

ESTUDO DE UM ALIMENTADOR CICLÔNICO PARA PIV.

Marcel Amaro e Andrade de Morais Souza e Silva

marcel.amaro@gmail.com

Resumo. O presente trabalho apresenta o estudo de um alimentador ciclônico para auxiliar medições por método Particle Image Velocimetry (PIV). Tal alimentador deve ser capaz de gerar um escoamento com comportamento ciclônico em seu interior e garantir um fluxo de partículas traçadoras sólidas para serem utilizadas em bancadas de testes. Para isto, o texto apresenta um modelo em CAD e sua simulação em CFD, para avaliar o comportamento do escoamento em seu interior. Este modelo é baseado em uma aplicação que utiliza partículas traçadoras líquidas e adaptado para operar com partículas sólidas, resultando em medições de melhor qualidade.

Palavras chave: Partículas (Física nuclear), Mecânica dos fluidos computacional, Instrumento óptico

1. Introdução

Métodos de medição óptica são muito usados em diversas aplicações devido à sua propriedade pouco intrusiva, ou seja, possibilidade de medir campos de velocidades em escoamentos com mínima interferência no mesmo. Dentre esses métodos, destaca-se o método Particle Image Velocimetry (PIV), que faz uso de partículas traçadoras para a obtenção de campos de vetores em duas dimensões.

Na obtenção de imagens de melhor qualidade e conseqüentemente de medições mais precisas, é dada importância à escolha adequada das partículas traçadoras. Baseando-se em um alimentador do tipo bocal Laskin, as propriedades construtivas do mesmo serão usadas como base a fim de reduzir as modificações em bancadas de testes.

O modelo será considerado satisfatório se, ao final da simulação, for observado o comportamento ciclônico do escoamento de ar no interior do alimentador. Considerando que as partículas traçadoras possuem densidade muito próxima à do ar, é possível assumir-se que o escoamento é capaz de carregar as partículas depositadas no alimentador, deste modo sendo o comportamento das partículas efetivamente avaliado.

2. Revisão Bibliográfica

O funcionamento do método Particle Image Velocimetry será explicado, onde será dada ênfase na influência das partículas traçadoras. Depois será feito um comparativo entre partículas traçadoras líquidas e sólidas.

2.1. Método Velocimetria por Imagem de Partículas (PIV)

Particle Image Velocimetry (PIV), ou Velocimetria por Imagem de Partículas, é um método de medição óptica que permite a captura de perfis instantâneos de velocidades através do rastreamento de partículas presentes no fluido. Este método já existe há mais de 20 anos, e deriva de métodos como Laser Speckle Velocimetry (LSV) e Laser Doppler Velocimetry (LDV) (Adrian et al, 2004). Características importantes deste método são (Raffel et al, 2007):

- Propriedade pouco intrusiva, que permite o uso em escoamentos com ondas de choque ou camadas limites próximas a paredes, evitando o uso de tubos de Pitot ou outros tipos de métodos intrusivos;
- Medição de velocidade indireta através de partículas traçadoras (adicionadas ou já presentes no escoamento), assumindo que as partículas foram selecionadas de modo que só causem pequena interferência ao escoamento dentro de uma certa margem;
- Medição do campo completo e não apenas medições pontuais, como na maioria dos métodos de medição, por exemplo Laser Doppler Velocimetry (LDV).

Aplicações para este método vão desde o estudo em túneis de vento e de motores de combustão interna (Meyden, 2009; Yamakawa, 2003) até componentes biomecânicos (Ferrara, 2010).

2.2. Configuração

Uma instalação de medição em PIV consiste de uma câmera, um laser de alta potência e um arranjo óptico para converter a luz do laser em um plano iluminado, como pode ser observado na Fig. (1). Partículas traçadoras são iluminadas em um plano do escoamento ao menos duas vezes dentro de um pequeno intervalo de tempo conhecido. A luz refletida pelas partículas traçadoras é capturada pela câmera para análise de correlação.

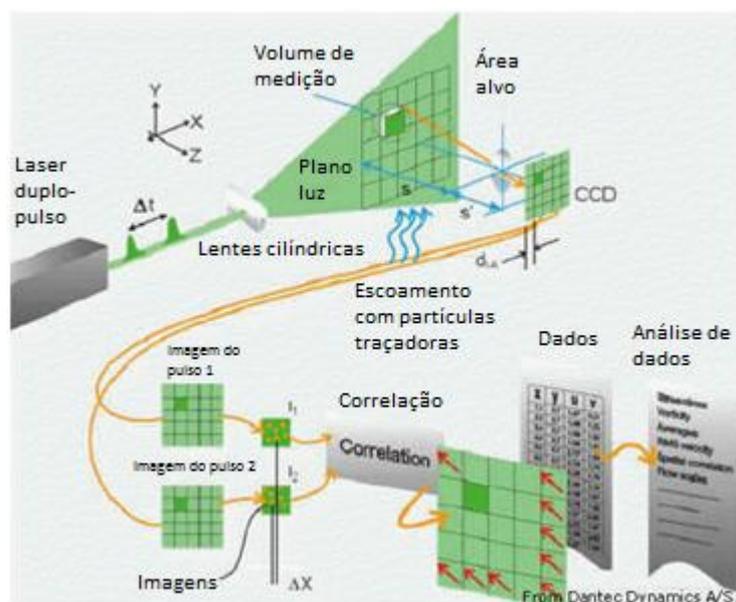


Figura 1. Esquema de funcionamento de medições pelo método PIV (Meyden, 2009).

