

Turbulência e Redução de Arraste

São incontáveis as aplicações em que é desejável que se alcance uma redução no atrito causado pelo escoamento de um fluido em contato com superfícies, como no caso de aeronaves, escoamentos em dutos de transporte, navios, entre outros. Tanto pelas vantagens ambientais quanto pelo aumento da eficiência e conseqüente redução de custos, o desenvolvimento de métodos que proporcionem tal redução se torna fundamental.

A adição de polímeros ao fluido e a utilização de superfícies modificadas são dois dos métodos empregados na indústria e que proporcionam algum nível de redução de atrito superficial em escoamentos turbulentos. A escolha do mecanismo de redução a ser empregado depende das restrições e objetivos de cada aplicação. De qualquer forma, o aprofundamento da compreensão a respeito dos fenômenos físicos envolvidos é importante não só para a utilização destes recursos, mas também porque pode elucidar alguns mecanismos de interesse acadêmico sobre os escoamentos turbulentos propriamente ditos.

No Laboratório de Engenharia de Fluidos, estas duas maneiras de se buscar uma redução no atrito em escoamentos turbulentos constituem os tópicos abordados experimentalmente.

Redução de Arraste por Adição de Polímeros

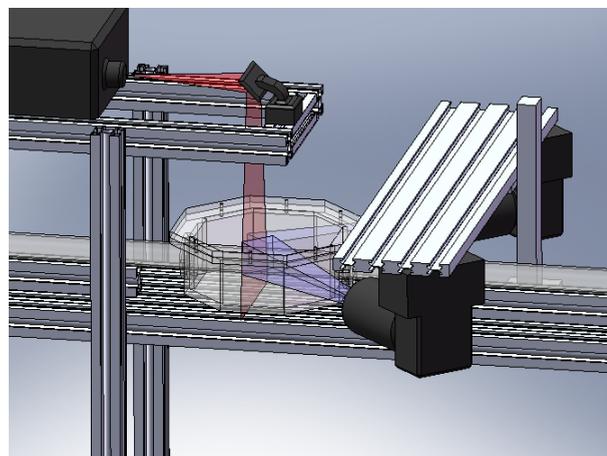
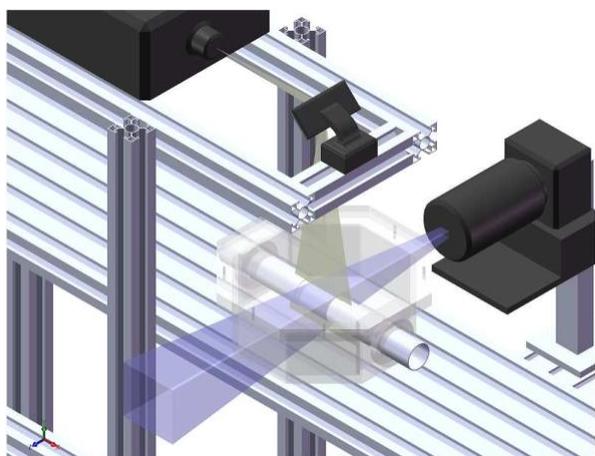


A adição de quantidades mínimas de polímeros de cadeia longa a escoamentos turbulentos pode reduzir drasticamente (em alguns casos em até 80%) as perdas de pressão. Trata-se, portanto, de um poderoso recurso para se economizar energia de bombeamento em aplicações de transporte de fluidos.

A compreensão física deste fenômeno é fundamental para que sua aplicação prática seja adequada e efetiva. Do ponto de vista acadêmico, a observação de como a interação das moléculas poliméricas com as estruturas turbulentas a nível local resulta em redução no arraste global é de grande interesse, possuindo valor científico considerável na área de turbulência de parede.

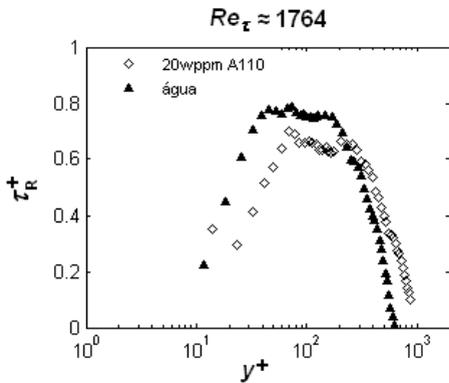
As estruturas turbulentas na região da parede, como vórtices longitudinais e esteiras de velocidade são visivelmente modificadas, assim como os campos das quantidades estatísticas.

