

ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO TURBULENTO DE AR EM UM TUBO COM PRESENÇA DE PLACA DE ORIFÍCIO CONCÊNTRICO

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. Apesar dos avanços tecnológicos que disponibilizam, a cada dia, medidores de vazão mais sofisticados, as placas de orifício são ainda os elementos primários mais utilizados na indústria. Este trabalho tem como objetivo contribuir para a compreensão das características do escoamento a montante, através e a jusante de uma placa de orifício e para a identificação das principais fontes de incerteza na medição de vazão com esse tipo de dispositivo. Adicionalmente, foi feito um estudo numérico e experimental do escoamento turbulento de ar em uma placa de orifício concêntrico com razão de diâmetro, β , igual a 0,687. O modelo $k-\varepsilon$ padrão foi usado nas simulações dos escoamentos através da placa. Os procedimentos experimentais foram realizados no laboratório de mecânica dos fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Os resultados teóricos mostram boa concordância com os resultados experimentais para números de Reynolds entre $3,3 \times 10^4$ e $8,9 \times 10^4$.

Palavras Chave: placa de orifício, escoamento turbulento, simulação numérica, incerteza

1. INTRODUÇÃO

Devido à simplicidade de instalação e manutenção, boa exatidão e custo relativamente baixo, os medidores do tipo orifício representam ainda cerca de 80% dos sistemas de medição de vazão nos diversos segmentos industriais. Dentre esses medidores, as placas de orifício são as mais utilizadas pois, além das vantagens já citadas, têm uma ampla aplicabilidade, inclusive para fluidos corrosivos (Martins, 1998).

Apesar da crença inicial de que, se a instalação atendesse as exigências das normas, as incertezas nas medições seriam quase nulas, estudos têm demonstrado que incertezas significativas ocorrem mesmo em instalações supostamente corretas, o que colocou esses medidores sob minuciosa observação (Morrison et al, 1995). Esta atitude é justificada, uma vez que as incertezas nas medidas podem transformar-se em cifras milionárias na indústria.

Do ponto de vista prático, a discrepância existente entre as condições de projeto e as condições reais de utilização, é a maior responsável pelas incertezas nos medidores de vazão do tipo pressão diferencial. Isto geralmente acontece porque não é dada muita atenção à estrutura hidrodinâmica do escoamento, mesmo porque na instalação torna-se muito difícil o controle local de tais parâmetros.

No entanto, é essa estrutura hidrodinâmica que determina as características metrológicas do medidor (Miller, 1983, Valle, 1995).

Essa discrepância se acentua quando o escoamento apresenta uma estrutura turbulenta. Isto porque, embora possua uma geometria simples, o escoamento turbulento através dos medidores tipo orifício é complexo. Estudos têm demonstrado que fatores como a recirculação, típica do escoamento turbulento, podem afetar o desempenho do medidor de forma significativa (Sheikholeslami et al, 1988).

O objetivo deste trabalho é contribuir para a compreensão das características do escoamento a montante, através e a jusante de uma placa de orifício e para a identificação das principais fontes de incerteza na medição de vazão com esse tipo de dispositivo. Adicionalmente, foi feito um estudo numérico e experimental do escoamento turbulento de ar em uma placa de orifício concêntrico com razão de diâmetro, β , igual a 0,687. O modelo k- ε padrão foi usado nas simulações dos escoamentos através da placa. Os ensaios foram realizados em uma bancada instalada no laboratório de mecânica dos fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais.

2. FONTES DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO ATRAVÉS DE PLACAS DE ORIFÍCIO

Segundo Laws et al. (1995), todas as medições são afetadas de alguma forma pela qualidade do escoamento nas vizinhanças do medidor.

As placas de orifício são calibradas em condições de laboratório, onde um perfil de velocidade totalmente desenvolvido é considerado como condição de operação, o que nem sempre acontece na instalação industrial. Para garantir um perfil totalmente desenvolvido a montante da placa de orifício, assim como o rearranjo desse perfil a jusante da placa, as boas instalações devem incluir sempre um trecho adequado de tubo reto a montante e a jusante do medidor (Laws et al 1995). Os comprimentos mínimos desses trechos de tubos retos são definidos em normas como a ANSI/API 2530 (1985) e a ISO 5167 (1991).

