6

Conclusões e perspectivas

Neste trabalho foi desenvolvida uma instalação experimental, que permite o estudo da estrutura dos escoamentos inertes e reativos de queimadores tipo obstáculo. Através de medições do campo de velocidade média e de quantidades turbulentas, usando técnicas não intrusivas de Velocimetria Laser Doppler (LDV) e Velocimetria por Imagem de Partículas (PIV) caracterizou-se o escoamento inerte.

Estas técnicas de medição requerem a dispersão de partículas traçadoras cujo tamanho e concentração permitem que a velocidade medida das partículas seja equivalente à do fluido. A construção foi projetada inicialmente para usar partículas sólidas de TiO_2 em combustão. Porém, a obtenção de partículas de tamanho da ordem de $1 \mu\text{m}$ foi difícil. Assim, foi necessário adaptar um gerador de gotas de óleo já usado com sucesso em trabalhos anteriores [1], que garantiram a obtenção de partículas de tais dimensões. Outra limitação nas medições foi o controle no fornecimento de gotas de óleo em concentrações adequadas nos escoamentos do jato central e do ar anular [22]. Recomenda-se a construção de dispositivos independentes para cada escoamento, o que permitirá obter uma dispersão mais uniforme nas regiões do escoamento afastadas do eixo de simetria.

Ainda no tocante ao dispositivo experimental, acredita-se que o corpo central deve ser modificado para permitir um alinhamento mais estável e rígido.

A medição da velocidade transversal ou radial deste escoamento usando o equipamento laser LDV se mostrou delicada, em particular na região central do jato. Diversos testes foram realizados envolvendo modificações na faixa de frequências de desvio no software do LDV. Um aumento da potência do feixe de laser e seu alinhamento foram tentados, mas não resultou em melhoria dos resultados obtidos. Acredita-se que parte da dificuldade esteja relacionada ao fato da componente longitudinal ser muito maior do que a radial. Outro fator de dificuldade é que o diâmetro de saída do jato, 2 mm , é apenas 20 vezes maior do que o volume de medição do laser LDV, $0,1 \text{ mm}$.

Devido à natureza complexa do escoamento, recomenda-se o aumento da velocidade média do ar anular através de um ventilador de maior capacidade, isto para simplificar quantitativamente a caracterização de um regime turbulento do escoamento resultante deste tipo obstáculo; e assim poder definir claramente as zonas e as tendências no sentido de giro dos vórtices na região de recirculação, importante parâmetro para estabilizar uma chama no caso de escoamentos reativos.

Para aumentar a vazão e compensar as grandes perdas de carga no duto de ar devido ao uso do venturi, recomenda-se diminuir o trecho entre o ventilador e a saída do queimador. Isto pode ser feito retirando-se o medidor de vazão de ar. Para isso, o controle do ar deve ser realizado através do inversor de frequência.

Para uma medição mais confiável do escoamento usando a técnica LDV, é importante contar com um sistema de posicionamento da sonda com baixa incerteza. Recomenda-se adquirir um mecanismo motorizado que controle eficazmente o deslocamento do volume de medição do laser através do escoamento.

Ao empregar o sistema LDV para a obtenção de medidas de velocidade com maior exatidão, em particular da componente transversal, é necessário realizar medições a uma distância mínima da superfície do queimador. Isto se deve ao reflexo inevitável dos feixes laser sobre a superfície, originando sinais espúrios no volume de controle.

Foram estimadas incertezas sistemáticas e aleatórias do sistema LDV para o escoamento em questão. A primeira foi reduzida melhorando-se o alinhamento e a calibração do rotâmetro de GNV. Procurou-se reduzir o segundo tipo de incerteza pelo aumento da taxa de aquisição de partículas. Assim, a incerteza total associada às medições de velocidades média e turbulenta r.m.s. foi estimada em 1,33% e 1,39%, respectivamente.

