

## ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO ABORDADAS NO ENSINO DAS CIÊNCIAS TÉRMICAS

### Sinthya Gonçalves Tavares

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
gtavar@terra.com.br

### Mara Nilza Estanislau Reis

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
mara@pucminas.br

### Geraldo Augusto Campolina França

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
franca@demec.ufmg.br

**Resumo.** Durante a formação do especialista em ciências térmicas, diversas metodologias de medição de vazão são abordadas em aulas teóricas e em aulas práticas de laboratório. Porém, na maioria das vezes, tais metodologias são apresentadas de maneira estanque, sem que uma correlação de resultados possa apontar os desvios ocorridos em cada uma delas ou indicar a mais favorável do ponto de vista científico ou de implementação na indústria. Este trabalho objetiva dar uma contribuição à análise crítica das técnicas de medição de vazão abordadas no ensino da engenharia, descrevendo metodologias teóricas e experimentais e os resultados obtidos com suas implementações em uma bancada de ensaios. São abordadas as metodologias de Lei de Parede, Lei de Potência, Equação de Darcy e de medição por placa de orifício e por tubo de Pitot. As vazões obtidas experimentalmente com a aplicação destes métodos são comparadas, considerando aquela obtida com o tubo de Pitot como referência para a determinação dos desvios. Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. A bancada de ensaios utilizada opera com ar, com pressão manométrica da ordem de 300 mmH<sub>2</sub>O e números de Reynolds na faixa de  $3 \times 10^4$  a  $9 \times 10^4$ .

*Palavras chave:* medição de vazão, mecânica dos fluidos, instrumentação.

### 1. Introdução

Diversas metodologias de medição de vazão são abordadas durante a formação do profissional de engenharia e, de forma mais enfática, do especialista em ciências térmicas. Neste sentido, em aulas teóricas são apresentadas, a partir das variáveis envolvidas no processo, correlações para o cálculo da vazão em cada uma das técnicas. Já em aulas práticas de laboratório trabalha-se a sua implementação em bancadas de ensaio.

Por outro lado, na maioria das vezes, nenhuma correlação de resultados que possa apontar os desvios ocorridos em cada uma delas ou indicar a mais favorável do ponto de vista científico ou de implementação na indústria é feita.

Neste trabalho são descritas as metodologias de Lei de Parede, Lei de Potência, Equação de Darcy e de medição por placa de orifício. A correlação dos resultados é então expressa em termos dos desvios ocorridos quando da determinação da vazão através da implementação de cada uma das técnicas em relação à vazão medida com um tubo de Pitot, considerada neste trabalho como referência.

A bancada de testes utilizada no estudo opera com ar, com pressão da ordem de 300 mmH<sub>2</sub>O e número de Reynolds na faixa de  $3 \times 10^4$  a  $9 \times 10^4$ .

### 2. Bancada Experimental

A bancada de testes utilizada neste estudo, instalada no laboratório de Mecânica dos Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, está apresentada, esquematicamente, na Fig. 1, com cotas em milímetros.

A bancada consiste em uma tubulação de aço galvanizado de 2 ½” de diâmetro onde, entre os flanges F1 e F2, está instalada a placa de orifício. Sobre os flanges F1 e F2, estão localizadas as tomadas de pressão T1 e T2. A distância de uma polegada a montante e a jusante das faces da placa de orifício ao centro das tomadas de pressão foi utilizada, obedecendo os critérios da norma NBR ISO 5167-1 (1994) para tomadas nos flanges. Neste trabalho, foi utilizada uma placa de orifício concêntrico com relação de diâmetros,  $\beta$ , igual a 0,687. O ar é insuflado na tubulação através do ventilador, V1, instalado em uma das extremidades do sistema. Modificações nas condições do escoamento podem ser

provocadas pela variação na abertura da válvula borboleta, VB1. A bancada permite a obtenção de números de Reynolds em um intervalo relativamente pequeno, de aproximadamente de  $3 \times 10^4$  a  $9 \times 10^4$ . As propriedades do ar são determinadas, após o estabelecimento do regime permanente, com os valores da pressão barométrica média local, da pressão manométrica medida em T3 e da temperatura medida com um termopar tipo K na saída do sistema. As tomadas T3 e T4 fornecem também leituras de pressão em um trecho reto de tubulação de 705 mm de comprimento, a montante da placa de orifício. A diferença de pressão entre as tomadas T1 e T2 e entre as tomadas T3 e T4 são medidas com um manômetro de tubo em U com escala em mm de coluna de água. O tubo pitot P1, instalado na seção de saída da tubulação, é utilizado para a medida de perfis de velocidade e da vazão considerada como referência neste estudo.