Independente, porém, da norma adotada, estudos têm demonstrado que nem sempre a simples observância dos comprimentos mínimos sugeridos é suficiente para que efeitos rotacionais das linhas de correntes, que resultam na mudança da natureza do escoamento através do orifício, sejam dissipados. Estudos como os de Sheikholeslami et al (1988) e Branch (1994) comprovam tal observação. Nestes estudos, mesmo tendo sido obedecidas as recomendações da ANSI/API 2530 (1985) ou da ISO 5167 (1991) para comprimentos mínimos após acessórios como curvas, reduções e válvulas, dentre outros, foram obtidos valores de coeficiente de descarga bastante diferentes daqueles previstos pelas normas. Obviamente, uma discrepância no valor do coeficiente de descarga afeta linearmente o valor da vazão medida.

No caso de escoamentos turbulentos, a recirculação é um fator agravante. Segundo Murakami et al. (1980), essa alteração nas linhas de corrente pode afetar de forma significativa o coeficiente de descarga, gerando desvios de até 8%, segundo Brennan et al. (1986). Essas conclusões foram corroboradas pelos estudos de Morrison et al. (1995) e Mattingly (1991) que fizeram uma análise detalhada do efeito rotacional das linhas de corrente sobre o coeficiente de descarga, e de Branch (1994), que analisou a recirculação do escoamento no contato com o canto vivo do orifício.

Para minimizar os efeitos dos escoamentos rotacionais sobre o coeficiente de descarga, a ISO 5167 (1991) sugere a instalação de retificadores de fluxo. Autores como Laws et al. (1995) e Karnik et al (1994), têm confirmado a eficiência desses dispositivos e procurado identificar uma distância ideal de instalação, seja em relação à placa de orifício, seja em relação ao ponto gerador do distúrbio. Adicionalmente, trabalhos como o de Zanker et al. (2000) e Laws et al. (1994), têm procurado otimizar a geometria dos retificadores a fim de minimizar ainda mais os desvios no coeficiente de descarga.

Outros efeitos, como a rugosidade elevada do tubo imediatamente a montante da placa também afetam o valor da vazão medida. Estudos mostram que, para uma mesma vazão mássica, o aumento

na rugosidade da parede do tubo tende a reduzir o valor da pressão medida na tomada a montante da placa, enquanto altera muito pouco o valor da pressão a jusante. Isto acarreta um menor diferencial de pressão na placa, que é equivalente a um menor coeficiente de descarga. Os trabalhos de Brennan et al. (1989) e Sheikholeslami et al. (1988) mostram que, se as especificações da ANSI/API 2530 (1985) com relação à rugosidade forem seguidas, os desvios no coeficiente de descarga não ultrapassam 1%, podendo ser insignificantes quando a relação de diâmetros for menor que 0,5.

Pouco considerada em situações práticas, a variação em propriedades do fluido é um fato corriqueiro do processo real. Além disto, a presença de substâncias estranhas também é responsável pelo agravamento dos desvios no coeficiente de descarga. Segundo Lansverk (1984), partículas de lubrificantes podem ser carreadas juntamente com o fluido, devido a problemas de vedação em bombas, compressores ou outros dispositivos presentes na linha. O acúmulo dessas partículas sobre a superfície da placa de orifício muda as características da veia contraída que é formada quando o fluido atravessa o orifício, resultando na prática em mais uma alteração no valor do coeficiente de descarga. Além disto, segundo Witte (1999), partículas estranhas ao fluido podem causar obstruções no orifício das tomadas de pressão, alterando as leituras. Se as partículas forem abrasivas, o problema é transferido para as bordas do orifício. Segundo Novitskii (1996), desvios no coeficiente de descarga devido ao desgaste do canto vivo da placa de orifício podem atingir de 1,5% a 2,5%, chegando a 6% nas placas de pequeno diâmetro.

Erros grosseiros de instalação, como localização incorreta das tomadas de pressão, instalação de placas de orifício na posição invertida, ou com excentricidade do orifício fora da faixa de tolerância das normas, também fazem parte do universo das fontes de incerteza de medição. A instalação da placa em posição invertida, por exemplo, pode causar erros de até 20% na medida de vazão, como reportado por Witte (1999), Bower (1995) e França et al (2002).

Apesar de todas essas fontes de incerteza, que de forma mais ou menos contundente afetam as medições, não se espera que a participação das placas de orifício no mercado caia abaixo de 40% em um futuro próximo (Martins, 1998).