As imagens são divididas em diversas subáreas chamadas “áreas de interrogação”, onde pode ser assumido que as partículas se moveram homoganeamente entre as duas iluminações. Levando em conta o tempo entre as duas imagens e certa deformação dessas áreas de interrogação, as mesmas são correlacionadas através de softwares computacionais como PIVview© e o campo de velocidades pode então ser gerado.

A qualidade da imagem é influenciada basicamente por três parâmetros:

- Fonte de iluminação;
- Câmera;
- Partículas traçadoras.

Dentre os fatores que determinam a qualidade da medição obtida, os dois primeiros serão descritos, e então será dada ênfase às partículas traçadoras.

2.3. Fonte de iluminação

Lasers são comumente usados devido a sua habilidade de emitir luz monocromática com uma alta densidade de energia. Características desejáveis em lasers para PIV são:

- Energia por pulso mais alta possível (consequentemente mais luz refletida);
- Compatibilidade entre luz emitida e margem de comprimentos de onda detectados pela câmera;
- Habilidade do laser de emitir dois pulsos sucessivos dentro de um curto e regulável intervalo de tempo.

2.4. Câmera

Os sensores frequentemente usados em câmeras digitais são Charged Coupled Device (CCD) e Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS). O sensor CCD converte luz (fótons) em carga elétrica (elétrons), portanto o sinal é convertido de analógico para digital. O sensor CMOS utiliza, para cada pixel, diversos transistores para amplificar e transportar a carga através de fios, ou seja, deste modo o sinal já é digital. Ainda que as imagens de uma câmera com sensores CCD sejam de melhor qualidade que as de uma câmera com sensores CMOS, câmeras com sensores CMOS são mais adequadas para imagens em alta velocidade (Hain et al, 2007).

2.5. Partículas traçadoras

O papel das partículas traçadoras é fundamental no funcionamento adequado do método PIV. É a luz refletida pelas partículas em cada iluminação e capturada pela câmera nas imagens que será utilizada para correlação em computador e resultará nos campos vetoriais correspondentes.

É importante que as partículas sejam adicionadas ao escoamento de uma forma homogênea. A influência do tamanho e do modo de alimentação é discutida a seguir.

2.5.1. Tamanho

O tamanho das partículas possui grande importância para o resultado. Aumentar o tamanho das partículas aumenta a reflexão de luz; ao passo que reduzi-lo aumenta sua propriedade de acompanhar o escoamento. Além disso, as partículas devem possuir a mesma densidade (ou mais próxima possível) da densidade do fluido estudado, reduzindo o

erro entre a velocidade local da partícula e do escoamento. O velocity lag, definido como a diferença entre a velocidade da partícula e a velocidade local, pode ser derivado da lei de Stokes e é definido como (Raffel et al, 2007):

$$U_s = d_p^2 \frac{\rho_p - \rho_f}{18\mu} a \quad (1)$$

onde d_p é o diâmetro da partícula, ρ_p e ρ_f são as densidades da partícula e do fluido, μ é a viscosidade dinâmica e a é a aceleração local; e assumindo partículas esféricas em um fluido viscoso sob baixo número de Reynolds. Para garantir um bom acompanhamento das partículas com o fluido, o velocity lag deve ser baixo.

A difração também desempenha um papel importante na qualidade das imagens. A luz refletida por uma partícula pequena não aparece como um ponto na imagem, mas forma um padrão de difração de Airy (Raffel et al, 2007). O diâmetro d_{diff} , que é o menor diâmetro possível para uma dada configuração, é dado por:

$$d_{diff} = 2.44f_{\#}(1 + M)\lambda \quad (2)$$

onde $f_{\#}$ é a razão entre a distância focal e o diâmetro de abertura da câmera, M é a ampliação e λ é o comprimento de onda do laser.

Portanto, o diâmetro da partícula d_i é definido como (Raffel et al, 2007):

$$d_i = \sqrt{(Md_p)^2 + d_{diff}^2} \quad (3)$$

2.5.2. Alimentação com partículas líquidas

Usualmente, a alimentação de partículas líquidas é feita através de nebulizadores como o bocal Laskin. O bocal Laskin consiste de um tubo cilíndrico imerso em um recipiente preenchido com óleo, através do qual ar pressurizado é injetado; sendo que o tubo possui quatro furos posicionados transversalmente. O ar pressurizado cria no óleo pequenas bolhas contendo partículas finamente atomizadas devido à força cisalhante entre o ar e o metal. As bolhas explodem na superfície e liberam as partículas de óleo no escoamento. O fluxo de geração de partículas pode ser aumentado utilizando vários bocais Laskin em um mesmo reservatório.

2.5.3. Alimentação com partículas sólidas

Para alimentação de partículas sólidas, geralmente são utilizados alimentadores ciclônicos ou leitos fluidizados (Melling et al, 1997). Nos leitos fluidizados, as partículas sólidas são depositadas no alimentador e, através de um fluxo de ar, são suspensas. No entanto, as partículas tendem a se agregar devido a fatores como umidade do gás e das partículas e conseqüentemente há variação no tamanho das partículas. Além disso, partículas extremamente secas podem diminuir a dispersão devido a forças eletrostáticas.

