

# CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE TUBOS VENTURI PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO

R. A.FRANCO<sup>1</sup>, T. J. A. SILVA<sup>2</sup>, T. A. BOTREL<sup>3</sup>, S. N. DUARTE<sup>3</sup>

**RESUMO:** Visando obter instrumentos de medição de vazão por meio de dispositivos eletrônicos, de boa precisão e exatidão, este trabalho se propôs calibrar e avaliar medidores Venturi. Os Venturis 1 (DN 50) e Venturi 2 (DN 75) foram calibrados e avaliados no Laboratório de Hidráulica da ESALQ / USP. O sistema de mensuração foi constituído por um sensor de pressão, um conversor AD, um microcontrolador, um display digital, uma fonte de alimentação e um regulador de tensão. Para a calibração foram utilizados dados de vazão e sinal digital em 200 pontos para cada Venturi. A avaliação foi realizada comparando os dados de vazão obtidos pelos medidores construídos, em relação aos valores proporcionados por um sistema de medição de vazão (padrão). Desenvolveram-se programas na linguagem “Tbasic”. Os medidores apresentaram uma boa precisão e exatidão ( $r^2 = 0,99$  e  $0,99$  para os Venturis 1 e 2, respectivamente) quando comparados com o medidor padrão. A faixa de trabalho dos medidores, testados em velocidades até  $5,95 \text{ m s}^{-1}$  (Venturi 1) e até  $3,85 \text{ m s}^{-1}$  (Venturi 2) está de acordo com as velocidades recomendadas para as tubulações de recalque de irrigação. Os desvios médios nas leituras foram maiores ( $>\pm 2 \%$ ) para velocidades inferiores a  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ .

**PALAVRAS - CHAVE:** irrigação, hidráulica, eletrônica;

## CALIBRATION AND EVALUATION OF VENTURIMETERS FOR FLOW MEASUREMENT

**SUMMARY:** The purpose of this study was calibration and evaluation of two Venturimeters in order to obtain a flow measurement instrument through electronic devices. The devices

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Pesquisador, Universidad Nacional de Asuncion, Facultad de Ciencias Agrárias, Asunción – Paraguay, 559971971311307, e-mail: rubenf27@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Pesquisador Doutor, Centro de Ecofisiologia e Biofísica IAC, Campinas, SP, e-mail: tjasilva@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, e-mail: tabotrel@esalq.usp.br

were constructed, calibrated and evaluated in the Hydraulics Laboratory of ESALQ / USP. PVC and fiberglass were used to build the Venturimeters. The measurement system was constituted for a pressure sensor, an analogical/digital converter, a microcontroller, a digital display, a power supply and a voltage regulator. For calibration flow data at 200 points and digital signal were used. The evaluation was carried out using a flow metering system, constituted for a flow sensor, type rotor, and a control unit. Programs in the “Tbasic” language were developed. The results showed that after calibration the devices presented good accuracy ( $r^2 = 0.9979$  and  $r^2 = 0.9982$  for Venturis 1 and 2, respectively). The work range of the Venturimeters (maximum water speed of 5.95 and 3.85 for Venturi 1 and 2, respectively) is according with the usually recommended speed range for water in irrigation pipes. For speeds lower than  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  the error ( $>\pm 2 \%$ ) increase for both tested Venturimeters.

**KEY WORDS:** irrigation, hydraulic, electronic;

**INTRODUÇÃO:** A concorrência pelo uso dos recursos hídricos faz necessária uma otimização do uso dos mesmos visando atingir uma maior eficiência no uso e manejo da água. Porém, para se obter esse aumento na eficiência é preciso implementar sistemas de controle e medição da água. Para a medição de vazão nos condutos forçados, destaca-se o uso de diafragmas, bocais e medidores Venturi.(Denículi, 1990). Os medidores do tipo diferencial de pressão constituem cerca de 50% dos equipamentos utilizados em condutos forçados. O Venturi é o medidor com melhor desempenho entre os seus similares, na categoria de medidores de obstrução (Schneider, 2003). No medidor venturi a vazão é calculada pela expressão  $Q = C_d m. h^{1/2}$  em que  $Q$  é a vazão,  $C_d$ , um coeficiente de descarga (adimensional)  $h$  o diferencial de pressão e  $m$  constante, que engloba as variáveis conhecidas do medidor. Um valor de  $C_d$  de 0,984 pode ser adotado para todos os diâmetros de medidores Venturis de 50 até 750 mm (Spink, 1967), na prática os valores de  $m$  e o expoente de  $h$  são determinados, experimentalmente, por meio de uma regressão do tipo potência Segundo Vilela et al. (2003) a evolução da eletrônica e a expansão do mercado têm possibilitado o acesso a instrumentos que antigamente eram disponíveis apenas em avançados centros de pesquisa. A Engenharia Agrícola tem se beneficiado desse avanço tecnológico, seja no desenvolvimento de novos equipamentos ou na adaptação dos já desenvolvidos em outras atividades. Os microcontroladores disponíveis no mercado possuem um grande potencial de aplicação na agricultura, existindo unidades compactas com preços acessíveis, possibilitando a automação,

com o controle do funcionamento hidráulico da irrigação por meio do uso de sensores de pressão e/ou vazão.