3. PARTE EXPERIMENTAL

A bancada de testes utilizada neste estudo está instalada no laboratório de mecânica dos fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais e pode ser vista, esquematicamente, na Fig. (1), onde as cotas estão expressas em milímetros.

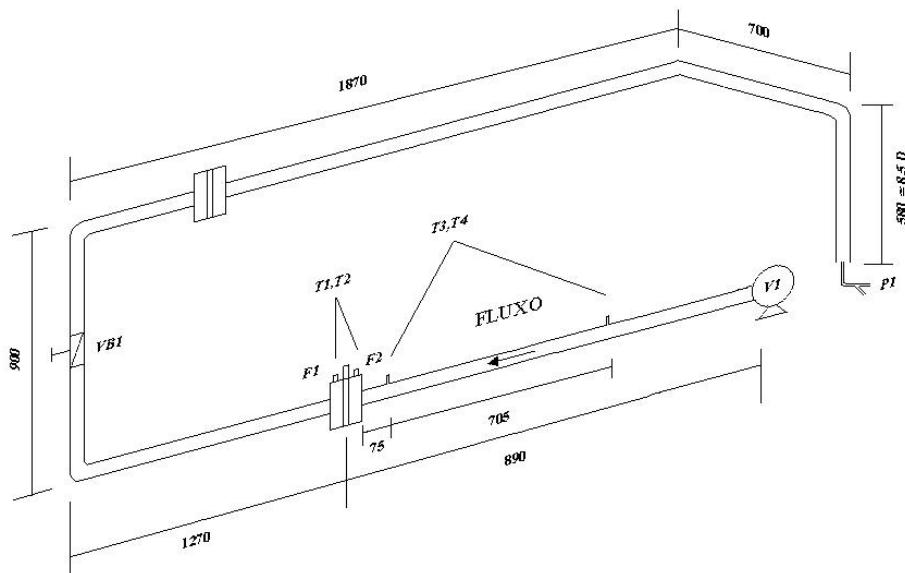


Figura 1. Esquema da bancada de testes

A bancada consiste em uma tubulação de aço galvanizado de 2 ½" de diâmetro nominal onde, entre os flanges **F1** e **F2**, foi instalada a placa de orifício concêntrico de cantos vivos utilizada no estudo. O ar é insuflado na tubulação através do ventilador, **V1**, instalado em uma das extremidades do sistema. As modificações nas condições do escoamento são obtidas pela variação na abertura da válvula borboleta, **VB1**. A bancada permite a obtenção de números de Reynolds em um intervalo relativamente pequeno, variando de, aproximadamente, 3×10^4 a 9×10^4 . As propriedades do ar são determinadas, após o estabelecimento do regime permanente, com os valores da pressão barométrica média local e da temperatura medida com um termopar tipo K, instalado na seção de saída da tubulação de ar. As tomadas de pressão **T1** e **T2** estão localizadas, respectivamente, sobre os flanges **F1** e **F2**, a uma distância de 0,0254 m a montante e a jusante das faces da placa de orifício, conforme previsto na ISO 5167 (1991) para tomadas nos flanges. A diferença de pressão entre as tomadas **T1** e **T2** foi medida com um manômetro de tubo em U, com escala em mm, tendo a água como fluido manométrico.

A vazão considerada como referência foi obtida a partir de leituras de pressões dinâmicas com um tubo de Pitot, **P1**. Foram definidos, pelo método da igualdade de áreas, oito pontos de medição numa seção transversal do tubo próximo da saída de ar. A pressão dinâmica utilizada no cálculo da velocidade é a média de cinco medições locais. A velocidade média em cada ponto, u_i , foi calculada com a Eq. (1).

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

onde $P_{d,i}$ é a pressão dinâmica média do fluido no ponto de medição e ρ a massa específica do fluido. A velocidade média do escoamento foi então obtida como:

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

onde n é o número de pontos de medição das pressões dinâmicas. Com as propriedades do ar, a velocidade média do escoamento dada pela Eq. (2) e o diâmetro interno do tubo, foram determinados o número de Reynolds experimental do escoamento e a vazão mássica de referência.