Em alimentadores ciclônicos como ilustrado na Fig. (2), as partículas sólidas estão presentes no fundo do alimentador enquanto ar sob alta pressão é injetado em ângulo, rente à parede, para gerar um efeito de ciclone e induzir o fluxo de partículas pelo centro do ciclone. Uma vantagem do alimentador ciclônico em comparação com o alimentador de leito fluidizado é a redução da aglomeração das partículas, gerando então um fluxo de partículas com diâmetros mais constantes.

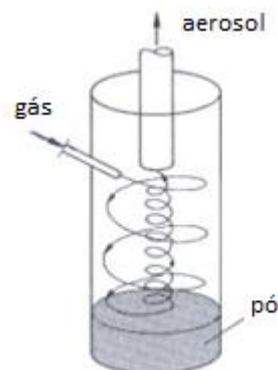


Figura 2. Alimentador ciclônico.

Outros modos de alimentação de partículas sólidas como o spark discharge generator e o dispersor ultrassônico existem, porém com funcionamento mais complexo e restritos tipos de aplicações.

2.5.4. Comparação entre partículas líquidas e sólidas

Fisicamente, partículas sólidas são difíceis de dispersar devido a forças eletrostáticas e tendem a se aglomerar, enquanto partículas líquidas tendem a evaporar rapidamente. Partículas líquidas possuem a vantagem de uma razão de produção mais constante do que se é possível com partículas sólidas; no entanto, podem se depositar em janelas em escoamentos internos e formar uma camada de filme que pode causar distorção por refração e comprometer ou até inviabilizar a captura de imagens, enquanto que com partículas sólidas esse efeito é pouco impactante. Em escoamentos com chamas e sob altas temperaturas, partículas sólidas não-voláteis são essenciais (Melling et al, 1997).

Microbalões de acrilonitrila Expancel 551 DE 40 com diâmetro de 40 μm apresentam precisão no acompanhamento do escoamento de mais de 95% para ar a pressão e temperatura padrão. Além disso, geram aproximadamente 100 vezes a eficiência de luz refletida de partículas de óleo de 2 a 3 μm (Towers et al, 2004).

As Tab. (1) e Tab. (2) mostram comparativos entre diversos materiais para partículas traçadoras (Melling et al, 1997).

Tabela 1. Comportamento de partículas em escoamento turbulento.

Partícula	ρ_p (kg m^{-3})	Gas (10^5 Pa)	Razão de Densidade	Viscosidade ν ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)	f_c (kHz)	Sk_c	d_p (μm)
TiO ₂	3500	Ar (300 K)	2950	1.50×10^{-5}	1 10	0.0295	1.44 0.45
Al ₂ O ₃	3970	Chama (1800 K)	20250	3.00×10^{-4}	1 10	0.0113	2.46 0.78
Vidro	2600	Ar (300 K)	2190	1.50×10^{-5}	1 10	0.0342	1.67 0.53
Óleo de oliva	970	Ar (220 K)	617	1.45×10^{-5}	1 10	0.0645	3.09 0.98
Microbalões	100	Ar (300 K)	84.5	1.50×10^{-5}	1 10	0.1742	8.50 2.69

Tabela 2. Partículas traçadoras em escoamento gasoso.

Material	d_p (μm)	Laser	Energia, tempo (pulso)	Plano iluminado		Referência
				w (mm)	t (mm)	
TiO ₂ ($m = 2.6$, $\rho = 3500 \text{ kg m}^{-3}$)	<1	Nd:YAG	10 mJ, 20 ns	15	0.3	Reuss <i>et al</i> (1989)
TiO ₂ , ZrO ₂	0.7–1	Nd:YAG	110 mJ, 12 ns			Paone <i>et al</i> (1996)
Al ₂ O ₃ ($m = 1.76$, $\rho = 3970 \text{ kg m}^{-3}$)	0.3	Nd:YAG	400 mJ		0.2	Muniz <i>et al</i> (1996)
	3	Nd:YAG	9 mJ, 6 ns			Anderson <i>et al</i> (1996)
	0.8	Ruby	20 ns	150	≈ 1	Krothapalli <i>et al</i> (1996)
Policristalino	30	Nd:YAG	135 mJ, 6 ns			Grant <i>et al</i> (1994)
Vidro	30	Ruby	30 mJ, 30 ns			Schmidt and Löffler (1993)
Fumaça (óleo)	1	Ruby	5 J			Stewart <i>et al</i> (1996)
Óleo de milho	1–2	Nd:YAG	100 mJ			Jakobsen <i>et al</i> (1994)
Óleo	1–2	Nd:YAG	120 mJ		0.4	Westerweel <i>et al</i> (1993)
Óleo de oliva ($m = 1.47$, $\rho = 970 \text{ kg m}^{-3}$)	1.06	Nd:YAG	70 mJ, 16 ns	200	0.5	Höcker and Kompenhans (1991) Fischer (1994) Raffel <i>et al</i> (1996)

3. Determinação do modelo construtivo

Após o conceito ter sido definido, um modelo geométrico deve ser desenvolvido para dar início à simulação do escoamento em seu interior. O mesmo será baseado em um bocal Laskin existente em uma bancada de estudos da Eindhoven University of Technology, nos Países Baixos (Meyden, 2009), deste modo necessitando de poucas mudanças na bancada.

