

Resumo

O presente trabalho consistiu essencialmente no desenvolvimento da técnica de Fluorescência Induzida por Laser (LIF) e a sua aplicação conjuntamente com a técnica de Anemometria Laser Doppler (LDA), para medição simultânea de concentração e velocidade. Isto compreendeu duas fases: na primeira fase, utilizando soluções de concentração homogénea, determinaram-se os procedimentos, instrumentação e parâmetros experimentais mais adequados, e na segunda fase demonstrou-se a aplicação de LIF e LDA no estudo do escoamento de dois jactos coaxiais confinados.

De entre as configurações ópticas possíveis optou-se pela recolha de luz em backscatter, porque era aquela que assegurava condições de focagem idênticas entre medições. A relação linear entre a concentração de rodamina B e a intensidade de fluorescência existe para concentrações até 0.08 mg/L e potências laser inferiores a 800 mW, e em soluções homogéneas permanentemente agitadas e de baixa concentração a intensidade de fluorescência do traçador rodamina B manteve-se constante ao longo do tempo.

Devido à influência da orientação dos raios relativamente à geometria de paredes curvas, concluiu-se que as medições por LIF no tubo de vidro acrílico deviam ser efectuadas com os planos dos raios e de simetria longitudinal da secção coincidentes. Um meio ângulo de intersecção dos raios igual a 5.89° foi escolhido por permitir medições até 2 mm de distância da parede. Depois da melhoria de procedimentos experimentais e alterações no equipamento de medida, a incerteza-padrão combinada do sinal medido de concentração foi fixada entre 5.5 e 15.6 %.

O escoamento de dois jactos coaxiais confinados numa conduta foi estudado para razões entre as velocidades médias anelar e interior iguais a 0.8, 1.1, 2, 3.2 e 6.5 e números de Reynolds do escoamento da ordem de 3×10^4 , baseados na velocidade média e no diâmetro interno do tubo. Estes resultados incluíram a visualização do escoamento, medições de pressão média, e as medições simultâneas de velocidade e concentração.

A mistura é mais intensa para razões de velocidades médias do escoamento anelar e do escoamento interior (U_a/U_{in}) diferentes de 1, indicando a dependência entre a mistura e a intensidade da camada de corte entre os dois escoamentos coaxiais. O campo escalar evolui para escoamento completamente desenvolvido num tubo a uma taxa mais lenta do que o campo de velocidade.

As medições de velocidade axial e concentração efectuadas ao longo do eixo do escoamento, mantendo a razão de velocidades U_a/U_{in} igual a 3.2 e utilizando números de Reynolds 2 e 4x superiores, mostraram que algumas das características do escoamento em posições longitudinais afastadas mais do que 1 diâmetro (d_0) do jacto interior dependiam do número de Reynolds. Esta dependência, atribuída à redução das estruturas que caracterizam a camada de corte, manifestou-se no aumento da extensão do núcleo central e na diminuição da intensidade de turbulência axial máxima com o aumento do número de Reynolds.

No caso da razão de velocidades $U_a/U_{in} = 3.2$, o transporte turbulento radial de massa ocorria sempre por efeito do gradiente de concentração média, ao contrário do transporte turbulento axial de massa que ocorria em contragradiente, no caso das condições com intensidade da camada de corte ($|U_a/U_{in} - 1|$) superior a 1, numa região interior do escoamento, após o desaparecimento do núcleo central do escoamento interior.

Abstract

In the present work it is presented an experimental technique for the measurement of concentration, in incompressible fluid flow, using laser induced fluorescence. This is an option for experimental analysis of turbulent mixture phenomena, essential for the study of pollution phenomena, as those occurring in pollutant dispersion. The main objective of this work is to contribute to the advance in knowledge regarding the measurement of concentration in liquid environments and to the combination of laser doppler anemometry and laser induced fluorescence techniques. The joint application in the study of a test case (2 coaxial jets), was made also in order to obtain experimental data that allows the development and validation of numerical methods.

The laser induced fluorescence is an optical technique for quantitative measurement of concentration, that does not affect the flow. It is a long established technique within the analytical chemistry field, whose application as an Fluid Mechanics technique is far from being common. The technique was first applied in the measurement of concentration of the fluorescent tracer (rhodamine B) in aqueous solutions of known uniform concentration, and this allowed the identification of some limitations of the measurement equipment, the investigation of the tracer fluorescent properties, its dependence on the sensitivity of the instrumentation and the response to ambient experimental conditions.

After this previous development, the laser induced technique was combined, with laser Doppler anemometry, and both techniques shared the same light source and optical system allowing the simultaneous measurements of velocity and concentration, in the same location of the flow. Measurements were made in a more complex geometry (cylindrical duct constructed from acrylic glass) and the capacities of the measurement system were checked to allow its use in the test flow case. The optical system was used in backscatter configuration, because this allowed the displacement of the measuring volume inside the cylindric test section, without the necessity to refocus the optical collecting system in every position. It was established the linear response between the concentration, incident light and detected fluorescence intensity, the absorption allow the optical path length and the influence of the age of the rhodamine B aqueous solutions. An maximum concentration equal to 0.04 mg/L enabled us to neglect the light absorption along the beam path and to work in the linear response between fluorescence intensity and concentration.

The simultaneous measurements of velocity and concentration were applied to the study of two confined coaxial jets, enclosed in a cylindrical duct. The fluorescent tracer was added to one of the jets, allowing the study of the mixture between both flows. Both mean and turbulent velocity and

concentration flow fields were characterized, as well as the turbulent transport field, for different velocity ratios between the mean axial velocities of both flows. For higher velocity ratios between the mean velocities of the annular and inner flows increased mixing was observed. The confinement of this flow allowed the determination of mass and tracer fluxes, indication of the capabilities of the joint use of these techniques.

Once the experimental parameters have been established, the use of laser Doppler anemometry and laser induced fluorescence allows the simultaneous identification of velocity and concentration flow fields.