

## DETERMINAÇÃO DA VAZÃO PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

**LAURA DIAS FERREIRA<sup>1</sup>, ADROALDO DIAS ROBAINA<sup>2</sup>, MARCIA XAVIER PEITER<sup>3</sup>, JUCIANO GABRIEL DA SILVA<sup>4</sup>, SILVANA ANTUNES RODRIGUES<sup>5</sup>, JÉSSICA DARIANE PIROLI<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria – RS. (55)996066026, [lauradiasferreira14@gmail.com](mailto:lauradiasferreira14@gmail.com)

<sup>2</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Profa. Associada, Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria – RS

<sup>4</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>5</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>6</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria – RS.

Apresentado no

L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021

08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** O objetivo do presente estudo foi comparar dois métodos de determinação da vazão em um sistema de bombeamento de água. O estudo foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. Foi utilizado um hidrômetro para as medidas de vazão tomadas como observada (padrão) e dois equipamentos sendo um manômetro diferencial e um tacômetro para as vazões tomadas como estimadas. O estudo foi composto por sequências de ensaios para cada equipamento. Foram testadas diferentes aberturas graduais no registro de gaveta do sistema de bombeamento. Para cada abertura no registro, foram realizadas leituras simultâneas dos equipamentos utilizados para estimar a vazão. Os resultados foram comparados através dos indicadores estatísticos: coeficientes de determinação  $R^2$ , angular e linear,  $I_p$ ,  $I_c$ ,  $I_d$  e RMSD. Os resultados demonstram que o manômetro diferencial apresentou melhores resultados quando comparado ao tacômetro. Neste equipamento, os valores de vazão estimados foram mais próximos da observada e consequentemente com resultados melhores referente aos indicadores estatísticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema de bombeamento de água; manejo da irrigação; medição da vazão.

## FLOW RATE DETERMINATION FOR IRRIGATION SYSTEMS

**ABSTRACT:** The aim of the present study was to compare two methods of determining the flow rate in a water pumping system. The study was carried out by the Hydraulics Laboratory of the Rural Sciences Center of the Federal University of Santa Maria. A water meter was used for the flow rate measurements taken as observed (standard) and two pieces of equipment being a differential pressure gauge and a tachometer for the flows rate taken as estimated. The study was composed of test sequences for each equipment. Different gradual openings were tested in the drawer register of the pumping system. For each opening in the record, simultaneous readings were taken of the equipment used to estimate the flow rate. The results were compared using statistical indicators: coefficients of determination  $R^2$ , angular and linear,  $I_p$ ,  $I_c$ ,  $I_d$  and RMSD. The results demonstrate that the differential manometer showed better results when compared to the tachometer. In this equipment, the estimated flow

rate values were closer to that observed and, consequently, with better results regarding the statistical indicators.