No LEF, os experimentos realizados para estudar este fenômeno envolvem medidas de queda de pressão e a aplicação de técnicas óticas avançadas – PIV 2D, estereoscópico e holográfico (veja mais sobre as técnicas de medição) – para análise de campos de velocidade e vorticidade. Séries de medições são feitas para diferentes números de Reynolds e concentrações de polímeros. Com o PIV 2D e o estereoscópico, pode-se analisar campos de velocidade em planos longitudinais ou de seção reta de um duto circular. Já com a técnica holográfica, montou-se um experimento, que se encontra em andamento, no qual se busca investigar em detalhes a dinâmica apenas em uma região muito próxima à parede, em canal de seção reta quadrada, com a análise de volumes de medição pequenos, da ordem de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$.

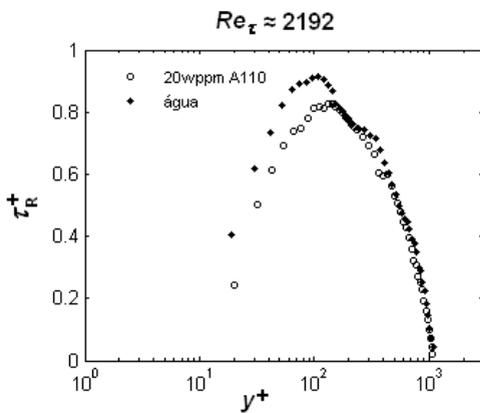


Acima: desenhos esquemáticos das montagens para medição PIV. À esquerda, medições PIV 2D para obtenção de campos de velocidade em plano longitudinal do tubo. À direita, medições com PIV estereoscópico, para obtenção de campos de velocidade com as três componentes em plano da seção reta do tubo.

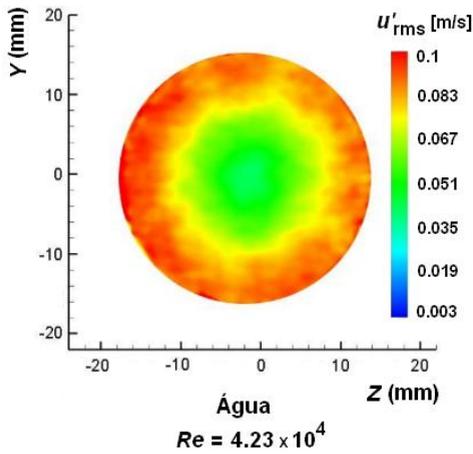
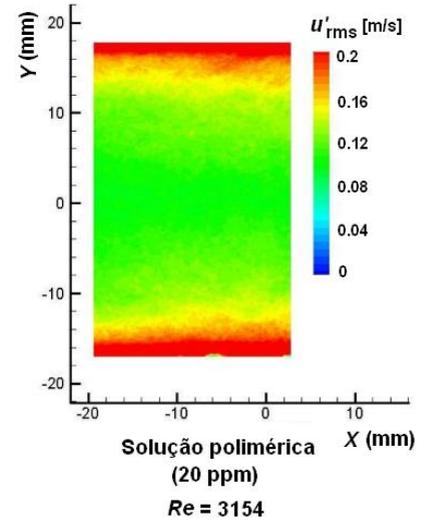
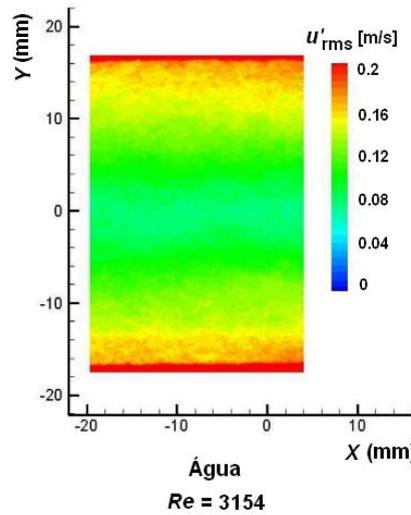
Turbulência e Redução de Arraste