Para uma medição e a caracterização do campo de velocidade mais detalhada usando PIV foi necessário que o escoamento fosse dividido em duas regiões; uma rápida, vizinhança ao jato central e outra lenta, a da zona de recirculação e ar anular. A primeira necessitou a utilização de um lapso entre pulsos laser de 5 μ s, enquanto que para a segunda foi adotado um valor de 80 μ s.

As comparações dos resultados experimentais do LDV e PIV com a simulação numérica CFD, colocou em evidência diversas discrepâncias

quantitativas em particular no que se refere às tendências e localização de regiões características.

Uma divergência encontrada é o valor da velocidade média longitudinal (U) na linha de centro obtida, por CFD, que mostrou um erro máximo de 80% com respeito às medições experimentais, sendo que a maior divergência ocorre na região de transição, $4 < x/D_j < 19$, o qual pode ser atribuído ao modelo de turbulência SST escolhido.

A intensidade turbulenta longitudinal (u'/U_j) obtida da simulação CFD na linha de centro apresentou um erro máximo de 64% em relação aos valores experimentais na região de transição, porém uma coincidência razoável foi obtida na região de desenvolvimento, isto é $x/D_j > 19$. No caso da intensidade turbulenta transversal (v'/U_j), se observou uma diferença máxima de 225% em relação aos resultados experimentais.

A distribuição radial da componente de velocidade (U) obtido com CFD apresentou bom acordo com os valores experimentais obtidos oriundos das medidas PIV e LDV, isto é, no início da região central do jato central, em posições até $x/D_j < 5$ e $r/D_j < 5$. Logo após a região de recirculação, a variação da velocidade do ar anular é similar nas três técnicas para cada posição longitudinal (x/D_j).

O perfil radial de velocidade (V) obtido com CFD reproduz as tendências experimentais, apenas em regiões $r/D_j > 3$ e nas posições longitudinais mais afastadas, $x/D_j > 10$, isto é, em regiões onde o espalhamento do jato central é maior.

A distribuição radial da intensidade turbulenta longitudinal (u'/U_j) mostra que o máximo valor da intensidade u'/U_j é encontrado para o LDV e está em torno de 17% em $x/D_j = 10$. A maior diferença encontrada dos valores máximos de u'/U_j entre as duas técnicas experimentais é 10% na região central na primeira posição, $x/D_j = 1$. A concordância entre as três técnicas é encontrada apenas a jusante da região de recirculação, onde as tendências do valor destas intensidades turbulentas se tornam menores do que 0,5% de U_j .

Um comportamento similar é encontrado nas tendências das curvas da intensidade turbulenta transversal (v'/U_j), onde o valor máximo encontrado é cerca de 12%, na região central do jato na posição $x/D_j = 10$, e correspondente à técnica LDV. A maior diferença entre os resultados obtidos com as técnicas

experimentais também é encontrada nesta região e é de cerca de 5%. Cabe lembrar que as distribuições das intensidades turbulentas da simulação numérica foram obtidas sob condição de isotropia do escoamento ($u' = v'$), a qual não se aplica a este tipo de escoamento.

As regiões encontradas no escoamento foram, (i) o núcleo potencial localizado desde a saída do jato central até $x/D_j = 5$, (ii) a zona de recirculação abrangendo o raio do queimador até $x/D_j = 15$, com uma região denominada de transição em $5 < x/D_j < 20$, e, (iii) finalmente uma região desenvolvida $x/D_j > 20$.

Em geral as discrepâncias encontradas nos resultados com respeito ao uso da simulação CFD são possivelmente devidas à escolha das condições de contorno e da malha computacional. Além disto, a hipótese de isotropia do modelo SST não pode ser aplicada neste caso estudado.

A análise da estrutura deste escoamento com número de Reynolds moderado do jato central de 3870 mostra uma fraca zona de recirculação com baixas intensidades turbulentas. Regiões de forte turbulência esperadas na formação das camadas cisalhantes entre o ar anular e a zona de recirculação, onde ocorrem os maiores gradientes de velocidade, não foram encontrados.