As vazões mássicas obtidas com o pitot foram então comparadas com as obtidas pela Eq. (3), que descreve a vazão através de placa de orifício, \dot{m} , para escoamento incompressível.

$$\dot{m} = C_d \cdot \frac{A_t}{\sqrt{1 - (\beta)^4}} [2\rho(P_1 - P_2)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde A_t é a área da seção da veia contraída, β a razão entre o diâmetro do orifício, d , e o diâmetro do tubo, D , $(P_1 - P_2)$ é a diferença de pressão entre as tomadas **T1** e **T2** e C_d é o coeficiente de descarga, dado em função do número de Reynolds, Re_D ou Re_d , da razão de diâmetros, β , e do tipo e localização das tomadas de pressão.

4. MODELO NUMÉRICO

O modelo numérico adotado considera escoamento bidimensional, turbulento e em regime permanente, com condições de contorno prescritas para velocidade, energia cinética turbulenta e dissipação de energia cinética turbulenta. A resolução do sistema de equações algébricas resultantes foi realizada com o auxílio do programa computacional COMPACT-2D Versão 4.0, com

formulação de volumes finitos, e utilizando o modelo k- ϵ padrão na modelagem do escoamento turbulento. O ar foi considerado como gás ideal.

A Figura (2) apresenta uma montagem típica de placa de orifício concêntrico com tomadas nos flanges.

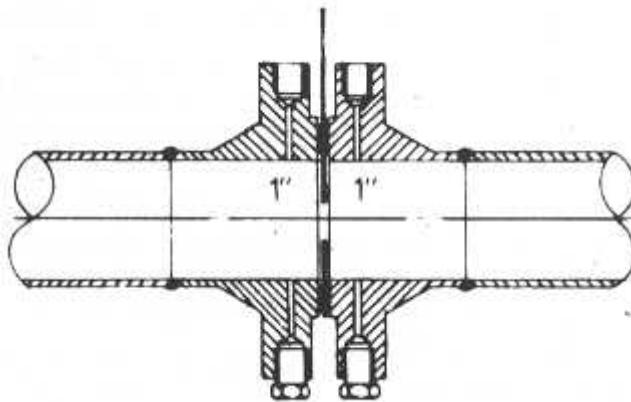


Figura 2. Montagem de placa de orifício concêntrico com tomadas nos flanges (Delmée, 1983)

A Figura (3) apresenta um detalhamento da malha utilizada. A malha ficou constituída de 122 volumes na direção do escoamento principal e 80 na direção transversal. Ela foi refinada nas regiões próximas da placa e da parede, respeitando a limitação do modelo k- ϵ padrão para a dimensão do primeiro elemento junto à parede. Dois elementos da malha, não representados na Fig. (3), coincidem diretamente com a posição das tomadas de pressão da placa.

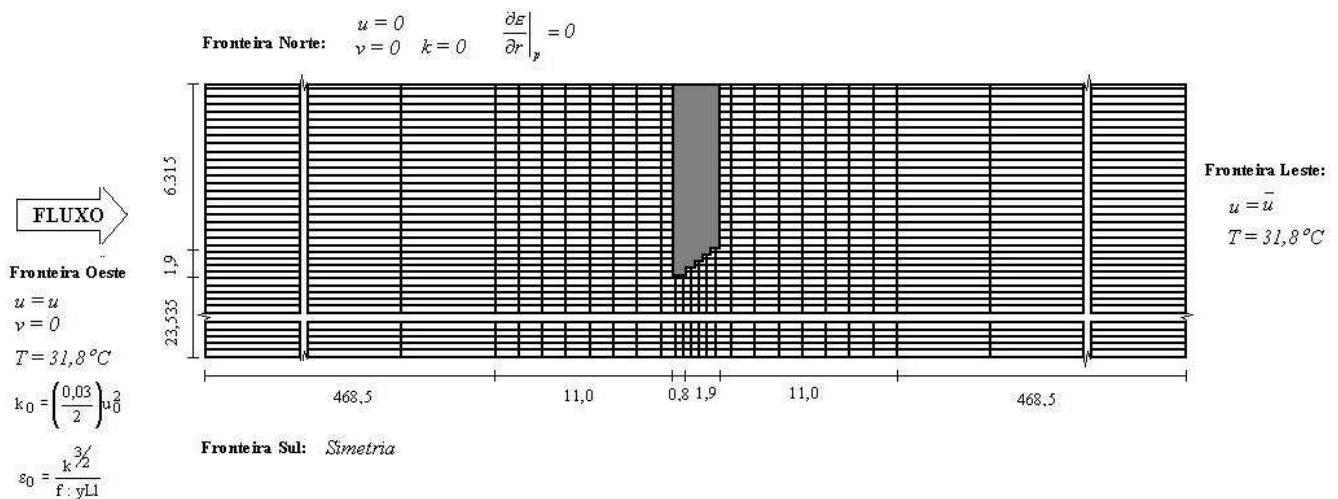


Figura 3. Configuração da malha

As seguintes condições de contorno foram adotadas no modelo:

Fronteira Norte: constituída pela parede do tubo, onde as velocidades u e v e energia cinética turbulenta k são iguais a zero. A condição da dissipação é dada por:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial r}\Big|_p = 0 \quad (4)$$

Fronteira Sul: constituída pelo centro do tubo, onde é imposta a condição de simetria.

Fronteira Oeste: corresponde à extremidade da tubulação a montante da placa de orifício. O comprimento da tubulação até a face de entrada da placa de orifício é de 7D, ou seja, 479,5 mm. Este comprimento de entrada é sugerido pela ISO 5167 (1991) como sendo suficiente para que o

perfil de velocidade desenvolva-se totalmente. Variou-se a velocidade média na entrada, de forma a manter o escoamento com números de Reynolds dentro da faixa dos obtidos experimentalmente, ou seja entre $3,3 \times 10^4$ e $8,9 \times 10^4$. A temperatura do fluido foi considerada $31,8^\circ\text{C}$, que é o valor médio das temperaturas obtidas durante os experimentos. Os valores de energia cinética e dissipação definidos na entrada são:

$$k_0 = \left(\frac{0,03}{2} \right) u_0^2 \quad (5)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{k^{3/2}}{f \cdot yL} \quad (6)$$

onde u_0 é a velocidade na entrada, f , uma fração entre 0,3 e 1,0 e yL , o comprimento do segmento de entrada.. O valor de f escolhido foi 0,36.

Fronteira Leste: corresponde à última seção da tubulação a jusante da placa de orifício. A distância desta tubulação à face de saída da placa de orifício também é de $7D$, ou seja, 479,5 mm, para garantir o desenvolvimento do escoamento. Todas as derivadas das propriedades são nulas na direção do escoamento nesta seção.

5. RESULTADOS

A Tabela (1) fornece, para alguns valores do número de Reynolds, uma comparação dos resultados de vazão obtidos com o tubo de Pitot, considerado aqui como referência, e aqueles obtidos com a aplicação da Eq. (3), para os diferenciais de pressão ($P_1 - P_2$) medidos experimentalmente. Apesar do regime de escoamento não ser, em nenhuma das situações analisadas, completamente turbulento, o número de Reynolds ficou numa faixa em que os desvios no coeficiente de descarga são inferiores a 5% em relação ao coeficiente de descarga para o escoamento totalmente turbulento.

Os desvios nas vazões foram calculados por:

$$\% \text{ Erro } \dot{m} = \left(1 - \frac{\dot{m}_{po}}{\dot{m}_{pitot}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Tabela 1. Comparação das vazões obtidas com as metodologias de tubo de Pitot e de placa de orifício.

$\text{Re}_{\text{exp}} (10^4)$	8,91	8,73	8,58	8,47	8,29	7,89	6,81	6,29	5,56	4,87	4,43	3,79
$\dot{m}_{\text{pitot}} (10^{-2}) (\text{kg/s})$	8,97	8,78	8,62	8,50	8,35	7,95	6,85	6,34	5,65	4,90	4,50	3,84
$\dot{m}_{po} (10^{-2}) (\text{kg/s})$	9,04	9,01	8,98	8,76	8,45	7,95	6,96	6,32	5,66	5,03	4,32	3,74
Erro $\dot{m} (%)$	0,78	2,55	4,01	2,97	1,18	0,00	1,58	-0,32	0,18	2,58	-4,17	-2,67

Na Tabela (1), observa-se que o desvio máximo nas vazões obtidas com as duas metodologias é inferior a 4,2%. Um desvio admissível para placas de orifício é de 2%; esse desvio maior encontrado é justificado pela faixa de Reynolds limitada dos experimentos, bem abaixo daquela que caracteriza escoamento completamente turbulento. Outra justificativa para a discrepância poderia estar associada ao diâmetro inadequado do tubo de Pitot disponível para a realização dos experimentos, não trinta vezes menor que o diâmetro da tubulação. Erros na localização dos pontos de medição da pressão diferencial utilizando tubo de Pitot podem ainda ter colaborado para o aumento do desvio.