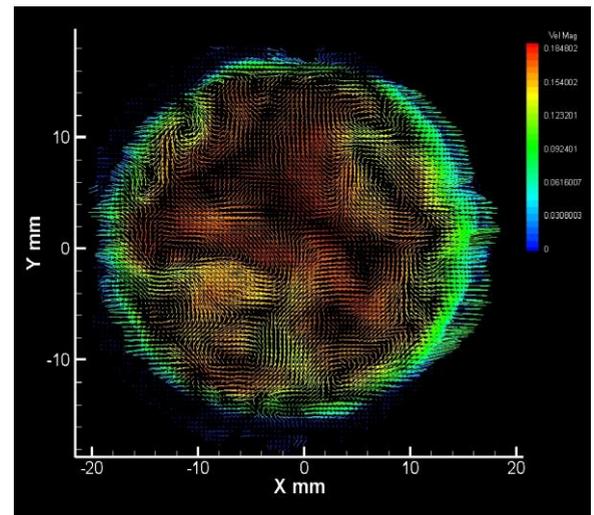
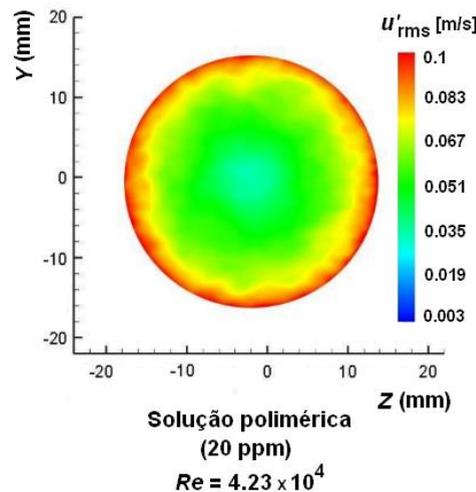
À esquerda: curvas de tensão turbulenta adimensional para escoamento de água pura e de solução polimérica Superfloc A110 a 20 ppm.



Abaixo: contornos de flutuação de velocidade axial rms, em seção longitudinal do tubo.



Acima e à direita: contornos de flutuação de velocidade axial rms em seção reta do tubo (PIV estereoscópico).



Acima: Campo instantâneo de velocidade com as três componentes obtido com PIV estereoscópico, colorido por magnitude de velocidade.

Turbulência e Redução de Arraste

Redução de Arraste em Superfícies Ranhuradas (Riblets)



À esquerda: circuito montado para experimento de redução de arraste com superfície ranhurada. A seção reta do canal é quadrada, e “riblets” são usinados nas paredes inferior e superior do canal somente na região de escoamento desenvolvido.

Entre as pesquisas na área de redução de arraste, talvez superfícies com ranhuras longitudinais (em inglês denominadas riblets) tenham sido as mais estudadas ao longo das últimas décadas. Estes padrões de ranhura modificam as estruturas turbulentas presentes na região próxima à parede, especialmente os vórtices longitudinais, e se possuírem forma e tamanho adequados ao escoamento em questão, podem gerar uma redução na perda de carga média de até em torno de 15%. A utilização de riblets e outras superfícies modificadas é interessante em situações nas quais não se pode alterar a reologia do fluido mas é possível alterar a geometria da superfície (por exemplo navios, aviões, alguns dutos de transporte, entre outros).