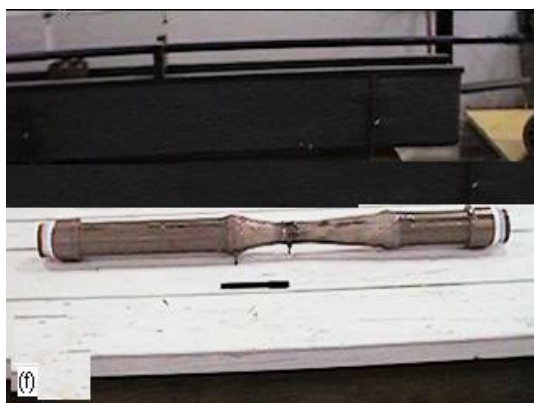
**MATERIAL E MÉTODOS:** Os Venturis calibrados e avaliados foram construídos com tubulação soldável de PVC (partes cilíndricas) e os cones convergentes e divergentes foram fabricados com fibra de vidro. Na Tabela 1 encontram-se as dimensões dos medidores de vazão que foram utilizados.

TABELA 1 - Dimensões dos medidores Venturi utilizados.

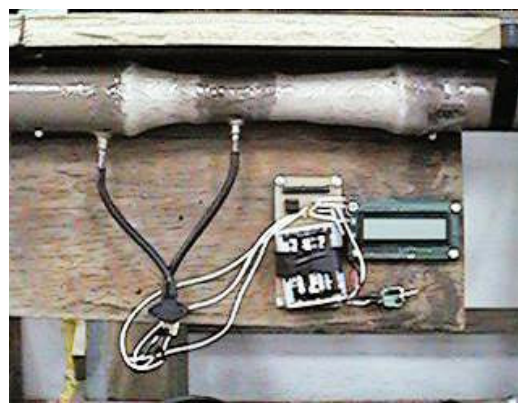
Venturi	Comprimento	Dimensões (mm)				Relação entre diâmetros (d/D)
		Diâmetro				
		Principal		Garganta		
		Nominal	Interno	Nominal	Interno	
1	680,28	50,00	44,00	32,00	27,80	0,63
2	899,36	75,00	66,60	40,00	35,20	0,53

Nota: para os dois Venturis utilizaram-se ângulos de 21° e 10° para as seções convergentes e divergentes respectivamente.

O sistema de mensuração foi constituído por um sensor diferencial de pressão, um conversor AD (analógico-digital), um microcontrolador (Basic Step 1) e um display digital, uma fonte de alimentação e um regulador de tensão. Desenvolveram-se programas na linguagem “Tbasic”, utilizados nas duas etapas do trabalho. Para calibrar cada medidor Venturi foram feitas 200 leituras de vazão, obtida pelo método volumétrico, e sinal digital por intermédio da leitura do conversor AD. Considerando como única variável a leitura do conversor AD ( $L_c$ ), a vazão pode ser expressa pela equação  $Q = K L_c^{1/2}$ , onde  $K$  é uma constante, que engloba as variáveis conhecidas do medidor. A avaliação dos medidores Venturis foi realizada comparando os dados de vazão obtidos, com os proporcionados por um sistema de medição de vazão, composto por um sensor de vazão e uma unidade controladora. A Figura 1 apresenta uma vista de um dos Venturis sem e com o sistema de mensuração.