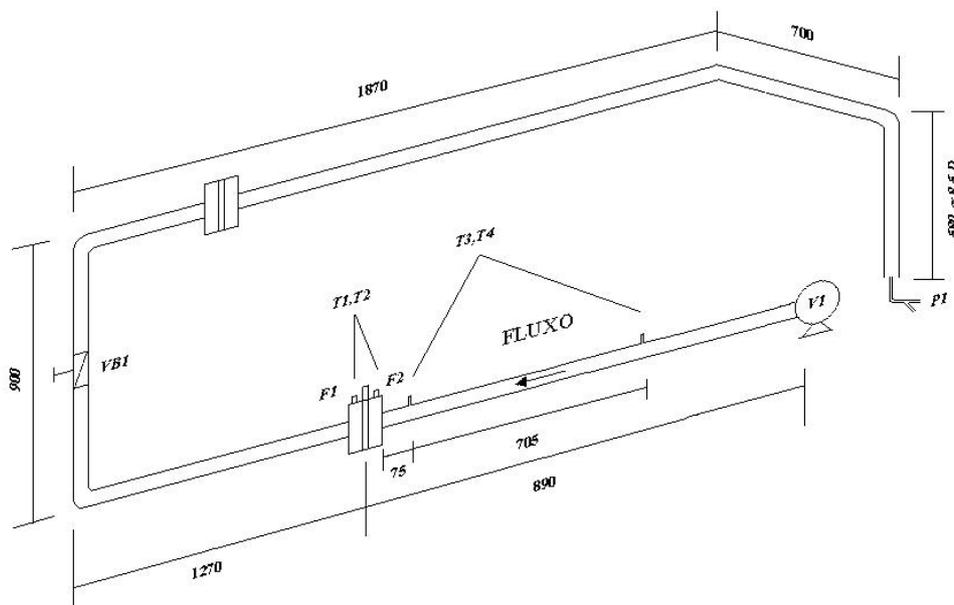


Figura 1. Esquema da bancada de testes utilizada no estudo

### 3. Metodologias para de medição de vazão

#### 3.1. Tubo de Pitot

O tubo pitot é utilizado em alguns pontos de medições na indústria com o objetivo de determinar o perfil de velocidade permitindo, com isto, determinar também a vazão. Como as leituras obtidas no pitot são de pressão dinâmica, esta deve ser transformada em velocidade. Para tubo pitot, esta transformação é obtida pela equação:

$$u_i = \sqrt{\frac{2P_{d,i}}{\rho}} \quad (1)$$

onde  $u_i$  é a velocidade local do fluido,  $P_{d,i}$  a pressão dinâmica local do fluido e  $\rho$  é a massa específica do fluido (White, 1994).

A velocidade média,  $\bar{u}$ , é então dada por:

$$\bar{u} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} \sqrt{\frac{2P_{d,i}}{\rho}} \quad (2)$$

onde  $n$  é o número de medidas feitas com o Pitot.

Neste estudo foram utilizados nove pontos de medida de valores de pressão dinâmica, e consequentemente, da velocidade local do fluido, ao longo do diâmetro interno do tubo, sendo oito pontos definidos pela metodologia dos setores circulares de áreas iguais e o nono ponto no centro da seção transversal do tubo. A Figura 2 apresenta um esquema da instalação do tubo de Pitot, onde  $D$  é o diâmetro da tubulação e  $y$  as distâncias, a partir da parede, dos pontos de medição. Estas distâncias,  $y$ , estão definidas na Tab. 1.

Tabela 1. Distâncias a partir da parede interna do tubo para medição da pressão dinâmica

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y (mm)	2,2	7,2	13,3	22,1	34,3	46,4	55,2	61,3	66,3

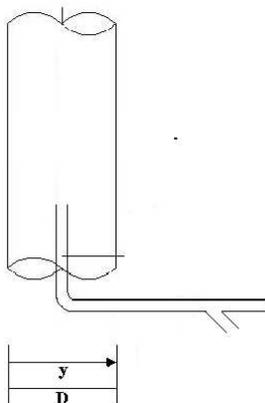


Figura 2. Esquema da instalação do tubo de Pitot

A vazão mássica de ar,  $\dot{m}$ , é obtida, então, por:

$$\dot{m} = \rho u \frac{\pi D^2}{4} \tag{3}$$

onde D o diâmetro da tubulação.

