

## DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADE DE ESCOAMENTO ATRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS

Rogério Ricalde Torres<sup>1</sup>, Taise Cristine Buske<sup>1</sup>, Adroaldo Dias Robaina<sup>2</sup>, Ricardo Benetti Rosso<sup>1</sup>,  
Tonismar dos Santos Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomos Msc. em Engenharia Agrícola, alunos de Doutorado do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. Fone: 32209383 . E-mail: [rogeriocprtortes@gmail.com](mailto:rogeriocprtortes@gmail.com), [taisecbuske@gmail.com](mailto:taisecbuske@gmail.com), [cadorosso@gmail.com](mailto:cadorosso@gmail.com), [tonismarpereira@gmail.com](mailto:tonismarpereira@gmail.com).

<sup>2</sup>Professor, Doutor, Universidade Federal de Santa Maria. Fone: 32209383 . E-mail: [diasrobaina@gmail.com](mailto:diasrobaina@gmail.com).

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola / CONBEA 2014.

**RESUMO:** Em sistemas de irrigação pressurizados a velocidade é fator determinante das perdas de energia que vão compor a altura manométrica do sistema, e conseqüentemente a potência necessária a ser fornecida ao conjunto elevatório. Com o objetivo de comparar as velocidades de escoamento obtidas de diferentes formas, desenvolveu-se no Laboratório de Hidráulica Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, um experimento realizado com um sistema de bombeamento de água em circuito fechado, com tubulação de diâmetro interno de 36 milímetros e comprimento de 4 metros, utilizando um medidor ultra-sônico UFM170 e um manômetro de mercúrio. A velocidade obtida com o medidor ultra-sônico foi comparada com as calculadas através das formulas de Hazen-Williams e Flamant, que utilizam a perda de carga obtida com o manômetro de mercúrio para obtenção da velocidade. A avaliação do desempenho das fórmulas utilizadas foi feita pelo índice de desempenho (Id), usando a medida feita com medidor ultra-sônico como referência. Os resultados obtidos através das equações não mostraram diferença significativa, indicando que as fórmulas testadas apresentaram desempenho “Ótimo” para as condições do estudo, podendo ser utilizadas na determinação de velocidades.

**PALAVRAS-CHAVES:** condutos forçados, hidráulica, perda de energia

## DETERMINATION OF SPEED OF FLOW THROUGH DIFFERENT METHODS

**ABSTRACT:** In pressurized irrigation systems, velocity is the determining factor of the energy losses that will compose the head height of the system, and consequently the power required to be supplied to the riser assembly factor. In order to compare the flow velocities obtained in different ways, developed at "Laboratório de Hidráulica Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM", an experiment conducted with a system of pumping water in closed circuit with pipe inner diameter 36 mm and length of 4 meters, using an ultrasonic flowmeter UFM170 and mercury manometer. The speed obtained with the ultrasonic flowmeter was compared with those calculated by the formulas of Hazen-Williams and Flamant, that use the pressure drop obtained with the mercury manometer to obtain the velocity. Performance evaluation of formulas used was taken by performance index (Id), using measures taken with ultrasonic flowmeter as reference. The results obtained using equations showed no significant difference, indicating that the formulas tested had performance "great" for the conditions of the study, may be used in determining velocities.

**KEYWORDS:** penstocks, hydraulics, power loss

**INTRODUÇÃO:** O futuro da agricultura está em modelos de produção mais avançados, que permitam o controle de todos os insumos, especialmente da água. O uso da água de maneira consciente e eficiente em sistemas hidráulicos (irrigação, abastecimentos de rede, etc), faz com que o desperdício seja mínimo, possibilitando um futuro mais promissor. Segundo Linsley (1978), caso houver escassez de água os condutos forçados (canalizações e tubulações) podem ser usados para evitar perdas por vazamento e por evaporação, que podem ocorrer em canais e em certos tipos de condutos com escoamento a céu aberto. A Hidráulica é a disciplina que deve oferecer os recursos técnicos necessários para os projetos, gerenciamento e manutenção de sistemas que envolvam os fluidos com destaque especial à água (MARTINS et al., 2004). A medição da velocidade é um importantes aplicação da hidrometria (AZEVEDO NETTO, 1998), sendo usada para diversos fins, tais como em sistemas de irrigação.

Em sistemas de irrigação pressurizados a velocidade é fator determinante das perdas de energia que vão compor a altura manométrica do sistema, e conseqüentemente a potência necessária a ser fornecida ao conjunto elevatório.

Assim, ao dimensionarmos uma tubulação, normalmente temos na velocidade fator limitante, pois velocidades altas implicarão em custo operacional alto gerado pela perda de energia significativa, enquanto velocidades baixas irão ocasionar elevação no custo fixo pelo preço da tubulação. O material também poderá associar elevação do custo fixo e/ou do custo operacional.

**OBJETIVOS:** Comparar a velocidade de escoamento obtida em um medidor ultra-sônico com as obtidas através das fórmulas de Hazen-Willians e Flamant utilizando um manômetro de mercúrio.