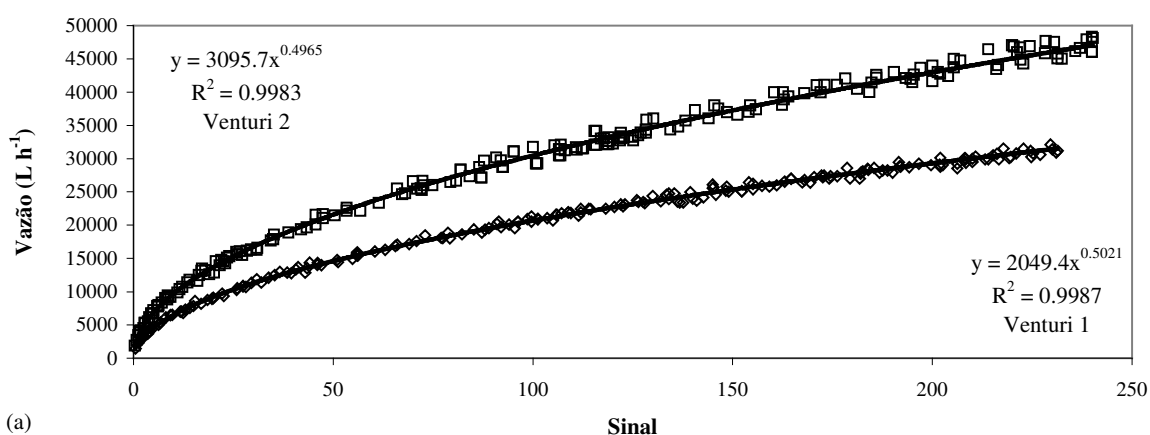
(a)



(b)

FIGURA 1. Venturi no final da construção (a), Venturi com o sistema de mensuração (b)

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na calibração dos medidores Venturi, foram utilizados os dados de vazão medidos e as leituras do sinal digital, com um total de 200 pares de dados para cada Venturi. O ajuste potencial dos dados de vazão em função do sinal digital apresentou um  $r^2$  de 0,9987 para o Venturi 1 (DN 50) e  $r^2$  de 0,9983 para o Venturi 2. O valor da constante K foi estabelecido por intermédio de uma regressão linear entre a vazão e a raiz quadrada do sinal digital, forçando à reta passar pela origem (coeficiente angular nulo) de forma que o coeficiente angular representa o valor do coeficiente K. A Figura 2(a) apresenta os dados de vazão em função do sinal digital, assim como o ajuste potencial dos dados. A Figura 2 (b) apresenta os valores de K e as equações de vazão para os dois Venturis.



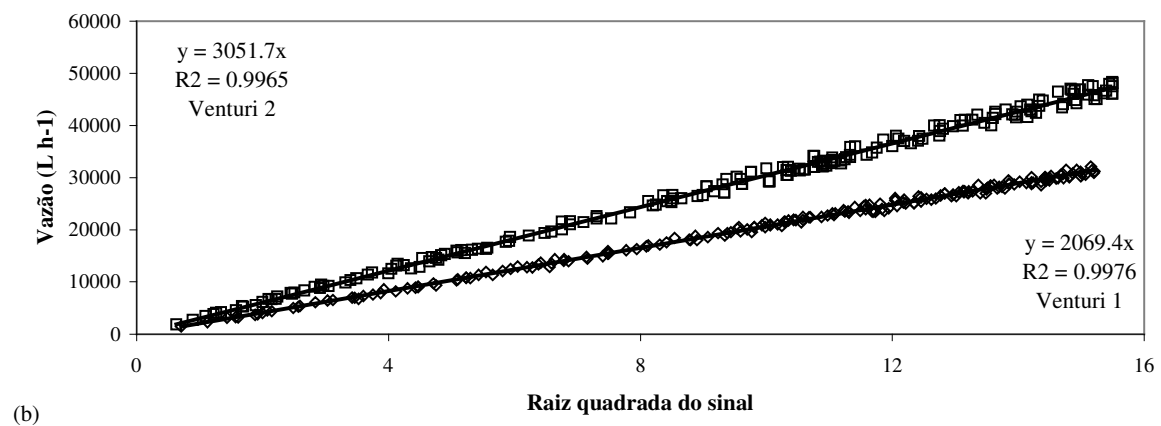


FIGURA 2: Dados de vazão em função do sinal digital para o Venturi 1(a) e Venturi 2 (b), valores de K para o Venturi 1(c) e Venturi 2 (d).

Na avaliação Os dados fornecidos pelos Venturis foram comparados com a vazão medida pelo sistema GF SIGNET. A Figura 3 (a e b) apresenta a dispersão de pontos relativos à correlação entre as vazões dos venturis e do GF SIGNET, em torno da reta 1:1. Assim como o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o índice de concordância ( $d$ ).