### 3.2. Placas de orifício

O princípio de funcionamento de uma placa de orifício consiste em introduzir uma restrição localizada na tubulação onde a medição deve ser feita. Esta restrição, no caso, é provocada por um orifício feito em uma placa de pouca espessura, adequadamente instalada no tubo, de maneira a obrigar o fluxo a mudar de velocidade e, em consequência, provocar uma diferença de pressão que, devidamente medida e interpretada, é representativa da vazão (Delmée, 1990).

Para medidores tipo orifício padronizados, numerosos dados de ensaios foram obtidos e compilados dando origem a correlações empíricas como as equações de Buckingham, Stolz e RG, para cálculo do chamado coeficiente de descarga do medidor,  $C_d$ . Estes coeficientes que entram na equação de cálculo da vazão através do medidor de orifício, dependem da razão entre o diâmetro do orifício do medidor e do diâmetro do tubo a montante do medidor, do número de Reynolds do escoamento e do tipo de tomada de pressão utilizada (Miller, 1983).

A Figura 3 apresenta uma instalação típica de placa de orifício concêntrica com tomadas nos flanges, como a utilizada neste estudo.

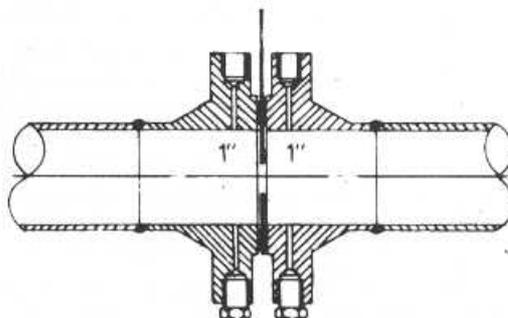


Figura 3. Placa de orifício concêntrica com tomadas nos flanges

Da equação de Bernoulli e da continuidade para regime permanente, a vazão real através de uma placa de orifício é dada por (Martins, 1998):

$$\dot{m} = C_d \cdot \frac{A_t}{\sqrt{1 - (\beta)^4}} [2\rho(P_1 - P_2)]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

onde  $P_1$  e  $P_2$  são, respectivamente, as pressões a montante e a jusante da placa de orifício,  $A_t$  é a área da seção do orifício,  $\beta$  é a razão entre o diâmetro do orifício,  $d$ , e o diâmetro do tubo,  $D$ .

Na Equação de Buckingham, utilizada na ANSI/API 2530 (1985), o coeficiente de descarga é combinado com o fator geométrico,  $E$ , chamado velocidade de aproximação, e redefinido o coeficiente de vazão,  $K$ , dado pela equação empírica:

$$K = C_d \cdot E \quad (5)$$

sendo,

$$E = (1 - \beta^4)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Segundo Buckingham, o coeficiente de vazão,  $K$ , para placas de orifício concêntrico de cantos vivos com tomadas nos flanges é dado pela relação:

$$K = K_o \left( 1 + \frac{E_f}{Re_d} \right) = K_o \left( 1 + \frac{E_f \beta}{Re_D} \right) \quad (7)$$

onde  $Re_D$  é o número de Reynolds para a tubulação,  $Re_d$  é o número de Reynolds para a seção do orifício e  $E_f$  e  $K_o$  são variáveis definidas em função do diâmetro da tubulação e da relação de diâmetros:

$$E_f = d \left( 830 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + \frac{530}{\sqrt{D}} \right) \quad (8)$$

$$K_o = \frac{K_e}{1 + \frac{15E_f}{d10^6}} \quad (9)$$

sendo  $K_e$  também uma variável definida em função do diâmetro da tubulação e da relação de diâmetros:

$$K_e = \left[ 0,5993 + \frac{0,007}{D} + \left( 0,364 + \frac{0,076}{\sqrt{D}} \right) \beta^4 + 0,4 \left( 1,6 - \frac{1}{D} \right)^5 \left( 0,07 + \frac{0,5}{D} - \beta \right)^{\frac{5}{2}} - \left( 0,009 + \frac{0,034}{D} \right) (0,5 - \beta)^{\frac{3}{2}} + \left( \frac{65}{D^2} + 3 \right) (\beta - 0,7)^{\frac{5}{2}} \right] \quad (10)$$

A Equação de Stolz é fornecida pela NBR ISO 5167-1 (1994) para o cálculo coeficiente de descarga de placas de orifício concêntrico de canto vivo com tomadas nos flanges:

$$C_d = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,1840\beta^8 + 0,0029\beta^{2,5} \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,75} + 0,0900L_1 \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,0337L_2' \beta^3 \quad (11)$$

Segundo a NBR ISO 5167-1 (1994), os valores das variáveis  $L_1$  e  $L_2'$  a serem utilizadas na Eq. 10, quando utilizadas tomadas nos flanges são:

$$L_1 = L_2' = 25,4/D \quad (12)$$

com  $D$  expresso em milímetros.

