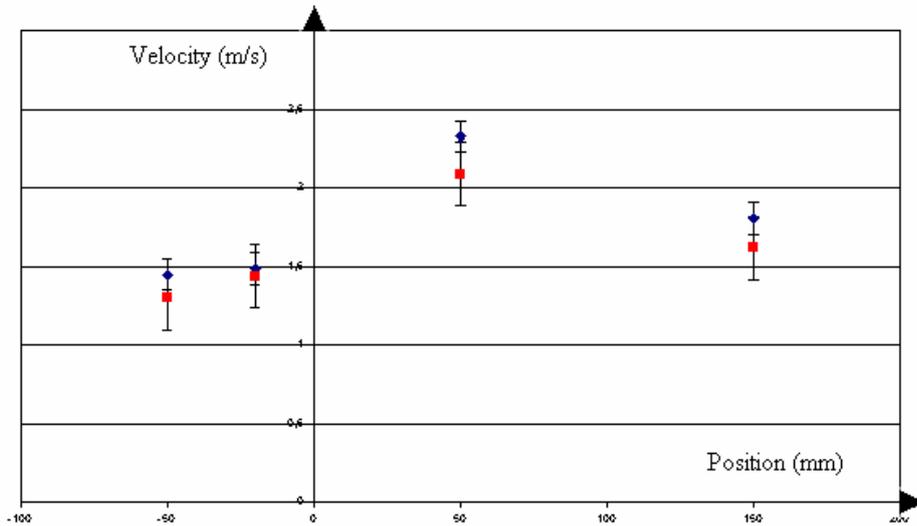


Fig.5 – Velocidade em função da posição – Partículas entre 100# e 200# - Laser Doppler (azul) e por imagens (vermelho)

4.2. Comparação entre os Valores obtidos pela Simulação Numérica e os resultados experimentais

Assumindo que a simulação numérica apresenta resultados relativos ao movimento do fluido e que os resultados experimentais mostram o comportamento das partículas, observa-se que há uma diferença significativa nos valores, principalmente no IV. As Figuras 4 e 5 mostram gráficos da velocidade em função do tempo, da simulação numérica e dos resultados experimentais nas duas técnicas empregadas (LDV e PIV). Na Fig. 6 é apresentado o gráfico da posição em função da velocidade (LDV) em função da posição ao longo do eixo do tubo Venturi, com os resultados numéricos em destaque, através de um quadrado de tamanho maior que os outros pontos.

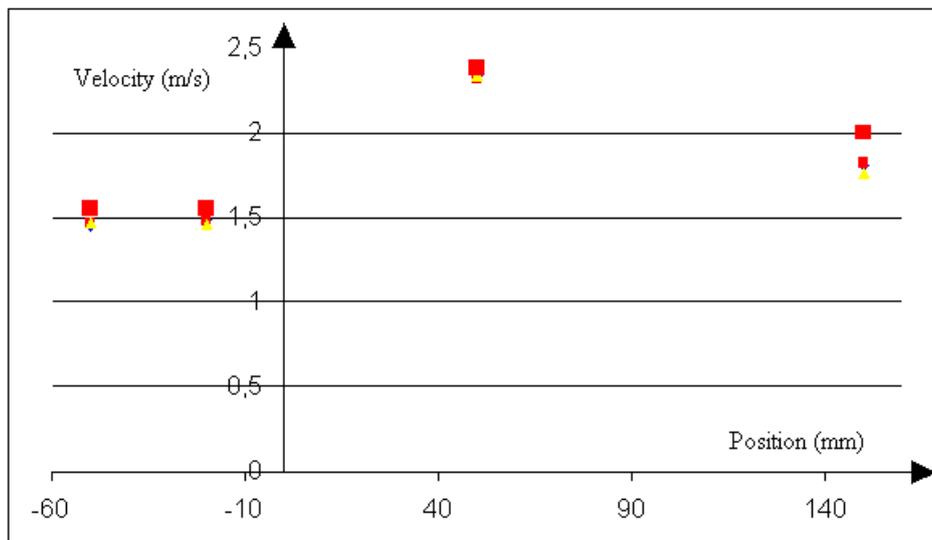


Fig. 6 – Velocidade em função da posição – LDV e simulação numérica

De fato, o ponto IV é o que apresentou a maior diferença, tanto contrastando valores com LDV ou PIV. Calculando o gradiente médio do módulo da velocidade axial ($\Delta v/\Delta x$), para os intervalos entre os pontos II –III e III-IV, verifica-se que no primeiro intervalo os gradientes são aproximadamente iguais (12 m/s/m) e no segundo os gradientes do fluido e das partículas são diferentes. Enquanto que no fluido o gradiente médio foi de $-3,80$ m/s/m, para as partículas os valores ficaram em torno de -5 m/s/m (LDV) e -4 m/s/m (PIV).

Em resumo:

- a) Analisando as Figuras 3, 4 e 5, percebe-se uma concordância entre os valores experimentais obtidos pelas duas técnicas (LDV e PIV)
- b) Não se observou diferença significativa entre as medidas de velocidade, ao longo do tubo, entre as três classes de partículas.
- c) Através da análise dos gráficos das Figuras 6 e 7 percebe-se que há uma diferença entre a simulação numérica e os valores experimentais, principalmente no que diz respeito ao ponto IV.
- d) Pode-se, então afirmar que apesar das partículas terem sofrido um gradiente na velocidade entre II e III, este foi praticamente igual ao do fluido, indicando que estas, neste trecho, acompanharam as variações impostas pelo fluido. O mesmo não se pode dizer entre o trecho III – IV, onde o gradiente observado foi, em módulo, maior que o do fluido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adrian, R.J. Multi-point optical measurements of simultaneous vectors in unsteady flow – a review. *Int. J. Heat & Fluid Flow*, v.7, n.2, p.127-145, June 1986.
2. B. E. Launder and D. B. Spalding. The Numerical Computation of Turbulent Flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3:269-289, 1974.