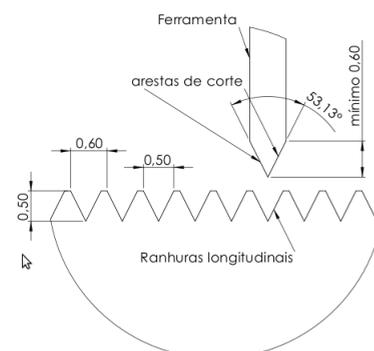
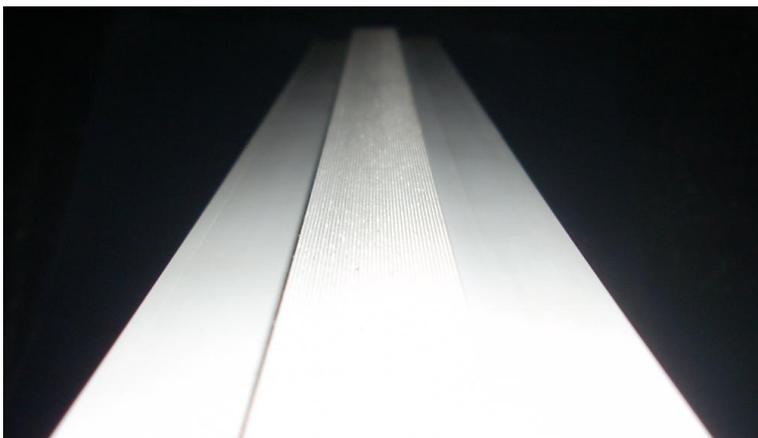
Os experimentos desenvolvidos no LEF medem a queda de pressão associada à utilização destas superfícies, com micromanômetros ou sensores de membrana de alta precisão, além de serem projetados para possibilitar medições PIV 2D e 3D (holográfico) na região interna das ranhuras através de “matching” de índice de refração. Há interesse em se estudar outros tipos de superfície, como as com nano-postes e outras superfícies ditas hidrofóbicas.



À esquerda: detalhe das tomadas de pressão, distribuídas ao longo de todo o canal.



À direita: micromanômetro especialmente projetado para medições de diferencial de pressão no experimento de redução de arraste com riblets.



À esquerda: foto da parede inferior do canal quadrado, na qual foram usinadas pequenas ranhuras longitudinais de perfil triangular, conforme mostrado no desenho esquemático acima.

Turbulência e Redução de Arraste

• **Para o estudo de escoamentos turbulentos e redução de arraste, o laboratório conta com os seguintes equipamentos:**

- ✓ Seção de testes para medições de campos tridimensionais de velocidade na região muito próxima à parede em escoamento turbulento de água: canal quadrado fabricado em acrílico com seção reta de 45 mm x 45 mm, com comprimento necessário para o desenvolvimento do escoamento até a seção de visualização. Bancada experimental projetada para possibilitar a injeção e mistura de solução polimérica ao escoamento principal. Possui tomadas de pressão ao longo do comprimento;
- ✓ Seção de testes em acrílico de seção reta circular ($D = 50$ mm) projetada para medições de campos de velocidade em planos do escoamento (longitudinal e transversal) através de PIV 2D e estereoscópico, para escoamentos turbulentos desenvolvidos (água) com e sem adição de solução polimérica. Também possui tomadas de pressão para medição de perda de carga;
- ✓ Seção de testes em acrílico, com seção reta quadrada (40 mm x 40 mm), com riblets usinados nas paredes inferior e superior após o comprimento de desenvolvimento. Seção projetada para medição detalhada da perda de carga, com tomadas de pressão ao longo de todo o comprimento;
- ✓ Bombas centrífugas e volumétricas para diversas faixas de vazão, utilizadas tanto para o loop de escoamento principal de água quanto para injeção de solução polimérica;
- ✓ Seringa motorizada para injeção localizada de solução com partículas;
- ✓ 2 Câmeras TSI com 4Mpx de resolução e taxa de amostragem de até 15Hz;
- ✓ 2 Câmeras de alta velocidade IDT X3Pro com taxa de amostragem de até 3kHz;
- ✓ Diversos sistemas de aquisição de dados;
- ✓ Lasers NdYAG de baixa frequência e potência de 120mJ/pulso;
- ✓ Laser rápido de potência de 10mJ/pulso a 1kHz;
- ✓ Laser Doppler com 2 canais;
- ✓ Anemômetro a fio quente TSI;
- ✓ Mesa especial para montagem precisa de componentes ópticos;
- ✓ Componentes óticos necessários para a formação de plano de luz no caso de PIV 2D e estereoscópico, e para geração de imagens holográficas de partículas no caso do PIV Holográfico: espelhos, lentes esféricas e cilíndricas, separadores de feixe, polarizadores, entre outros ;
- ✓ Medidores de pressão (sensores de membrana Validyne, manômetros e micromanômetros, transdutores de alta precisão), vazão (rotâmetros, medidores magnéticos, medidores tipo turbina) e temperatura;
- ✓ Tanques de diversos tamanhos;

Parcerias



<http://lef.mec.puc-rio.br>

Lfaa@puc-rio.br

tel.: +55 21 3527-1181