

# **DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO E DE UM SOFTWARE PARA O CÁLCULO DA VAZÃO**

MAIRA C. RUIZ<sup>1</sup>; ALFREDO A. VITALI<sup>2</sup>; MARIA I. BERTO<sup>3</sup>

Nº 0701002

## **Resumo**

O trabalho com medidores de vazão consistiu na comparação de vazão dada pela equação de Bernoulli adaptada para fluidos reais utilizando Medidor de Venturi com aquela fornecida por medidor de velocidade de ar calibrado. Variando-se a frequência do ventilador, puderam ser obtidas várias vazões para um mesmo arranjo estrutural. As principais diferenças entre os arranjos foram os diâmetros do tubo de PVC e da garganta do venturi. Para o tubo de PVC de 75 mm de diâmetro nominal foram utilizados valores de 0,0376 e 0,0475 mm para o diâmetro da garganta. Para o tubo de 100mm de diâmetro nominal, foi utilizado o valor de 0,0715 mm para o diâmetro da garganta. Os resultados obtidos para a comparação da vazão apresentaram um erro inferior a 3,2 % e boa repetibilidade.

## **Abstract**

This work was based on the comparison between the flow measurement calculated with the adapted Bernoulli's equation for real fluids and the measurement of a calibrated anemometer. There were built more than one venturi with different ratios between the throat diameter and the pipe diameter. For nominal pipe diameter of 75 mm, this relation was 0,52 and 0,66. For nominal pipe diameter of 100 mm, this relation was 0,73. The results of the comparison had an error less then 3,2% and has good precision.

## **Introdução**

A medição de vazão consiste na determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local num intervalo de tempo. Essa quantidade pode ser representada pela massa, ou pelo volume (CEFETES,2006).

1. Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas-SP, ✉ mairacz@gmail.com

2. Orientador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

3. Colaborador: Pós-doutoranda, GEPC/ITAL, Campinas-SP

Se houver uma constrição no tubo, haverá um aumento na velocidade e, dessa forma, na Energia Cinética. Pela equação de Bernoulli, deverá haver uma correspondente redução da pressão estática. Assim, a vazão volumétrica poderá ser calculada sabendo-se essa redução de pressão, a área pela qual o fluido passa na constrição, a densidade do fluido e o coeficiente de dispersão C (SAKIADIS, 1973).

A equação de Bernoulli é uma proposição decorrente da Lei de Conservação da Energia adaptada a problemas que envolvem fluidos (HALLIDAY & RESNICK, 1991).

Equação 1

$$N_v C Y d_2^2 \sqrt{\frac{g_c (p_1 - p_2)}{\rho (1 - \beta^4)}}, \text{ sendo: } Y = f(p, d, D, c_p, c_v); C = f(d, D, Re); Re = f(D, \rho, \mu, q).$$

Isso significa que o cálculo da vazão depende de C que depende da própria vazão. Com isso, utilizou-se um método iterativo, no qual tem-se um valor inicial de C e, a partir dele, um valor de vazão, e com esta, um valor de velocidade e, deste, um Re. Deste Re, por meio de equação que relaciona este parâmetro com C, calcula-se novo C, nova vazão, nova velocidade, novo Re e assim por diante. A interação é finalizada quando a diferença entre as vazões for menor que  $10^{-4}$ .

**TABELA 1.** Descrição dos componentes da equação de Bernoulli adaptada para fluidos reais.

Símbolo	Descrição	Unidade
C	Coeficiente de Dispersão	-
$Y_1$	Fator de expansão gasosa baseado na pressão do ponto de medição de pressão de entrada	-
d	Diâmetro do medidor de vazão diferencial nas condições de escoamento	mm
D	Diâmetro interno do tubo nas condições de escoamento	mm
$\rho$	Densidade do fluido	kg/m <sup>3</sup>
$\beta$	Relação entre diâmetro do medidor de vazão diferencial e o do tubo	-
q	Vazão volumétrica nas condições de escoamento	m <sup>3</sup> /s
$N_v$	Fator N para vazão volumétrica em m <sup>3</sup> /s	0,00003512407
p	Pressão	kPa
gc	Constante dimensional	1,0 Kg m / (N s <sup>2</sup> ) ou 32,2 lb ft/(lbf s <sup>2</sup> )
Re	Número de Reynolds no tubo nas condições de escoamento.	-
$\mu$	Viscosidade absoluta	Pa.s
$c_p$	Calor Específico a pressão constante	J/kg.K
$c_v$	Calor Específico a volume constante	J/kg.K

## MATERIAIS E MÉTODO

### Materiais

Os ensaios experimentais foram conduzidos na planta piloto de operações unitárias do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, em Campinas, SP.