Esta bancada consiste em um cilindro de um motor de veículo pesado baseado em um motor Ricardo Proteus e um cabeçote de caminhão DAF MX. Visa analisar o escoamento de ar no interior do cilindro pelo método PIV para implementação do ciclo de combustão Premixed Charge Compression Ignition (PCCI), um misto de sistema de ignição por faísca (Otto) e ignição por compressão (Diesel) que tem por objetivo diminuir a emissão de NOx e particulado.

O modelo desenvolvido é similar ao da Fig. (3), com a relação altura-diâmetro entre 1,5 e 2 e diâmetro interno de cerca de 100mm, como sugerido em contato com o Prof. David Towers, da School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, de Edimburgo, Escócia.

3.1. Desenho em CAD

O modelo é gerado em SolidWorks© para análise de viabilidade de construção e ilustração do conceito, portanto os desenhos procuram ser de forma mais realista possível. Como o modelo é baseado em um bocal Laskin já existente (Meyden et al, 2009), as áreas de fixação do dispositivo na bancada, o material (aço carbono SAE 1020) e a espessura do núcleo são os mesmos do bocal, já que são parâmetros secundários e a princípio não interferem no resultado. Os diâmetros dos tubos de entrada e saída são compatíveis com as mangueiras da bancada de testes, e não são variados para não introduzir no escoamento vórtices adicionais e perdas de carga.

As dimensões principais (altura, diâmetro e ângulo do tubo de entrada) são escolhidas de modo a obter um modelo genérico e intermediário; estudos podem ser feitos variando esses parâmetros para avaliar suas contribuições. A Tab. (3) detalha as dimensões principais do modelo e a Fig. (3) mostra uma vista explodida do modelo.

Tabela 3. Dimensões principais do modelo.

Dimensão	Valor
Altura do núcleo	160 mm
Diâmetro interno	100 mm
Ângulo do tubo de entrada	25° (em relação à horizontal)
Diâmetro interno do tubo de entrada	2 mm
Diâmetro interno do tubo de saída	7,5 mm

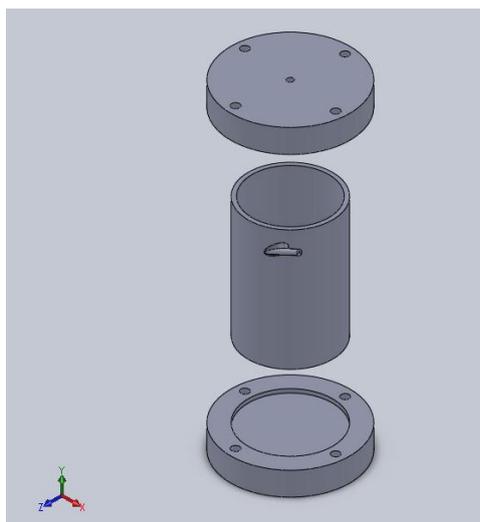


Figura 3. Desenho do protótipo (vista explodida).

As mangueiras são rosqueadas nos tubos de entrada e saída, que conectam um compressor de ar comprimido e a entrada da bancada de testes respectivamente. O dispositivo é fixado pelas tampas na bancada usando parafusos e porcas.

4. Simulações

4.1. Simulação ilustrativa

Após a geometria ter sido concebida no software SolidWorks©, a ferramenta FloXpress é utilizada para dar uma idéia ilustrativa de como se comportaria o escoamento. A ferramenta FloXpress é simples, user-friendly e requer pouco tempo computacional, mas seus resultados não são confiáveis como os de uma simulação CFD.

As únicas condições de contorno requeridas são temperatura e pressão na entrada e a pressão na saída; parâmetros que sozinhos deixam a simulação muito pobre. O resto da geometria é considerado como parede, e transferência de calor é suposta desprezível.

As condições definidas são pressão de 2 bar e temperatura de 293 K na entrada, e pressão de 1 bar na saída. A simulação de fato não apresenta fatos conclusivos e confiáveis, mas já mostra evidências de um comportamento ciclônico do escoamento.

4.2. Simulação em CFD

Uma vez que o projeto do alimentador está definido, é feita sua simulação em Computational Fluid Dynamics (CFD). Isto é realizado para analisar em detalhes o escoamento no interior do alimentador e avaliar suas propriedades antes da construção de um protótipo, deste modo otimizando o projeto. As etapas da simulação são: criação da malha, realização da simulação e análise dos resultados. Estas etapas se repetem até ser obtida precisão suficiente dos resultados.

4.2.1. Software

O software Fluent©, da Ansys, é capaz de modelar escoamentos, turbulências e transferência de calor em aplicações como escoamento de ar sobre perfis de asa, combustão em fornalhas, fluxo sanguíneo, entre outros (Ansys Brochure, 2010). Fluent utiliza o método dos volumes finitos para as simulações. O método dos volumes finitos é um método discreto, o que é adequado para simulações numéricas com vários tipos de leis de conservação como massa, momento e energia.

Para criação de malhas, é utilizado o software Gambit©, que possui simples interface e malhas exportáveis para softwares CFD. Apesar de simples e rápido na geração das malhas, a criação de geometrias muito complexas pode ser um desafio. Além disso, geometrias importadas de softwares CAD podem precisar ser corrigidas no Gambit, já que frequentemente a continuidade dos contornos não se mantém.

4.2.2. Malha

Assumindo que as partículas possuem densidade muito próxima à do ar, é feita a simplificação de apenas escoamento de ar no interior do domínio.