A metodologia para o cálculo do coeficiente de descarga com Equação RG foi apresentada por Reader-Harris et al. (1990), como:

$$C_d = C_\infty + 0,00051 \left( \frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0,7} + (0,0210 + 0,0049A) \beta^4 E \quad (13)$$

onde A e E são variáveis definidas em função da relação de diâmetros,  $\beta$ , e do número de Reynolds para a tubulação,  $Re_D$ :

$$A = \left( \frac{19000\beta}{Re_D} \right)^{0,8} \quad (14)$$

$$E = \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,35} \quad \text{para } Re_D \geq 3500 \quad (15)$$

$$E = 30,0 - 6500 \left( \frac{10^6}{Re_D} \right) \quad \text{para } Re_D < 3500 \quad (16)$$

e  $C_\infty$  é uma variável definida por:

$$C_\infty = C_\infty(CT) + TT \quad (17)$$

com:

$$C_\infty(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1-\beta)M_1 \quad (18)$$

$$TT = UP + DOWN \quad (19)$$

onde,

$$M_1 = \max \left[ \left( 2,8 - \frac{D}{N_4} \right), 0 \right]$$

$$UP = \left( 0,0433 + 0,0712e^{-8,5L_1} - 0,1145e^{-6,0L_1} \right) (1 - 0,23A)B \quad (20)$$

$$DOWN = -0,0116 \left( M_2 - 0,53M_2^{1,3} \right) \beta^{1,1} (1 - 0,14A) \quad (21)$$

sendo,

$N_4 = 1,0''$  quando D está em polegada e  $N_4 = 25,4$  mm quando D está em milímetros

$$B = \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} \quad (22)$$

$$M_2 = \frac{2L_2}{1 - \beta} \quad (23)$$

Para tomadas nos flanges,  $L_1 = L_2 = N_4 / D$ .

Neste trabalho foram calculados coeficientes de descarga com as equações de Buckingham, Stolz e RG. O cálculo de vazão foi feito com a Eq. 4.

### 3.3. Lei de potência

A Lei de Potência prediz a velocidade média pela equação:

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (24)$$

onde  $n$  é o expoente da equação da Lei de Potência, que define um perfil de velocidade adimensional para escoamento turbulento através de um tubo liso:

$$\frac{u_i}{u_{\max}} = \left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (25)$$

sendo  $u_i$  a velocidade local do fluido a uma distância  $y$  da parede do tubo e  $R$  o raio do tubo. Segundo White (1994) um valor típico utilizado para o expoente  $n$  é 7, o que deu origem à expressão “perfil exponencial um sétimo” para os escoamento turbulento totalmente desenvolvido.

Deve ser ressaltado que a lei de potência não é aplicável próximo da parede ( $y/R < 0,04$ ), onde o perfil dá valor infinito para o gradiente de velocidade. Na linha de centro novamente esta lei falha, por não fornecer derivada nula.

Neste trabalho, a velocidade média do escoamento utilizando a lei de potência foi obtida através da aplicação da Eq. 24 para o valor típico de  $n$  igual a 7 e velocidade máxima obtida pelo tubo pitot para cada número de Reynolds experimental.

### 3.4. Lei da parede

A Lei de Parede descreve o perfil de velocidade de parede a parede do tubo. Para regime turbulento, este perfil é definido pela relação:

$$\frac{u_i}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B \quad (26)$$

onde  $u_i$  é a velocidade pontual do fluido,  $y^+$  é uma distância adimensional,  $B$  e  $\kappa$  são constantes adimensionais e  $u^*$  é a velocidade de atrito definida como:

$$u^* = (\tau_w / \rho)^{1/2} \quad (27)$$

onde  $\tau_w$  é a tensão de cisalhamento na parede definida por:

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=R} \quad (28)$$

White (1991) sugere a utilização de valores empíricos, para  $B$  igual a 5,0 e  $\kappa$  igual a 0,41, o que reduziria a Eq. 25 a:

$$\frac{u_i}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + 5 \quad (29)$$

White (1991) define ainda a distância adimensional  $y^+$  como:

$$y^+ = \frac{\rho u^*}{\mu} y \quad (30)$$

Experimentalmente, pode-se ainda calcular a tensão de cisalhamento por:

$$\tau_w = \frac{\Delta PA}{\Pi DL} \quad (31)$$

onde  $\Delta P$  é o diferencial de pressão entre as tomadas,  $L$  é a distância entre as tomadas e  $A$  a área da seção transversal do tubo.