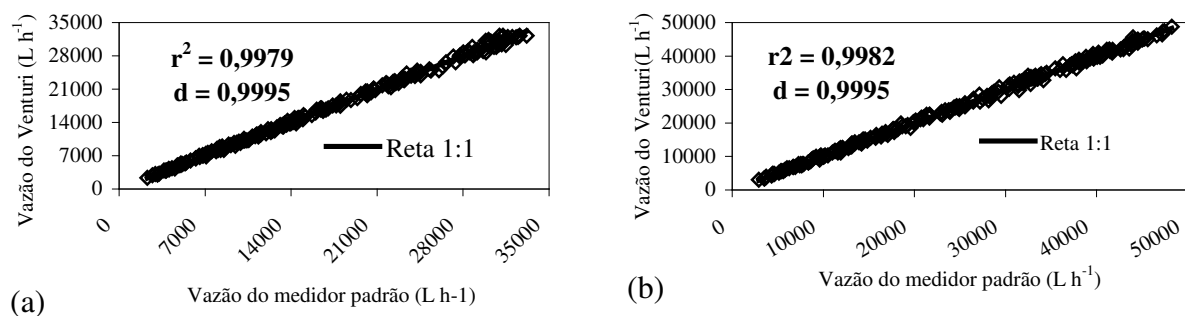


FIGURA 2: Dispersão de pontos relativos à correlação entre as vazões dos venturis e do GF SIGNET para o Venturi 1 (a) e Venturi 2 (b), desvios na leitura para o Venturi 1 (c) e Venturi 2 (d).

Para o medidor Venturi 1 (DN 50), a faixa de trabalho foi de 2329 até 32230 L h<sup>-1</sup>, com velocidades de 0,41 m s<sup>-1</sup> a 5,95 m s<sup>-1</sup> e número de Reynolds entre 18160 e 262000, totalizando 200 leituras. O medidor Venturi 2 (DN 75) foi avaliado para vazões na faixa de 2909 L h<sup>-1</sup> a 48259 L h<sup>-1</sup>, o que compreende velocidades de 0,23 m s<sup>-1</sup> a 3,85 m s<sup>-1</sup>, correspondendo a um número de Reynolds de 15295 a 253751, totalizando 220 leituras. Para os dois modelos, os valores citados correspondem aos fornecidos pelo medidor GF SIGNET. A Tabela 2 apresenta o desvio médio por faixa de velocidade, para os dois Venturis testados.

Tabela 2 - Desvio percentual médio nas leituras dos Venturis testados por faixa de velocidade

Modelo	Velocidade na tubulação ( $\text{m s}^{-1}$ )			
	até 1,5	de 1,5 a 3	de 3 a 5	> 5
Venturi 1	de -2,36 a 3,43	de -1,60 a 2,28	de -1,53 a 1,35	de -1,61 a 1,97
Venturi 2	de -2,01 a 3,37	de -1,95 a 1,85	de 1 a 1,29	-

Nota: Velocidade máxima: Venturi 1(DN 50)  $5,95 \text{ m s}^{-1}$ , Venturi 2 (DN 75)  $3,85 \text{ m s}^{-1}$

Os coeficientes de descarga foram de 0,967 para o Venturi 1 e 0,932 para o Venturi 2 (DN 75). A Tabela 3 apresenta as equações de perda de carga em função da vazão dos Venturis.

Tabela 3 - Equações de perda de carga dos Venturis (kPa) testados em função da vazão ( $\text{L h}^{-1}$ )

Modelo	Equação	$r^2$
Venturi 1	$hf = 1 \cdot 10^{-7} Q^{1,8607}$	0,9934
Venturi 2	$hf = 3 \cdot 10^{-8} Q^{1,9017}$	0,9947

**CONCLUSÕES:** Com base nos resultados obtidos e considerando-se as condições em que foram realizados os testes de laboratório, chegou-se às seguintes conclusões: a avaliação demonstrou que os Venturis construídos, após calibração, forneceram medidas com boa precisão e exatidão quando comparadas com o medidor utilizado como padrão; a faixa de trabalho dos Venturis construídos e avaliados está de acordo com as velocidades usuais recomendadas para as tubulações de recalque de sistemas de irrigação; para ambos os Venturis testados os desvios nas leituras foram maiores para velocidades inferiores a  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ , observando-se menores desvios para velocidades maiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENÍCULI, W. Medidores de vazão tipo orifício. Viçosa: UFV. 1990.43 p.

SCHNEIDER, P. Medição de pressão e vazão em fluidos.

[http://www.geste.mecanica.ufrgs.br/pss/medterm/Pressao\\_vazao.pdf](http://www.geste.mecanica.ufrgs.br/pss/medterm/Pressao_vazao.pdf) (19 set. 2003)

SPINK, L.K. Principles and practice of flow meter engineering. Foxboro: The Foxboro Company. 1967. 575 p.

VILELA, L. A.A.; CARVALHO, H. P.; PRADO, G.; BOTREL, T.A. Construção e calibração de um manômetro digital microprocessado (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., Goiânia, 2003. Goiânia: CONBEA, 2003. 4p.