

# 1 Introdução

Dissolvendo-se uma minúscula quantidade de moléculas de polímero de cadeia-longa em um escoamento turbulento, o fator de atrito pode ser reduzido drasticamente (Toms 1948 [26]; Gyr & Berwersdorff, 1995 [9]; den Toonder, 1996 [8]). Nos fluxos em dutos, por exemplo, o atrito pode ser reduzido em até 70%, acrescentando-se apenas algumas partes por milhão (ppm) de polímeros.

Toms [26] (1948), descobriu por acaso o fenômeno da redução de atrito (*drag reduction, DR*) por aditivos poliméricos. Desde esta descoberta, a aplicação do fenômeno de DR tem-se ampliado bastante. Uma das aplicações mais conhecidas é a redução de atrito por polímeros solúveis em óleo no sistema de oleoduto Trans-Alasca (Figura 1.1), onde a vazão foi aumentada de 1.440.000 bbl. / dia para 2.136.000 bbl. / dia



Figura 1.1 – Sistema de oleoduto Trans-Alasca (www.alyeska-pipe.com) [33].

Inúmeros são os trabalhos apresentados que buscam entender esse fenômeno. Apesar disto, ainda não há consenso sobre como o polímero interage com o fluido. Dessa forma, tornou-se necessária a ampliação do campo de estudo do fenômeno de DR.

Na literatura se apresentam três possíveis mecanismos para explicar o fenômeno da redução de atrito. O primeiro apresentado por Oldroyd (1949) atribuiu a redução de atrito a um aumento na viscosidade efetiva em regiões de fluxo extensional. O segundo mecanismo é um efeito anisotrópico causado pelos polímeros estendidos proposto por Elperin et. al. (1967). O terceiro mecanismo, estudado por Gennes (1990), atribui a redução de atrito à elasticidade introduzida no comportamento dos fluidos pelos polímeros.

A redução de atrito devido à adição de polímeros em escoamentos turbulentos é função da concentração, vazão, peso molecular, tipo de substâncias e das próprias condições do escoamento. O fenômeno de DR aumenta com o incremento da concentração polimérica, até atingir o valor da Assíntota de Máxima Redução de Atrito (MDR) estuda por Virk (1975) [29], valor a partir do qual maiores concentrações não produzem mais efeito redutor.

Um parâmetro importante que se deve ter em conta ao usar os aditivos poliméricos é que estes sofrem degradação devido a diversos fatores mecânicos ou químicos, o que afeta sua eficiência na redução de atrito.

Apesar dos polímeros serem os aditivos mais utilizados para a redução de atrito, a utilização de soluções ou fibras, segundo alguns autores (Gyr & Berwersdorff, 1995) [9], também provocam este mesmo efeito.

O presente trabalho visa a investigar o mecanismo de redução de atrito quando se adicionam ao escoamento turbulento hidrodinamicamente desenvolvido em um duto circular, pequenas quantidades de polímeros redutores de atrito. Além disso, será estudada a interação dos polímeros com a turbulência provocando uma mudança em sua estrutura.

O presente trabalho dá continuidade à linha de pesquisa voltada para a redução de atrito em escoamentos conduzida no Laboratório de Engenharia de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

### **1.1. Motivação**

O fenômeno de redução de atrito em escoamentos pode ter importantes aplicações práticas. Por exemplo, a maioria dos líquidos são transportados através de dutos, e uma redução de atrito mediante a adição de uma pequena quantidade de polímeros pode oferecer grandes vantagens econômicas e uma maior efetividade neste tipo de transporte.

No Brasil, os óleos extremamente viscosos descobertos em grandes profundidades, apresentam dificuldade para seu escoamento inviabilizando, algumas vezes, a produção destes óleos. O uso de polímeros redutores de atrito pode ser a solução viável para este problema.

Outras aplicações que podem ser citadas são a prevenção de cavitação em turbo máquinas, redução de ruídos induzidos pelo escoamento de fluidos, aumento da velocidade de embarcações por meio do recobrimento do casco

com camadas poliméricas, aumento da vazão em tubulações de esgoto e águas pluviais em situações de pico de demanda, e estabilização de jatos para combate a incêndios. Na área da medicina a adição de polímeros em baixas concentrações pode ajudar a melhorar o fluxo sanguíneo (Gyr & Berwersdorff, 1995) [9].

Conhecer o mecanismo de redução de atrito, bem como seus efeitos, é fundamental para que se tenha garantia do benefício de sua aplicação.

Além das aplicações práticas, este fenômeno é muito importante para o estudo da dinâmica de fluidos, principalmente para o entendimento da estrutura do escoamento turbulento.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência da adição de polímeros na redução de atrito em escoamentos turbulentos em dutos, observando os efeitos causados na queda de pressão, perfis de velocidade e intensidade de turbulência, dando continuidade a trabalhos realizados anteriormente utilizando a técnica experimental Velocimetria por Imagem de Partículas - PIV como técnica experimental para medição do campo completo de velocidade.