

# Turbulência: escalas, semelhança e o papel do número de Reynolds

Paulo Jabardo\*, Gabriel Borelli, Gilder Nader e  
Marcos Tadeu Pereira

\*IPT-USP

## Resumo

As equações de Navier-Stokes são conhecidas há quase 200 anos mas apesar de muito trabalho, a mecânica dos fluidos continua envolta de mistérios onde as diversas técnicas e abordagens, aplicadas com sucesso em outras áreas, deixam a desejar. A turbulência é a maior responsável por esta situação pois envolve flutuações aleatórias no tempo e espaço com escalas típicas variando, frequentemente, algumas ordens de grandeza.

Mas dentro desta “desordem” persistem estruturas coerentes que frequentemente dominam a dinâmica do escoamento e interagem entre si. Se por um lado, um modelo grosseiro não é capaz de descrever o que ocorre, por outro, muito detalhamento na modelagem dificulta a compreensão do que está acontecendo; perde-se o *insight*.

A popularização do CFD, resultado de computadores mais capazes e baratos e programas de computador que parecem mágica tem tido um impacto significativo mas nem sempre positivo na dinâmica dos fluidos. É muito fácil testar diversas configurações com várias condições de contorno, mas frequentemente sem compreensão do fenômeno em mão. Isto também afeta a maneira como são realizados alguns ensaios experimentais onde o objetivo passa a ser “validar” modelos de CFD sem compreender quais os aspectos mais importantes e quais as vantagens e desvantagens de cada método. Enquanto isso, métodos tradicionais são desprezados.

Este trabalho tem por objetivo mostrar algumas das principais características de escoamentos turbulentos analisando um ensaio realizado em túnel de vento da dispersão de gases quentes saindo de um conjunto de chaminés. O ensaio de modelos em escala reduzida requer aproximações que se assemelham a técnicas de aproximação empregadas em métodos computacionais e analíticos. Neste contexto o túnel de vento é um computador analógico onde a turbulência pode ser bem simulada mesmo se alguns aspectos do escoamento não puderem ser modelados.

Neste trabalho estudou-se como se dispersam os gases de combustão que saem de 4 chaminés em uma plataforma de petróleo. O diâmetro de cada chaminé é de 2,5 m e a vazão em massa de cada uma é de 90 kg/s. A composição do gás é muito próxima do ar e assim, é admitido que ar quente a  $450^{\circ}C$  sai de cada chaminé. Estes gases quentes saindo da chaminé interagem com um vento de 10 m/s a 10 m de altura no mar. Não se trabalhou diretamente com ar quente mas sim com um traçador passivo (propano) misturado com Nitrogênio e Hélio para se obter a densidade correta. Esta modelagem assume que o número de Prandtl turbulento  $Pr_t = 1$  assim como o número de Schmidt turbulento ( $Sc_t = 1$ ).