A incerteza calculada, segundo metodologia sugerida por Martins (1998), para a medição da pressão diferencial através da placa de orifício foi de 17,5 Pa. Já a incerteza na medição da velocidade pontual utilizando-se tubo de Pitot foi de 1,80 m/s.

A Tabela (2) apresenta os dados comparativos dos valores de vazão obtidos com a simulação com aqueles obtidos com a aplicação da Eq. (3), para os diferenciais de pressão ($P_1 - P_2$) medidos numericamente e experimentalmente.

Tabela 2. Comparaçāo das vazões obtidas experimentalmente e numericamente com a metodologia de placa de orifício

$Re_{exp} (10^4)$	8,91	8,73	8,58	8,47	8,29	7,89	6,81	6,29	5,56	4,87	4,43	3,79
$\dot{m}_{PO} (10^{-2}) (\text{Kg/s})$	9,04	9,01	8,98	8,76	8,45	7,95	6,96	6,32	5,66	5,03	4,32	3,74
$\dot{m}_{k-\epsilon} (10^{-2}) (\text{Kg/s})$	9,04	9,02	8,99	8,78	8,43	7,96	6,95	6,33	5,67	5,01	4,33	3,74
Erro \dot{m} (%)	0,0	0,11	0,11	0,23	-0,24	0,13	-0,14	0,16	0,18	-0,40	0,23	0,0

Conforme pode ser visto na Tab. (2), erros menores que 0,5% foram registrados na comparação da vazão obtida através do modelo numérico e através da medição utilizando-se placa de orifício. Tais resultados aumentam a crença da bibliografia na fidelidade dos resultados da medição de vazão utilizando placa de orifício.

5. CONCLUSÕES

Apesar de conterem erros sistemáticos e aleatórios associados, a medição da vazão através de placas de orifício ainda aparecem de forma representativa na indústria. Um incentivo para isto são as vantagens deste tipo de medidor sobre os demais, a facilidade de instalação e manutenção boa confiabilidade associada ao baixo custo além da ampla aplicabilidade, inclusive para fluidos corrosivos.

A medição de vazão experimental através de uma placa de orifício concêntrico de cantos vivos, com razão de diâmetro, β , igual a 0,687 e para números de Reynolds de $3,3 \times 10^4$ a $8,9 \times 10^4$ mostraram um desvio máximo de 4,01% em relação à vazão de referência medida com tubo de Pitot. Um desvio admissível para placas de orifício é de 2%. Esse desvio maior encontrado é justificado pela faixa de Reynolds limitada dos experimentos, bem abaixo daquela que caracteriza escoamento completamente turbulento, podendo ainda estar associado ao diâmetro inadequado do tubo de Pitot disponível à realização dos experimentos. Os resultados podem ainda ter sido influenciados por erros na localização dos pontos de medição da pressão diferencial através deste instrumento.

A incerteza associada à medição de vazão através da placa de orifício foi de 17,5 Pa. Já a incerteza na medição da velocidade pontual utilizando-se tubo de Pitot foi de 1,80 m/s.

As características geométricas da placa, assim como os valores dos números de Reynolds utilizados na simulação refletiam a situação real. O modelo k- ϵ padrão usado na modelagem do escoamento turbulento de ar através de placa de orifício mostrou-se adequado para a determinação da vazão, com erro relativo inferior a 0,5 %.

A montagem utilizada para os experimentos não permitiu a obtenção de escoamentos de ar totalmente turbulentos como seria desejável para o estudo experimental. Na faixa de Reynolds obtida, uma incerteza da ordem de 5% é prevista para os coeficientes de descarga fornecidos por norma para o cálculo da vazão através de uma placa de orifício. Os valores obtidos experimentalmente neste trabalho estão totalmente de acordo com esta informação.