**KEYWORDS:** water pumping system; irrigation management; flow rate measurement.

**INTRODUÇÃO:** Para que um sistema de irrigação seja eficiente, é fundamental a lâmina de água aplicada apresentar uniformidade, verificada através de avaliações periódicas da vazão (CAMPÊLO et al., 2014). As medidas de vazão são consideradas importantes para o melhor controle da prática de irrigação. Quando um projeto de irrigação é instalado, é necessário averiguar se as condições iniciais se confirmam em campo (NASCIMENTO, et al., 2009). Para isso, verificações podem ser realizadas através de avaliações do sistema e da lâmina de água aplicada. Tanto na irrigação convencional quanto na irrigação de precisão, é fundamental a medição da vazão em tempo real (ARMINDO et al., 2011). O produtor necessita da viabilidade técnica e econômica na agricultura irrigada ao implantar um projeto, e o uso de alternativas com nível de qualidade aceitável e menor custo, são pontos decisivos para garantir o sucesso de determinada atividade (CAMARGO, 2009). O conhecimento da vazão é essencial ao implantar projetos que visem a racionalização e o manejo eficiente da água. Realizar medições de vazão com precisão e exatidão conhecidas, são importantes para um melhor controle da prática, impedindo possíveis erros resultantes entre a vazão de projeto e a vazão real na condução e na avaliação da irrigação (SOUSA et al., 2011). Existem equipamentos que medem a vazão e o consumo de água e registram essas informações, porém, há uma carência de pesquisas sobre o uso e comparação destes equipamentos. Uma alternativa que permite a medida da vazão é o uso de instrumentos tais como medidores de pressão (manômetro diferencial) e medidores de rotação (tacômetros). Quando o assunto é a medição da vazão de água, é importante que existam estudos sobre os medidores que fornecem tais informações. A medição do fluxo da água é discutida em diversos estudos na literatura, entretanto, pesquisas discorrendo sobre instrumentos de medida indireta, em condutos fechados, ainda é pouco explorada. Diante disso, o objetivo do trabalho foi comparar dois métodos de determinação da vazão em sistemas de bombeamento de água.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em um sistema de bombeamento de água, no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências Rurais da UFSM. A motobomba (MB) utilizada é da marca Schneider, modelo Centrífuga BC - 20R, vazão máxima de  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com potência nominal de 3,7 kW (5 cv). Para o fornecimento de água foi utilizado um sistema de bombeamento em circuito fechado, com tubos de Policloreto de Vinila (PVC) rígido na cor marrom, diâmetro nominal de 40 mm. Na canalização de saída da bomba foi instalado um registro de gaveta de  $1 \frac{1}{4}''$  de diâmetro, responsável pela variação da vazão. Após o registro, foi instalado um hidrômetro para medição da vazão real da MB, tomada como vazão padrão (observada). O hidrômetro é do tipo turbina, vazão nominal de  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , e a aferição do equipamento foi realizada através do método volumétrico. Para estimar a vazão, foi utilizado um manômetro diferencial de pressão, introduzido no sistema e instalado na curva de  $90^\circ$  na linha de recalque, com leituras realizadas por meio da diferença de altura da coluna de mercúrio. Utilizou-se também, um tacômetro modelo MDT – 2238, para as leituras da rotação do eixo do motor. Foram executadas treze sequências de ensaios para cada instrumento, três para ajustamento das funções e dez para testar as situações. O experimento foi composto no total de treze sequências de ensaios para cada instrumento testado, utilizando três para ajustamento das funções e dez para testar as situações. Para a divisão dos ensaios, realizou-se um sorteio. Para cada abertura ocorreram leituras simultâneas dos equipamentos utilizados para estimar indiretamente a vazão. A vazão direta foi obtida por meio do

hidrômetro padrão (Qobs) para ajuste das equações e realização da análise de regressão para comparação com a vazão estimada (Qest) por meio dos dados testados. Os resultados obtidos foram avaliados de acordo com os indicadores estatísticos, conforme as equações a seguir (Equação 1, 2, 3 e 4), em que Ip - índice de precisão; Ic - índice de concordância; Id - índice de desempenho; RMSD - raiz quadrada do erro médio; Ei - valores estimados; Oi - valores observados; E - média dos valores estimados; O - média dos valores observados, Si - dados estimados, e n - número de relações envolvidas.

$$Ip = \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - E) - (Oi - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Ei - E)^2 \sum_{i=1}^n (Oi - O)^2}} \quad (1)$$

$$Ic = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ei - O| + |Oi - O|)^2} \right] \quad (2)$$

$$Id = Ic \cdot Ip \quad (3)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{n}} \quad (4)$$

Os critérios para interpretação do índice de concordância (Ic), índice de precisão (Ip), índice de desempenho (Id), foram classificados conforme a Tabela 1, adaptada de Pimenta et al. (2018).

TABELA 1. Critério para interpretação do índice de concordância (Ic), índice de precisão (Ip), índice de desempenho (Id) e suas respectivas classificações.

