

## 8 Referências bibliográficas

- [1] ABRANTES, J. K. **Estudo do Escoamento e Transferência de Calor em um Jato Espiralado Incidente**. 2005. 134f. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [2] ADEL STITOU AND RIETHMULLER, M. L. **Extension of PIV to super resolution using PIV**. 2001 Meas. Sci. Technol. 12 1398
- [3] ADRIAN, R. **Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics**. 1991, Annu. Rev. Fluid Mech. 1991.23:261-304.
- [4] ANDREOTTI, M. **Investigação da Redução de Arrasto por Aditivos em Escoamentos Turbulentos em Dutos**. 2002. 154p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília
- [5] BARROS, JR., J.M. **Estudo Experimental do Escoamento Axial Através de Região Anular com Rotação do Cilindro Interno**. 2007. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [6] CHRISTOPHER, M., WHITE AND GODFREY MUNGAL, M. **Mechanics and prediction of turbulent drag reduction with polymer additives**. 2008. Annu. Rev. Fluid Mech. 2008.40:235-256.
- [7] DEN TOONDER, J. M. J., NIEUWSTADT, F. T. M., AND KUIKEN, G. D. C. **The role of elongational viscosity in the mechanism of drag reduction by polymer additives**. 1995. Appl. Sci. Res., 54, 95-123,
- [8] DEN TOONDER, J. M. J. **Drag Reduction by Polymer Additives in a Turbulent Pipe Flow: Laboratory and Numerical Experiments**. 1996. Thesis Technische Universiteit Delft.

- [9] GYR, A. AND BEWERSDOFF, H. W. **Drag Reduction of Turbulent Flows by Additives**. 1995. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [10] IRIARTE, J. M. **Velocimetría PIV en tiempo real basado en lógica programable**. 2008 FPGA
- [11] KELL, G. S. **Precise Representation of Volume Properties of Water at One Atmosphere**. 1967J. Chem. Eng. Data, 12, 66-69,
- [12] LI, F. C, KAWAGUCHI, Y., & OSHIMA, M. 2006. **Investigation of turbulence structures in a drag-reduced turbulent channel flow with surfactant additive by stereoscopic particle image velocimetry**. *Experiments in Fluids* 40:218-230.
- [13] LUMLEY, J. L. **Drag Reduction by Additives** 1967
- [14] Manual Insigth 3G.
- [15] Manual Power View Plus 4MPa Camera
- [16] PAQUELET, P. **Estudo experimental da redução de atrito em escoamentos em dutos por adição de polímero**. 2009. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [17] PATTERSON, R. W, ABERNATHY, F. H. **Turbulent flow drag reduction and degradation with dilute polymer solutions**. 1970 J Fluid Mech 43(4):689–710
- [18] PRASAD, A. K. **Stereoscopic particle image velocimetry**. 2001
- [19] PROCACCIA, I., L'VOV., V. S. **Theory of drag reduction by polymeres in wall-bounded turbulence**. 2008
- [20] PTASINSKI P.K., NIEUWSTADT F.T.M., VAN DEN BRULE B.H.A.A. AND HULSEN M.A., **Experiments In Turbulent Pipe Flow With Polymer Additives At Maximum Drag Reduction**. 2000
- [21] RAFFEL M., WILLERT C., KOMPENHANS J., **Particle Image Velocimetry – A Practical Guide**, Ed. Springer.
- [22] RAMÍREZ J. D., GONZÁLEZ F. J., **Velocímetro de Partículas basado en Imágenes Digitales**.

- [23] SELLIN R. H. J.; HOYT J. W.; SCRIVENER O. **The effect of drag reducing additives on fluid flows and their industrial applications.** 1982. Part I, Basics aspects. J. Hydr. Res. 20, 29-64
- [24] TENNEKES H., LUMEY J. L. **A first Course in Turbulence.** 1999 The MIT Pres
- [25] TOMS, B.A. **Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers.** 1949. Pages II135-41 of: Proc. 1st Intern. Congr. Rheol. North Holland.
- [26] TOMS, B.A. **On the early experiments on drag reduction by polymers.** 1977. Phys. Fluids, 20.
- [27] TOULOUKIAN Y. S., SAXENA S. C., HESTERMAUS P. **Thermophysical properties of matter-viscosity.** 1970. Vol II, IFI/Plenum, New York,
- [28] VAN DOORNE, C.W.H., WESTERWEEL, J. **Measurement of laminar, transitional and turbulent pipe flow using Stereoscopic-PIV.** 2007 Exp. Fluids 42:259-279
- [29] VIRK, P.S. **Drag reduction fundamentals.** 1975 AIChE Journal, 21, 625-656.
- [30] VIRK, P.S., WAGGER, D.L. **Aspects of mechanisms in type B drag reduction.** 1990. Pages 201-213 of: Gyr, A. (ed), Structure of Turbulence and Drag Reduction. Springer Verlag. IUTAM Symp. 1989.
- [31] VIRK, P.S., MERRILL, E.W., MICKLEY, H.S., SMITH, K.A., MOLLO-CHRISTENSEN, E.L. 1967. **The Toms-phenomenon - turbulent pipe flow of dilute polymer solutions.** J. Fluid Mech.
- [32] WARHOLIC M. D., HEIST D. K., KATCHER M., HANRATTY T. J. **A study with particle-image velocimetry of the influence of drag-reducing polymers on the structure of turbulence.** 2001
- [33] Alyeska Pipeline Service Company (APSC). Disponível em: <<http://www.alyeska-pipe.com>>