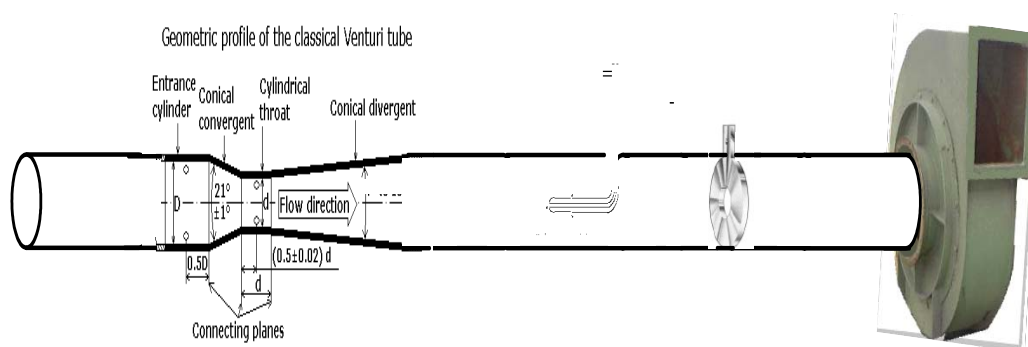
Foram utilizados:

- Tubo PVC 75; 100 e 150 mm;
- folha de alumínio 0,3 mm;
- Ventilador centrífugo com a marca “Ventiladores Bernauer S/A”;
- Medidores de velocidade de ar: Anemômetro de Fio Quente; AIRFLOW <sup>TM</sup> TA3 anemômetro/termômetro; Anemômetro de hélice analógico Georg Rosenmüller Dresden N 6; Termo Anemômetro Digital MDA II MINIPA.
- Programa para construção de setores cônicos do venturi em Microsoft® Excel 2002;
- Inversor de frequência SIEMENS;
- Manômetros de água de 1,5m de altura;

### Metodologia

A execução deste trabalho constou de sete etapas distintas:

- Montagem do experimento e produção de placas de orifício e de manômetros de água;



**Figura 1:** Ilustração da montagem de experimento.

- Elaboração de programa para facilitar a construção, a partir de uma folha de alumínio, dos setores cônicos constituintes do Venturi.

- Construção de Venturi: os dois setores cônicos foram formados pelos respectivos setores de circunferência traçados na folha de alumínio, cujos parâmetros foram calculados no programa citado. A parte cilíndrica, ou garganta, foi formada de um retângulo dessa folha.
- Implementação de programa para cálculo da vazão volumétrica por método iterativo utilizando a equação de Bernoulli adaptada e a que relaciona  $Re$  com  $C$ .
- Calibração de anemômetro de hélice analógico com anemômetro de hélice digital calibrado: mediu-se com o primeiro, substituiu-o pelo segundo e fez-se nova medição. As respectivas vazões foram plotadas em gráfico, formando uma reta, cujo coeficiente angular seria o fator de correção do anemômetro analógico.
- Obtenção de dados e análise: com o inversor de frequência variou-se a rotação do ventilador e, com isso, a vazão. Em cada frequência, foram obtidos: o diferencial de pressão do venturi; a pressão na garganta; as velocidades dadas pelos anemômetros de hélice analógico/digital e de fio quente, sendo este colocado em três pontos ao longo do tubo; e as pressões nesses pontos.
- Compilação de manual que auxilie na construção de medidores de vazão informando como utilizar os programas para construção de venturi e para cálculo da vazão volumétrica.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

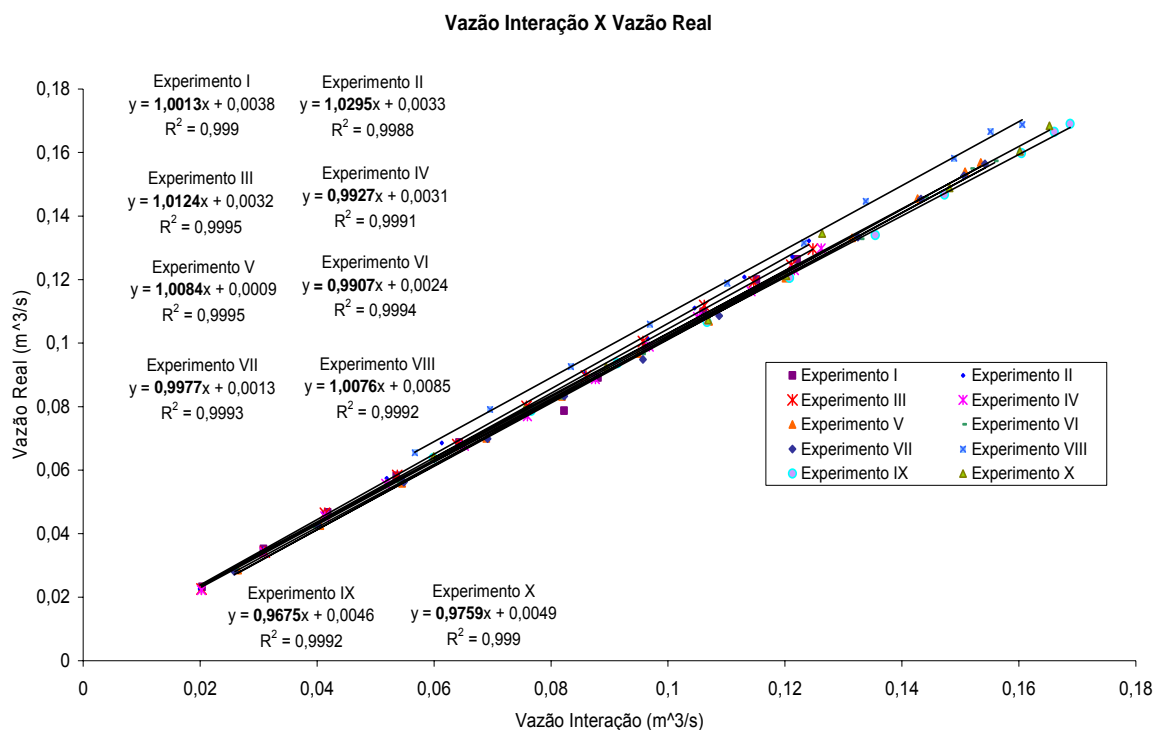
Os valores obtidos para o fator de correção do anemômetro de hélice analógico foram: 0,9777, 1,0045 e 1,015 e, com esses valores, considerou-se que o mesmo tem boas exatidão e precisão no intervalo experimentado.