Inicialmente, uma malha grosseira é desenvolvida para avaliação dos resultados iniciais; apesar destes resultados ainda não serem precisos, necessitam de menos tempo computacional. Posteriormente, são desenvolvidas malhas mais refinadas até poder ser concluído dos resultados que o refinamento da malha não interfere mais nos resultados, ou ao menos não interfere dentro de certa margem de tolerância. Quanto mais refinada a malha, melhores os resultados; no entanto mais tempo computacional é necessário. Características das malhas podem ser observadas na Tab. (4). A malha mesh-2 pode ser observada na Fig. (4).

Devido à geometria e assimetria do modelo, são utilizadas malhas triangulares nas faces e malhas tetraédricas nos volumes. O tubo de entrada é separado do resto da geometria e as malhas são geradas separadamente; no entanto, a face em comum entre ambos mantém a malha globalmente homogênea. As faces foram geradas utilizando o método Tri/Pave e os volumes utilizando o método TGrid. As malhas mesh-1 e mesh-2 possuem funções associadas, com o objetivo de se obter malhas mais refinadas nos tubos de entrada e saída (regiões críticas).

Tabela 4. Características das malhas.

Propriedade	Mesh-0	Mesh-1	Mesh-2
Número de elementos	365.000	525.000	1.000.000
Número de elementos no tubo de entrada	11.000	11.000	63.000
Iterações	2.300	4.700	7.300
Horas computacionais	3	10	35

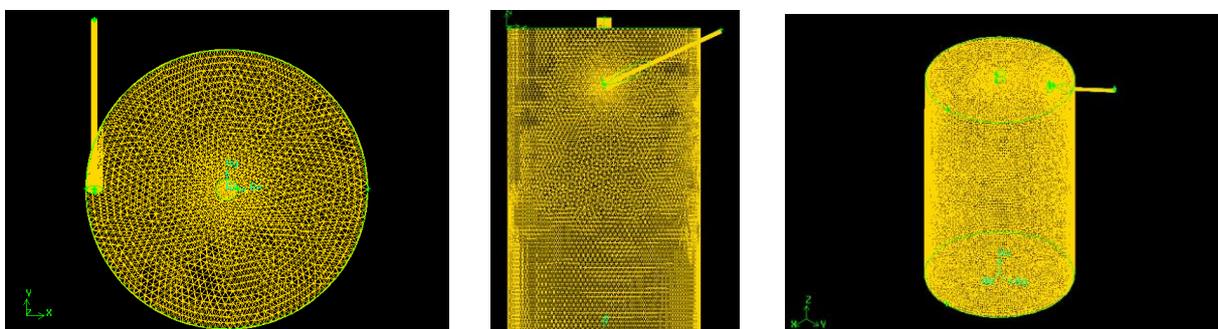


Figura 4. Diferentes vistas da malha.

4.2.3. Simulação no Fluent

No Fluent, um solucionador baseado na pressão é usado baseado em um esquema Green-Gauss node-based, já que este é mais adequado do que o padrão esquema baseado em células para malhas triangulares e tetraédricas (Fluent User's Guide, 2003); também é utilizado o modelo de turbulência realizable k-epsilon, que apresenta resultados satisfatórios para modelos onde o gradiente de pressões não é muito alto. É um modelo de duas equações, o que

significa que inclui duas equações de transporte extras para representar as propriedades turbulentas do escoamento. Isso permite que um modelo de duas equações leve em conta efeitos históricos como convecção e difusão de energia turbulenta. As condições de regime permanente e esquema de discretização de upwind de segunda ordem (escoamento contra o fluxo) são também utilizados.

As condições de contorno na entrada são de pressão de 2 bar e temperatura de 300 K, e na saída pressão de 1 bar e temperatura de 300 K; o cálculo é iniciado a partir de todas as células. Energia cinética turbulenta é estabelecida em $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e sua taxa de dissipação é definida como $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$, como definições padrão. Todas as outras faces são consideradas como paredes, e não há troca de calor. A convergência é atingida quando os resíduos ficam abaixo de 10^{-3} .

4.3. Resultados

A Fig. (5) apresenta o perfil de velocidades no eixo Z através de um corte transversal na saída, enquanto a Fig. (6) mostra o perfil de velocidades no eixo Z em uma seção transversal 70 mm acima do fundo do cilindro. Pela Fig. (5) observam-se velocidades de até 27 m/s, e sua distribuição não-uniforme é devido ao ângulo de saída do escoamento causado pela vorticidade logo abaixo, como pode ser visto na Fig. (7).