**METODOLOGIA:** O trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. O fornecimento de água para o desenvolvimento do experimento foi realizado com um sistema de bombeamento da água em circuito fechado. Na tabela 01 são apresentados os valores médios obtidos experimentalmente, sendo que foram registrados os dados de: velocidade de escoamento ( $m.s^{-1}$ ) no medidor ultra-sônico UFM170; leitura da perda de carga no manômetro de mercúrio (mmHg).

Tabela 1 - Valores médios obtidos experimentalmente.

Ponto	Velocidade Medidor ultra-sônico	Piezômetro
	$m.s^{-1}$	mmHg
1	0,45	4,3
2	0,81	8,0
3	1,34	13,7
4	1,83	32,0
5	2,35	51,3
6	2,78	70,0
7	3,34	98,0

Para a obtenção da velocidade pela leitura do manômetro de mercúrio, utilizou-se a fórmula de cálculo da perda de carga pelos métodos de Hazen-Willians e Flamant. O diâmetro interno da tubulação encontrado foi de 36 mm, e o comprimento entre as tomadas do manômetro de mercúrio de 4 m.

Para transformar a altura diferencial da coluna de mercúrio em perda de carga unitária, utilizou-se a expressão:

$$J = \frac{12,6 * \Delta H}{L} \quad (1)$$

Onde, J é a perda de carga unitária ( $m.m^{-1}$ ),  $\Delta H$  é a diferença entre as colunas de mercúrio(m) e L a distancia entre os pontos de medida (m)

A expressão da velocidade da água para a fórmula de Hazen-Willians foi aplicada como na equação:

$$V = 0,355 C D^{0,63} J^{0,54} \quad (2)$$

Onde, V é velocidade de fluxo (m.s<sup>-1</sup>), C é o coeficiente de rugosidade do tubo (igual a 140 para tubos de PVC novos), D é diâmetro da tubulação (m) e J a perda de carga unitária (m.m<sup>-1</sup>).

A velocidade de fluxo para a fórmula de Flamant foi estimada pela equação a baixo que foi simplificada usando o coeficiente para tubo de PVC proposto por Azevedo Netto et al., (1998).

$$V = 78,7832 J^{0,5714} D^{0,7143} \quad (3)$$

Onde, V é velocidade de fluxo (m.s<sup>-1</sup>), J é perda de carga unitária (m.m<sup>-1</sup>) e D o diâmetro da tubulação (m).

Os valores das velocidades calculadas foram comparados para verificar o desempenho de cada modelo de cálculo. Foi feita a regressão linear  $Y = a + b.x$ , entre os valores calculados (X) e os valores medidos experimentalmente (Y), com a finalidade de se obter o coeficiente de correlação *r* que determina a precisão da estimativa pelo grau de dispersão entre os dados obtidos e a média, indicando assim o erro aleatório, o coeficiente linear (a) e o coeficiente angular (b) (Schneider et al., 1998).

Por sua vez a exatidão, relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, foi determinada pelo índice de Willmott (1981). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um, para a concordância perfeita. O índice de concordância fornece o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, (Willmott, 1981).

A avaliação do desempenho das fórmulas utilizadas foi feita pelo índice de desempenho (I<sub>d</sub>), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância.

O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho pode ser visto na Tabela 2 a baixo.

Tabela 2 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes.

Critério de interpretação do índice de desempenho - I <sub>d</sub>				Classes de desempenho	
0,85	>	Id			Ótimo
0,76	<	Id	≤	0,85	Muito Bom
0,66	<	Id	≤	0,76	Bom
0,61	<	Id	≤	0,66	Mediano
0,51	<	Id	≤	0,61	Ruim
0,41	<	Id	≤	0,51	Muito Ruim
		Id	≤	0,41	Péssimo

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A partir dos dados obtidos experimentalmente, é apresentado na Tabela 3 os valores de velocidade encontrados pelas diferentes metodologias.

Tabela 3 - Valores de vazão encontrados pelas diferentes metodologias.

ponto	Velocidade de escoamento (m.s)			
	Medidor ultra-sônico	Hazen-Willians	Flamant	Média
1	0,45	0,60	0,63	0,56
2	0,81	0,83	0,89	0,85
3	1,34	1,11	1,22	1,22
4	1,83	1,75	1,98	1,85
5	2,35	2,27	2,59	2,40
6	2,78	2,68	3,09	2,85
7	3,34	3,21	3,75	3,43

Para melhor visualização dos resultados obtidos é apresentado na Figura 01 a comparação entre os valores de velocidade registrados pelo medidor ultra-sônico e os valores obtidos pelas fórmulas de Hazen-Willians de Flamant, respectivamente.

Na Tabela 4 é apresentado o índice de desempenho dos métodos de Hazen-Willians e de Flamant em relação ao medidor ultra-sônico, nota-se que os dois métodos obtiveram classe Ótimo em relação as

velocidades obtidas.