- [34] PIV. DANTEC Dynamics. Apresenta textos sobre Velocimetria por Imagens de Partículas. Disponível em: <<http://www.dantecdynamics.com>>
- [35] PIV. TSI. Apresenta textos sobre Velocimetria por Imagens de Partículas. Disponível em: <<http://www.tsi.com>>
- [36] Liquid Power. Apresenta textos sobre Polimeros redutores de atrito. Disponível em: <<http://www.liquidpower.com>>

## A. Análise de Incerteza

Neste apêndice é apresentado o procedimento para a estimativa da incerteza para a pressão e para o fator de atrito.

Uma medida da confiabilidade da medida é dada pela incerteza. Então, uma maneira completa de se reportar uma medida é:

$$\begin{aligned} m \pm \bar{\delta}m \quad \text{ou} \\ m \pm \bar{\delta}m/m \end{aligned} \quad (\text{A-1})$$

onde  $\bar{\delta}m$  é a incerteza absoluta e  $\bar{\delta}m/m$  é a incerteza relativa.

A incerteza combinada  $\bar{\delta}c(y)$  é a raiz quadrada positiva da variância combinada  $\bar{\delta}c^2(y)$ , que é dada, se os parâmetros  $x_i$  foram independentes por:

$$\bar{\delta}c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial y}{\partial x_i} \right]^2 \delta^2(x_i) \quad (\text{A-2})$$

sendo que  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  e  $\frac{\partial y}{\partial x_i} = c_i$ , onde  $c_i$  é denominado o coeficiente de sensibilidade e descreve como o valor de  $y$  varia com as mudanças nos parâmetros  $x_i$ .

### A.1 Análise de incerteza na Pressão Estática

A equação usada para calcular a pressão, em Pa, é dada por a Eq. (4-2):

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g h$$

onde:

$\Delta P$ : Diferença de pressão entre duas tomadas (Pa);

$\rho$ : massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ );

$h$ : leitura da diferença de pressão no manômetro (m);

$g$ : aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

O laboratório de Caracterização de Fluidos da PUC - Rio possui um documento do Observatório Nacional onde um gravímetro foi usado para medir a

aceleração da gravidade. Neste documento, o valor da aceleração da gravidade é de  $9,7880055 \pm 0,0000003\text{m/s}^2$ . A incerteza da aceleração da gravidade foi desconsiderada.

A estimativa da incerteza no cálculo da pressão estática é apresentada abaixo.

$$\delta P^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)^2 \delta \rho^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial h}\right)^2 \delta h^2 \quad (\text{A-3})$$

E a incerteza relativa é:

$$\left(\frac{\delta P}{P}\right)^2 = \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h}\right)^2 \quad (\text{A-4})$$

O valor de incerteza em cada grandeza é:

$$\delta h = \pm 1\text{mm}$$

$$\delta \rho_{\text{água}} = \pm 1\% \rho_{\text{água}}$$

A estimativa da incerteza na leitura da pressão (Pa) variou entre 6%, para  $Re=15519,67$ , e 1%, para  $Re=82577,84$ .

## A.2 Análise de incerteza no Fator de Atrito

A equação para o cálculo do fator de atrito é:

$$f = \frac{2(\Delta P/L)D}{\rho \left(\frac{Q}{A}\right)^2} = \frac{1}{8} \frac{\Delta P}{L} \frac{D^5}{\rho Q^2} \quad (\text{A-5})$$

A estimativa na incerteza do fator de atrito é apresentada abaixo:

$$\delta f^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial (P/L)}\right)^2 \delta (P/L)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial D}\right)^2 \delta D^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \rho}\right)^2 \delta \rho^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Q}\right)^2 \delta Q^2 \quad (\text{A-6})$$

E a incerteza relativa é:

$$\left(\frac{\delta f}{f}\right)^2 = \left(\frac{\delta (P/L)}{P/L}\right)^2 + \left(5 \frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(-2 \frac{\delta Q}{Q}\right)^2 \quad (\text{A-7})$$

A gradiente de pressão foi obtida através do ajuste da equação de uma reta pelo método mínimos quadrados, aos dados de pressão e posição. Para calcular a incerteza do gradiente de pressão foi utilizado o critério de perturbação. Este método consiste em alterar o valor de uma das pressões e determinar a nova gradiente de pressão, considerando que não existe incerteza na posição (x). O valor alterado da pressão foi o valor da incerteza estimada para uma dada pressão, estimada pelo procedimento descrito na seção A.1.

O valor da incerteza em cada grandeza é:

$$\delta D = \pm 0,2 \text{ mm}$$

$$\delta \rho_{\text{água}} = \pm 1\% \rho_{\text{água}}$$

$$\delta D = \pm 0,25\% F.E.$$

A incerteza no fator de atrito encontrada foi entre 7% e 3%.