

## 7 Conclusões

Neste trabalho foram realizados experimentos para estudar a redução de atrito por adição de polímeros em escoamentos turbulentos totalmente desenvolvidos em tubos. Os experimentos foram conduzidos para uma faixa de números de Reynolds de 23000 a 80000 e para uma concentração do polímero de 20 ppm do polímero Superfloc A110.

Foram medidos os efeitos da redução de atrito nas estatísticas turbulentas, além disso, a redução de atrito foi avaliada em termos da mudança do fator de atrito hidrodinâmico.

Todas as medições dos campos de velocidade instantâneos e estatísticas turbulentas foram feitas usando a técnica de velocimetria por imagens de partículas PIV em sua versão bidimensional na seção longitudinal do tubo. As grandezas estatísticas turbulentas foram obtidas a partir de uma série de 2.500 campos instantâneos de velocidade medidos para cada configuração de escoamento caracterizada pelo número de Reynolds e pela concentração de polímero em água. Os resultados destas medidas foram comparados com os dados obtidos para a água (fluido Newtoniano) para um mesmo número de Reynolds turbulento.

Para minimizar os efeitos de refração ótica devido à superfície curva do tubo, uma pequena parte da tubulação onde seriam realizadas as medições foi substituída por uma seção de teste especialmente projetada. A seção de teste consistia de uma caixa de visualização octogonal de acrílico, montada ao redor do tubo de menor espessura em comparação ao resto da tubulação da bancada. A parede do tubo de acrílico teve uma espessura de 0,5 mm. Os resultados obtidos com a combinação da caixa de visualização com o tubo de parede fina foram considerados muito bons. Apesar dos esforços por melhorar a visualização perto à parede do tubo, não se conseguiram muitos dados, para  $y^+ < 10$ .

Para a validação da seção de testes foram realizados experimentos só com água. Os níveis de incerteza experimentais na determinação do fator de atrito ficaram na faixa de 3 a 7%. Tem-se excelente concordância dos resultados do presente trabalho com a equação de Blasius para o fator do atrito, além disso,

os perfis de velocidade concordaram com as leis estabelecidas na literatura o que indica que os procedimentos experimentais utilizados foram adequados.

A redução do coeficiente de atrito foi da ordem de 40%, mas se deve ter conta que durante a realização do experimento o polímero está submetido a uma degradação mecânica devido a recirculação do fluido, pelo qual as medições feitas com o PIV foram feitas quando o polímero ficava estável, de modo que a degradação não influenciasse significativamente nos resultados obtidos

Os resultados obtidos demonstraram que a presença do aditivo polimérico produz alterações na estrutura do escoamento turbulento na região de transição, o que se reflete em um alargamento na camada de amortecimento e um deslocamento para cima da região logarítmica do perfil de velocidade com respeito ao fluido Newtoniano, mas mantém-se paralela ao mesmo e que em uma região intermediária ( $y^+ < 30$ ) não há alterações.

Os perfis do RMS das flutuações axiais mostraram um afastamento do pico com respeito à parede e um aumento das flutuações axiais para as posições próximas da parede na presença de aditivos poliméricos, já mais para o centro do tubo as flutuações permanecem quase constantes. O RMS das flutuações radiais apresenta um pequeno decremento e o pico é deslocado mais longe da parede com relação ao fluido Newtoniano.

A tensão de Reynolds reduz com relação aos dados experimentais para a água, o que se reflete em uma diminuição da correlação das flutuações de velocidade axial e radial especialmente para os maiores valores de Reynolds. Para a solução com polímero a tensão de Reynolds e a tensão viscosa não se equilibram e apresentam um déficit em relação ao perfil de tensão total esperado, conhecido como “déficit da tensão de Reynolds” o mesmo que é compensado pela tensão polimérica.

A produção de energia cinética turbulenta diminui perto da parede devido à adição de polímeros.