Neste trabalho, a tensão de cisalhamento foi obtida através da Eq. 31 utilizando o diferencial de pressão medido entre as tomadas T3 e T4 para os números de Reynolds experimentais. Definido o valor da tensão de cisalhamento, a velocidade de atrito correspondente,  $u^*$  é calculada com a Eq. 27 e a distância adimensional,  $y^+$ , para cada ponto de medição do pitot e propriedades do fluido, é dada Eq. 30.

Utilizando os dados as velocidades do escoamento foram obtidas com a Eq. 26 nos mesmos pontos de medição do pitot.

### 3.5. Equação de Darcy

A equação de Darcy calcula a perda de carga, em um trecho reto pela equação:

$$\Delta P = f \frac{\rho L \bar{u}^2}{2D} \tag{32}$$

onde  $f$  é o fator de atrito.

Neste caso, a exemplo da lei de parede, os valores de pressão diferencial, obtidos entre as tomadas T3 e T4, foram utilizados. Porém, o cálculo da velocidade média,  $\bar{u}$ , pela Eq. 32, requer o conhecimento do fator de atrito,  $f$ .

Iterações, então, foram feitas utilizando a equação de Colebrook (White, 1991) para cálculo do fator de atrito, até a convergência.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re_D \sqrt{f}} \right) \tag{33}$$

Nesta equação, o valor da rugosidade relativa,  $\varepsilon/D$ , utilizado foi de 0,0023.

## 4. Resultados

A Tabela 2 apresenta, para alguns valores de Reynolds experimental, os valores da vazão de referência, obtida com o tubo de Pitot, e as vazões obtidas empregando a lei de potência, lei de parede, equação de Darcy e medição por placa de orifício, utilizando as equações de Buckingham, Stolz e RG na definição do coeficiente de descarga.

Tabela 2. Comparação de vazões obtidas com as diversas metodologias

$Re_D \times 10^{-4}$	3,56	4,06	4,55	5,15	5,75	6,36	6,81	7,39	7,97	8,48	8,98
$\dot{m}_{\text{padrão}} \text{ (kg/s)}$	0,0358	0,0408	0,0458	0,0517	0,0578	0,0639	0,0685	0,0743	0,0802	0,0853	0,0903
$\dot{m}_{\text{Eq. Buckingham}} \text{ (kg/s)}$	0,0357	0,0395	0,0448	0,0514	0,0572	0,0637	0,0680	0,0729	0,0799	0,0849	0,0926
$\dot{m}_{\text{Eq. Stolz}} \text{ (kg/s)}$	0,0358	0,0396	0,0449	0,0516	0,0574	0,0639	0,0681	0,0730	0,0802	0,0852	0,0930
$\dot{m}_{\text{Eq. RG}} \text{ (kg/s)}$	0,0358	0,0397	0,0450	0,0517	0,0576	0,0640	0,0683	0,0731	0,0806	0,0855	0,0934
$\dot{m}_{\text{Lei de Potência}} \text{ (kg/s)}$	0,0361	0,0408	0,0458	0,0521	0,0576	0,0639	0,0684	0,0740	0,0800	0,0852	0,0905
$\dot{m}_{\text{Lei de Parede}} \text{ (kg/s)}$	0,0357	0,0403	0,0452	0,0516	0,0574	0,0635	0,0682	0,0739	0,0800	0,0850	0,0904
$\dot{m}_{\text{Equação Darcy}} \text{ (kg/s)}$	0,0357	0,0403	0,0452	0,0516	0,0574	0,0635	0,0681	0,0738	0,0803	0,0857	0,0913

A Tabela 3 apresenta os desvios percentuais nos valores das vazões mássicas obtidas com as diversas metodologias em relação à vazão mássica obtida com o tubo de Pitot.