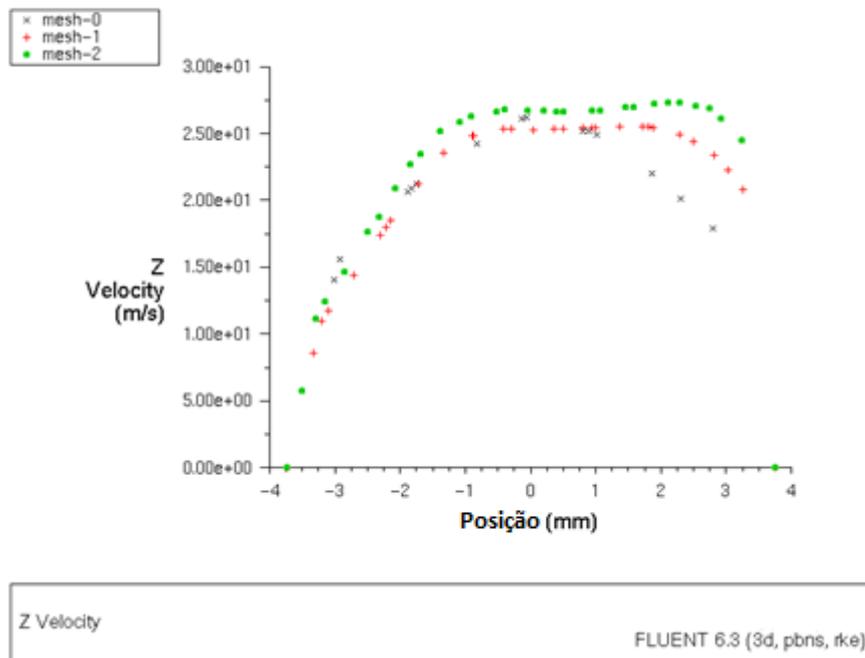


Figura 5. Perfil de velocidades na saída.

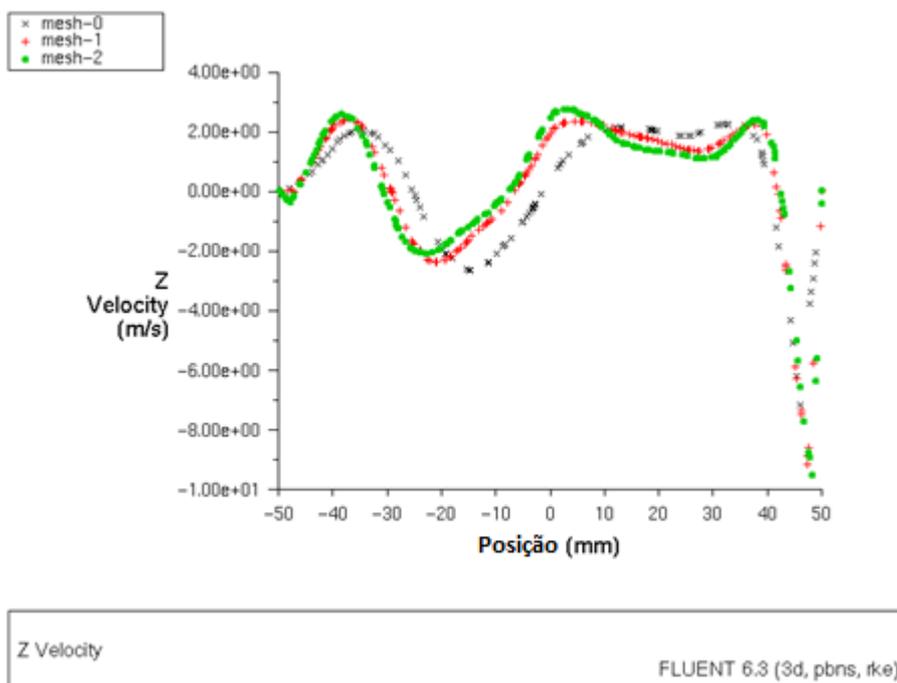


Figura 6. Perfil de velocidades a 70 mm acima do fundo.

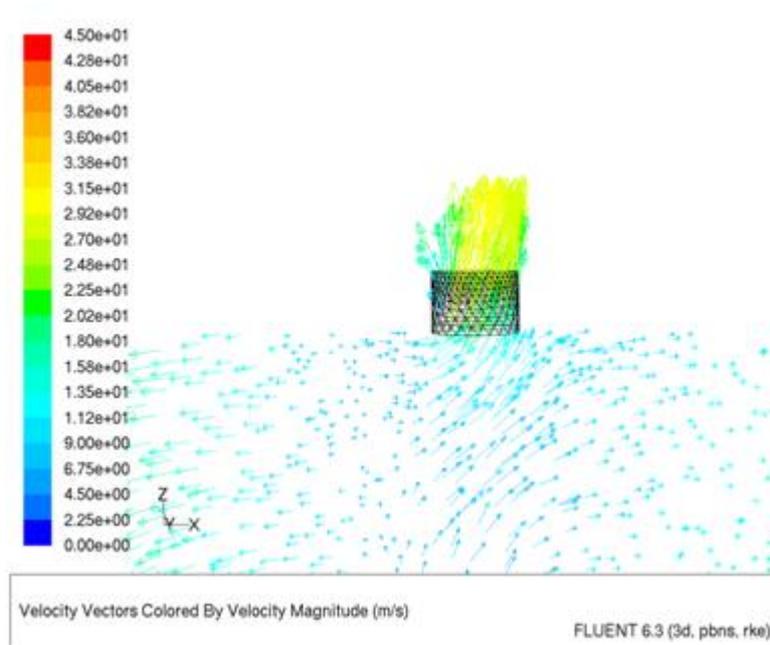


Figura 7. Campo de velocidades na saída.

A Fig. (5) e a Fig. (6) apresentam comparações entre as três malhas. Pode ser concluído que a malha *mesh-2* já é suficiente para resultados satisfatórios, já que as malhas *mesh-1* e *mesh-2* seguem um mesmo padrão com desvio inferior a 10%.

A Fig. (6) também mostra variações de velocidades positivas e negativas, causado pelos vórtices na região central. Por volta do centro há picos de 3 m/s, enquanto no lado direito há picos de -10 m/s, principalmente por causa da circulação com comportamento ciclônico.

Na Fig. (8) pode ser observado que o comportamento ciclônico esperado é obtido com sucesso. Este campo de velocidades em uma seção transversal ao cilindro mostra o comportamento do escoamento.