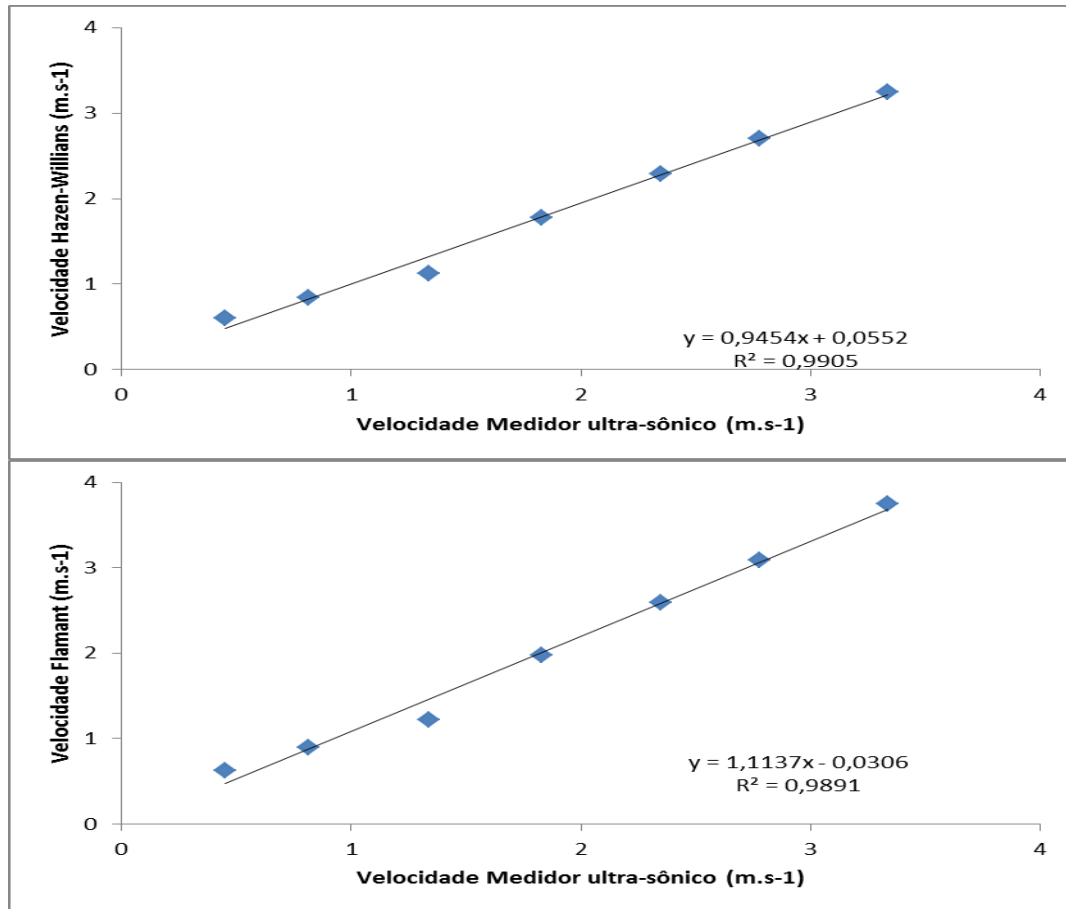


Figura 01 – Comparação entre os valores de velocidade registrados no medidor ultra-sônico com os obtidos pelas fórmulas de Hazen-Willians e de fórmula de Flamant.

Tabela 4 – Análise estatística dos coeficientes lineares e angulares.

Comparação	id	Classe de desempenho
Medidor ultra-sônico X Hazen-Wilians	0,99	Ótimo
Medidor ultra-sônico X Flamant	0,98	Ótimo

**CONCLUSÕES:** De acordo com a metodologia proposta neste estudo e os resultados obtidos foi possível concluir que a velocidade obtida no medidor ultra-sônico não difere das velocidades obtidas com as leituras no manômetro de mercúrio, independentemente do método de cálculo utilizado.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. Hidrometria. In: **Manual de Hidraulica**. 8. Ed ,São Paulo: Edgard Blucher. 1998., cap. 17, p. 423-464.
- LENCASTRE, A. **Escoamento em pressão: Regime permanente**. In: Manual de hidráulica gera I. São Paulo: Edgard Blucher. 1972, p. 63-92.
- LINSLEY, R. K.. **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo: Ed. da Universidade Federal de São Paulo. 1978. 798p.
- MARTINS, J. R. S.; MARTINS, S. L.. **Hidráulica Básica: Guia de estudo- Condutos forçados e instalações de recalque**. EPUSP-PHD. 2004.
- PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. São Carlos: USP, EESC, 1998. 540 p.
- RIBEIRO, M.A.. **Medição de Vazão: Fundamentos e Aplicações**. 5º Ed. Salvador: TeK Treinamento & Consultoria LTDA. 1997.