Tabela 3. Desvios percentuais nas medições de vazão

$Re_D \times 10^{-4}$	3,56	4,06	4,55	5,15	5,75	6,36	6,81	7,39	7,97	8,48	8,98
$\dot{m}_{\text{Eq. Buckingham}} \text{ (kg/s)}$	-0,23	-3,14	-2,25	-0,58	-1,04	-0,30	-0,78	-1,99	-0,32	-0,47	2,54
$\dot{m}_{\text{Eq. Stolz}} \text{ (kg/s)}$	-0,03	-2,94	-1,98	-0,35	-0,78	-0,11	-0,54	-1,84	0,08	-0,07	2,96
$\dot{m}_{\text{Eq. RG}} \text{ (kg/s)}$	0,17	-2,72	-1,67	-0,11	-0,50	0,10	-0,28	-1,67	0,49	0,34	3,38

$\dot{m}$ Lei de Potência (kg/s)	0,98	0,12	-0,05	0,68	-0,36	-0,03	-0,19	-0,53	-0,19	-0,11	0,14
$\dot{m}$ Lei de Parede (kg/s)	-0,34	-1,21	-1,23	-0,25	-0,84	-0,69	-0,48	-0,62	-0,24	-0,34	0,08
$\dot{m}$ Equação Darcy (kg/s)	-0,31	-1,23	-1,20	-0,19	-0,72	-0,67	-0,58	-0,69	0,10	0,46	1,01

## 6. Conclusões

Neste trabalho foram descritas metodologias para medição de vazão que podem ser utilizadas no ensino da engenharia. Foram abordadas a lei de parede, lei de potência, equação de Darcy e medição por placa de orifício, utilizando as equações de Buckingham, Stolz e RG para o cálculo do coeficiente de descarga.

Ensaios experimentais foram realizados em bancada instalada no Laboratório de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais para implementação de cada uma das metodologias abordadas.

Foi feita uma comparação dos resultados, expressa em termos dos desvios ocorridos quando da determinação da vazão através da implementação de cada uma das técnicas em relação à vazão medida com um tubo de Pitot, considerada neste trabalho como referência.

## 7. Referências Bibliográficas

- ANSI/API 2530, 1985, "Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids", 2<sup>nd</sup> Edition, American Gas Association and American Petroleum Institute, Washington,DC.
- Delmmè, G. J., 1983, "Manual de Medição de Vazão", Edgard Blücher Ltda.
- NBR ISO 5167-1, 1994, "Medição de Vazão de Fluidos por Meio de Instrumentos de Pressão- Parte 1: Placas de Orifício, Bocais e Tubos de Venture Instalados em Seção Transversal Circular de Concutos Forçados", ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Martins, N., 1998, "Manual de Medição de Vazão Através de Placas de Orifício, Bocais e Venturis", Interciência, Petrobrás, Rio de Janeiro,.
- Miller, R. W., 1983, "Flow Measurement Engineering Handbook", McGraw-Hill Book Company, New York.
- Moody, L. F., 1944, "Friction Factors for Pipe Flow", Transactions of the ASME, 66, 8, pp. 671-684.
- Reader-Harris, M. J., Sattary, J. A., 1990, "The Orifice Plate Discharge Coefficient Equation", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 1.
- White, F. M., 1991, "Viscous Fluid Flow", 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill, Inc.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FLOW MEASUREMENT METHODOLOGIES APPROACHED IN THE THERMICAL SCIENCES TEACHING

Sinthya Gonçalves Tavares

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
gtavar@terra.com.br

Mara Nilza Estanislau Reis

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
mara@pucminas.br

Geraldo Augusto Campolina França

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil – 31270-901  
franca@demec.ufmg.br

### Abstract

During the thermal sciences specialist's formation, several methodologies of flow measurement are approached in theoretical classes and in laboratory practical classes. However, most of the time, these methodologies are presented in a tight way, without a results correlation that can point the deviations happened in each one of them or to indicate the most favorable of the scientific point of view or of implementation in the industry. This work aims at to give a contribution to the critical analysis of the flow measurement techniques approached in the engineering teaching, describing theoretical and experimental methodologies and the results obtained with their implementations in a testing bench. The methodologies approached are the wall law, power law, Darcy's Equation and of measurement for orifice plate and for Pitot's tube. The flows obtained experimentally with the application of these methods are compared whit the flow obtained whit the Pitot's tube considered, in this work, as reference for the deviations determination. The

experimental procedures were carried out in the fluid mechanics laboratory at the Mechanical Engineering Department of the Universidade Federal de Minas Gerais. The testing bench operate with air, with gauge pressure of the order of 300 mmH<sub>2</sub>O and Reynolds's numbers between  $3.3 \times 10^4$  and  $8.9 \times 10^4$ .

Keywords: flow measurement, fluids mechanics, instrumentation