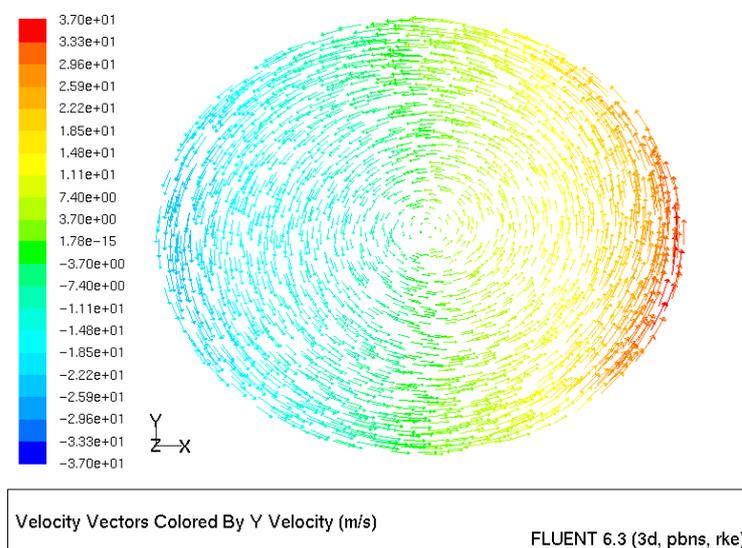


Figura 8. Campo de velocidades em uma seção transversal do cilindro.

A Fig. (9) representa o campo de velocidades em um corte paralelo ao eixo Z. Podem ser observados diversos vórtices na região central, o que pode explicar as variações no perfil de velocidades de seções transversais paralelas ao fundo do cilindro (como na Fig. (6)). A Fig. (10) apresenta uma vista global do escoamento no interior do alimentador.

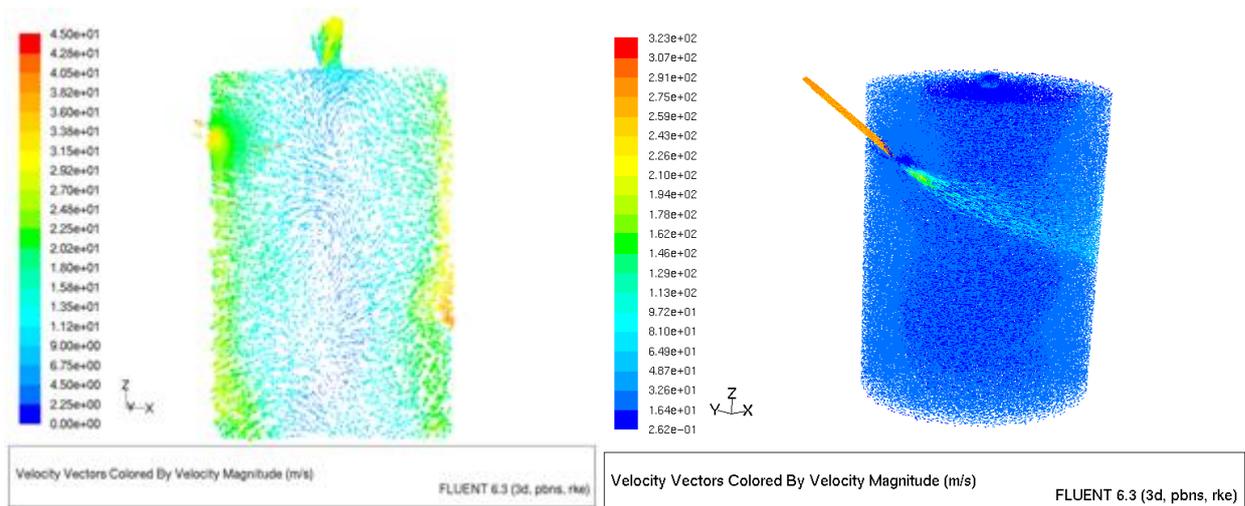


Figura 9. Campo de velocidades em seção paralela ao eixo Z e Figura 10. Vista global do escoamento.

4.4. Proposta de melhoria

Um importante ponto a ser levado em consideração é se as partículas traçadoras serão, de fato, transportadas pelo escoamento no interior do alimentador. Para tanto, o ar no seu interior deve possuir velocidade suficiente para que tal transporte ocorra. Além disso, o fundo do alimentador é uma região crítica, pois possui cantos onde o material traçador pode aglutinar-se, diminuindo a eficiência do dispositivo.

Portanto uma alternativa foi desenvolvida com o intuito de reduzir estes efeitos. A estrutura externa é a mesma da solução proposta anteriormente, porém o fundo possui um formato abaulado com 25 mm de raio. A figura 11 mostra a malha desenvolvida e uma comparação das velocidades na estrutura antes e depois da melhoria proposta, em um plano paralelo ao fundo do alimentador, a uma distância de 5 mm do mesmo.

Em um primeiro momento nota-se que o diâmetro nesta posição será de 80 mm e não 100 mm como anteriormente. O comportamento do escoamento é similar, no entanto observa-se que os picos de velocidade são maiores, passando de 1,5 m/s para 2,3 m/s em $Z = -15$ mm e de -1,0 m/s para -1,5 m/s em $Z = 20$ mm.

Portanto, com esta melhoria as partículas teriam maior chance de serem transportadas com o escoamento.