5. REFERÊNCIAS

- ANSI/API 2530, 1985 "Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids", 2nd Edition, American Gas Association and American Petroleum Institute, Washington, DC.
- Bower, J., 1995, "Backward Orifice Plate Causes Major Gas Flow Measurement Error", Oil & Gas Journal, August 14.
- Branch, J. C., 1995 "The Effects of an Upstream Short Radius Elbow and Pressure Tap Location on Orifice Discharge Coefficients", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 6, No.3, pp. 157-162.
- Brennan, J. A., McManus, S. E., Sind, C.F., Kothari, K. M., 1986, "The Influence of Swirling Flow on Orifice and Turbine Flowmeter Performance", Presented at International Symposium on Fluid Flow Measurement, Washington, DC, November 16-19.
- Delmè, G. J., 1983, "Manual de Medição de Vazão", Edgard Blücher Ltda.
- França, G. A. C., Tavares, S. G., 2002, "Erros em Medições de Vazão com Placas de Orifício Instaladas em Posição Invertida", Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, Paraíba.
- ISO 5167-1, 1991, "Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices, Part 1: Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes Inserted in Circular Cross Section Conduits Running Full", First Edition, 1991-12-15.
- Lansverck, N. B., 1984, "Effects of Abnormal Conditions on Accuracy of Measurement", Presented at ISHM.
- Laws, E.M., Ouazzane, A. K., 1994, "A Further Investigation into Flow Conditioner Design Yielding Compact Installations for Orifice Plate Flow Metering", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 6, No.3, pp. 187-199.
- Laws, E.M., Ouazzane, A. K., 1995, "A Preliminary Study into the Effect of Length on the Performance of the Etoile Flow Straightener", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 6, No.3, pp. 225-233.
- Martins, N., 1998, "Manual de Medição de Vazão Através de Placas de Orifício, Bocais e Venturis", Rio de Janeiro, Interciêncie, Petrobrás.
- Mattingly, G.E., Yeh, T.T., 1991, "National Institute of Standards and Technology Industry-Government Consortium Research Program on Flowmeter Installation Effects", Summary Report with Emphasis on Research Period May 1989-February 1990, NISTIR 91-4779, Gaithersburg, MD, USA.
- Miller, R. W., 1983, "Flow Measurement Engineering Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company.
- Morrison, G. L., Hauglie, J., DeOtte, R. E. Jr., 1995 "Beta Ratio, Axisymmetric Flow Distortion and Swirl Effects upon Orifice Flow Meters", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 6, No.3, pp. 207-216.
- Murakami, M., Kito, O., 1980 "Effects of Swirling Flow Component on Discharge Coefficients of Constriction Meters", Pulletin of the JSME, Vol. 23. No. 175.
- Novitskii, P. V., 1996, "Correting the Error of a Flow Meter by Blunting the Edge of Orifice Plate", Measurement Techniques, Vol. 39, No. 11.
- Sheikholeslami, M. Z., Patel, B. R., Kothari, K., 1988, "Numerical Modeling of Turbulent Flow Through Orifice Meters – a Parametric Study", International Conference on Flow Measurement, London, UK, PAPER B2, 11-13.
- Valle, R. M., 1995, "Escoamento Laminar em Placas de Orifícios – Análise Teórica e Experimental em Regime Permanente e Transiente", Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis.
- Witte, J. N., 1999, "Proper Orifice Meter Test Must Include Plate, Tube Inspection – Error-Producing Conditions Can Be Overlooked by Routine Focus on Secondary Instrument Calibration", Pipe Line & Gas Industry, Vol. 82, No. 12.
- Zanker, K., Goodson, D., 2000, "Qualification of a Flow Conditioning Device According to the New API 14.3 Procedure", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 11, pp. 79-97.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF TURBULENT AIR FLOW IN A DUCT WITH A CONCENTRIC ORIFICE PLATE

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. *Although technological advances make more sophisticated fluid meters available, the orifice plates are still the most used primary elements in industry. This study aims at contributing for the comprehension of the characteristics of the flow upstream, through and downstream a orifice plate and for the identification of the main sources of uncertainties about flow measurement with this type of device. In addition to that, a numerical and experimental study on turbulent air flow has been carried out using a concentric orifice plate with diameter ratio, β , equals 0.687. The standard $k-\varepsilon$ model was used in flow simulations through the plate. The experimental procedures were carried out in the fluid mechanics laboratory at the Mechanical Engineering Department of the Universidade Federal de Minas Gerais. The theoretical results are properly in accordance with the experimental results for Reynolds's numbers between 3.3×10^4 and 8.9×10^4 .*

Keywords. *orifice plate, turbulent flow, numerical simulation, uncertainty.*