Os valores encontrados para a relação entre a vazão dada pelo anemômetro de hélice e a calculada a partir de leitura de pressão do venturi encontram-se na tabela 2.

A figura 2 apresenta os resultados de todos os experimentos mostrando a concordância dos mesmos e, dessa forma, permitindo uma generalização no uso dos cálculos.

**TABELA 2.** Resultados para a relação entre vazão do anemômetro e a calculada a partir do diferencial de pressão do venturi

Experimento	$\beta$	d (m)	D (m)	Vazão anemômetro/ Vazão calculada pelo método
I	0,52	0,0376	0,0715	1,0013
II	0,52	0,0376	0,0715	1,0295
III	0,52	0,0376	0,0715	1,0124
IV	0,52	0,0376	0,0715	0,9927
V	0,66	0,0475	0,0715	1,0084
VI	0,66	0,0475	0,0715	0,9907
VII	0,66	0,0475	0,0715	0,9977
VIII	0,73	0,0715	0,098	1,0076
IX	0,73	0,0715	0,098	0,9675
X	0,73	0,0715	0,098	0,9759



**Figura 2:** Ilustração de todos os experimentos. Cada ponto representa uma frequência.

Foram construídas placas de orifício, sendo que a vazão calculada a partir deste e a vazão do anemômetro de hélice destoam em até 15%. Esse erro se deve principalmente a problemas construtivos e de fixação do tubo de PVC. Novas medições devem ser realizadas, minimizando-se esses efeitos.

No que se refere ao fio quente, o mesmo tem ampla faixa de variação para uma mesma frequência, não se mostrando confiável e, portanto, suas medições não foram consideradas.

## CONCLUSÃO

Com o tubo de PVC de 75 mm de diâmetro nominal e um  $\beta$  de 0,52, as relações obtidas entre as vazões do anemômetro de hélice e do venturi foram 1,0013; 1,0295; 1,0124 e 0,9927. Com um erro menor que 3,0% e em média 1,26%, a metodologia para o cálculo da vazão a partir do venturi foi considerada com boa exatidão, sendo que os experimentos apresentaram boa precisão.

Com esse mesmo tubo de PVC de 75 mm de diâmetro nominal e um  $\beta$  de 0,66, os valores obtidos para a relação entre a vazão dada pelo anemômetro de hélice analógico e a calculada a partir de leitura de pressão do venturi foram 1,0084; 0,9907 e 0,9977. Esse erro centesimal, menor que 1,0% e, em média, 0,67%, demonstra a exatidão do método desenvolvido. Além disso, observa-se a boa precisão do mesmo.

Com os experimentos realizados com o tubo de PVC de 100 mm de diâmetro nominal e um  $\beta$  de 0,73, foram obtidos os seguintes resultados para a relação entre as vazões do anemômetro de hélice analógico e a calculada a partir do venturi: 1,0076; 0,9675 e 0,9759. Isso demonstra que, apesar de se ter extrapolado quanto ao valor de  $\beta$  preconizado pelo método (0,3 a 0,7), obteve-se boas precisão e exatidão com um erro menor que 3,2% e, em média, 2,14% entre as vazões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESPÍRITO SANTO (CEFETES). UNED SERRA. **Instrumentação Industrial: Vazão**. 1ª ed. 2006. Disponível em: <http://www.zegeraldo.com.br/downloads/Instrumentacao%20Modulo%20Vazao.pdf> Acesso em: dez. 2006.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991. Cap. 16, p.88-90.

MILLER, Richard. W. **Flow Measurement Engineering Handbook**. 3.ed. Nova York: Mc GRAW-HILL. 1996. p. 6.9;6.13-6.15;6.19-6.35;9.18;10.36;10.37;10.39;10.41;10.46;10.62; 10.63.

SAKIADIS, Byron C.. Fluid and Particle Mechanics. In: PERRY, Robert H.; GREEN, Don W.. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 6ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 1973. Cap. 5, p. 5-5; 5-6; 5-9 a 5-19; 5-26 a 5-27.