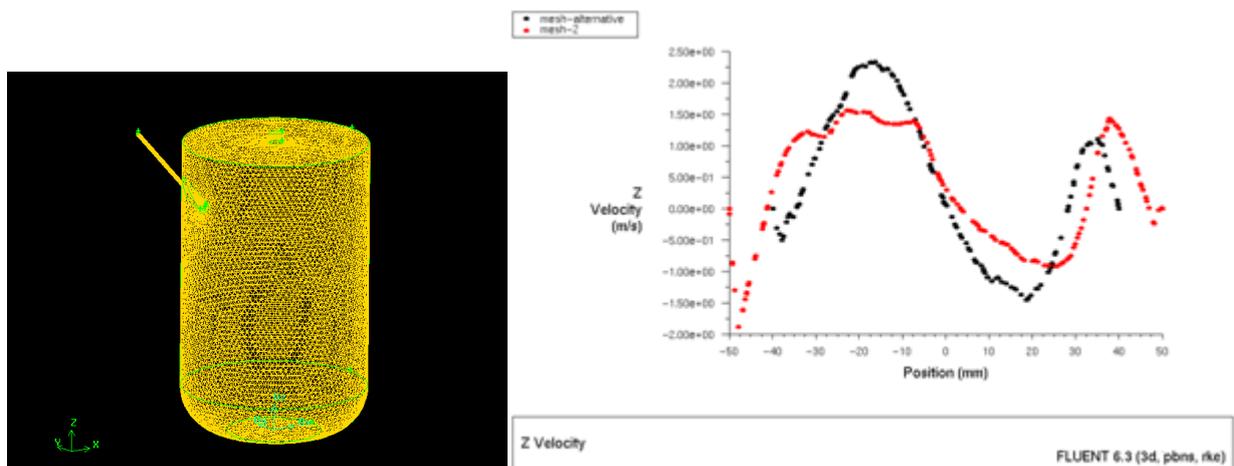


Figura 11. Malha da alternativa proposta e comparação das velocidades no eixo Z a 5 mm do fundo

5. Conclusões

Observa-se pelos resultados que o escoamento no interior do alimentador segue um comportamento ciclônico, como esperado. A simulação utiliza a simplificação de apenas escoamento de ar, derivado da hipótese de que as partículas possuem densidade muito próxima à do ar. No entanto, é possível que as partículas causem certa interferência no escoamento; por isso a escolha correta do material das partículas traçadoras é importante.

Em seções transversais paralelas ao eixo Z, observa-se que há vorticidades na região central do cilindro, e seu impacto pode ser visto como variações nos perfis de velocidades no eixo Z em seções transversais paralelas ao fundo do cilindro. Como esperado, os perfis apresentam valores negativos em um extremo do cilindro e positivos do outro, devido ao comportamento ciclônico. Já a assimetria do perfil e dos picos de velocidades pode ser atribuída a tais vorticidades.

Melhorias no projeto podem ser propostas usando como base os resultados acima. Uma alternativa visando aumentar os picos de velocidades no fundo no alimentador, e deste modo aumentando a propriedade do escoamento de transportar as partículas, foi simulada, e pode-se concluir que cumpriu seu objetivo satisfatoriamente. Outros formatos para o fundo do alimentador, e até uma variação no diâmetro do mesmo podem ser explorados para avaliar os efeitos no escoamento e nas vorticidades observadas na região central do alimentador.

6. Referências

- ANSYS FLUENT Brochure, ANSYS Inc., 2010
EXPANCEL DE microspheres catalogue, 2009, AkzoNobel.
Ferrara, E. and Muramatsu, M., 2010, "Particle-Image Velocimetry Study of a Pediatric Ventricular Assist Device", J. Biomech. Eng. 132, 071004.
FLUENT User's Guide versão 6.1, Fluent Inc., 2003
Hain, R. and Kähler, C., 2007, "Comparison of CCD, CMOS and intensified cameras", Experiments in Fluids 3, pg 403-411.
Melling, A., 1997, "Tracer particles and seeding for particle image velocimetry", Measurement Science and Technology.
Meyden, T. J. V. D., 2009, "Crank angle resolved flow field characterization of a heavy-duty one-cylinder optical engine", MSc thesis, Eindhoven University of Technology.
Raffel, M. and Willert, C., 2007, "Particle Image Velocimetry: A Practical Guide", second edition, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
Towers, D. P. and Towers, C.E., 2004, "Cyclic variability measurements of in-cylinder engine flows using high-speed particle image velocimetry", Measurement Science and Technology.
Yamakawa, M. and Isshiki, S., 2003, "Measurement of Ambient Air Motion of D. I. Gasoline Spray by LIF-PIV", JSME International Journal Series B, Vol. 46, No. 1, pp.25-30.

7. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF A CYCLONE SEEDER FOR PIV

Marcel Amaro e Andrade de Moraes Souza e Silva

marcel.amaro@gmail.com

Abstract. This paper presents a study of a cyclone seeder for Particle Image Velocimetry (PIV) measurements. Such seeder must be able to generate a flow with cyclone behavior to assure a solid traced particles seeding on experimental setups. For such, the text presents a CAD model and its CFD simulation to evaluate the flow behavior within. The model is based on an application that uses liquid tracer particles and adapted to operate with solid tracer particles, providing better measurements.

Keywords. *Particles (Nuclear physics), Computational fluid dynamics, Optical instrument*