Índice de Concordância (Ic)	Índice de Precisão (Ip)	Índice de Desempenho (Id)	Classificação
0,95 - 1,00	0,95 - 1,00	0,90 - 1,00	Excelente
0,89 - 0,95	0,89 - 0,95	0,80 - 0,90	Ótimo
0,84 - 0,89	0,84 - 0,89	0,70 - 0,80	Muito Bom
0,77 - 0,84	0,77 - 0,84	0,60 - 0,70	Bom
0,71 - 0,77	0,71 - 0,77	0,50 - 0,60	Moderadamente Bom
0,63 - 0,71	0,63 - 0,71	0,40 - 0,50	Moderado
0,55 - 0,63	0,55 - 0,63	0,30 - 0,40	Moderadamente Ruim
0,45 - 0,55	0,45 - 0,55	0,20 - 0,30	Ruim
0,32 - 0,45	0,32 - 0,45	0,10 - 0,20	Muito Ruim
0,00 - 0,32	0,00 - 0,32	0,00 - 0,10	Péssimo

Fonte: Adaptado de Pimenta et al. (2018).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A partir dos dados coletados e devidamente analisados, é possível verificar na Figura 1, através da vazão observada e as leituras fornecidas pelas diferentes metodologias, que existe uma correlação entre a vazão observação e a estimada

pelos equipamentos em estudo. Os instrumentos empregados apresentaram característica como bons indicadores na determinação da vazão, com um ajustamento das equações sendo polinomial de 3º grau e linear, respectivamente.

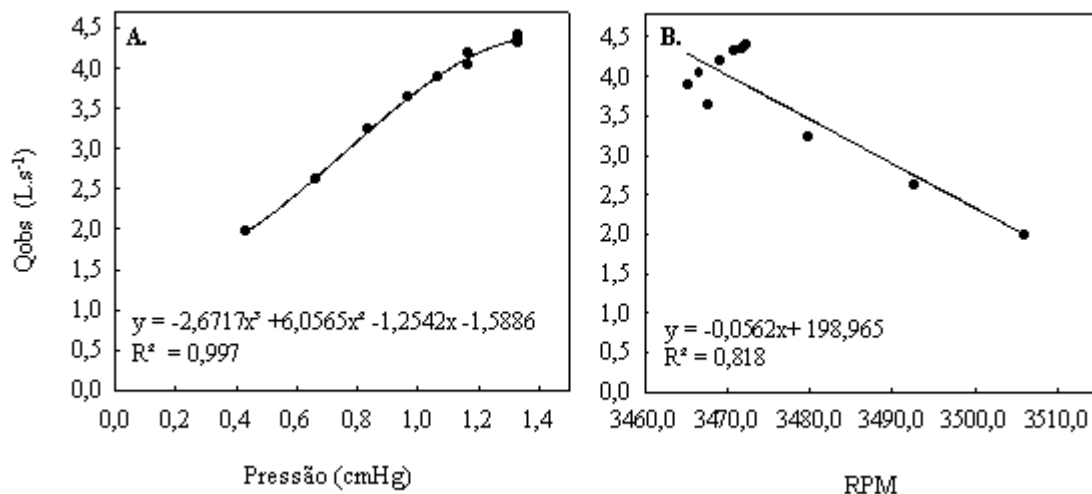


FIGURA 1. Correlação da vazão observada (hidrômetro) em função dos valores obtidos pelo A) manômetro diferencial de pressão e B) tacômetro.

O instrumento manômetro diferencial de pressão demonstrou uma melhor correlação em função da vazão observada, já o tacômetro apresentou a menor correlação com a vazão, valores estes que podem ser observados conforme o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,997 e 0,818, respectivamente. Segundo Krause et al. (2005) estes valores são considerados intervalos aceitáveis. Na Figura 2, é demonstrada a relação entre os valores de vazão observada ( $Q_{obs}$ ) e estimada ( $Q_{est}$ ) pelos equipamentos em estudo, a partir de uma análise de regressão linear.

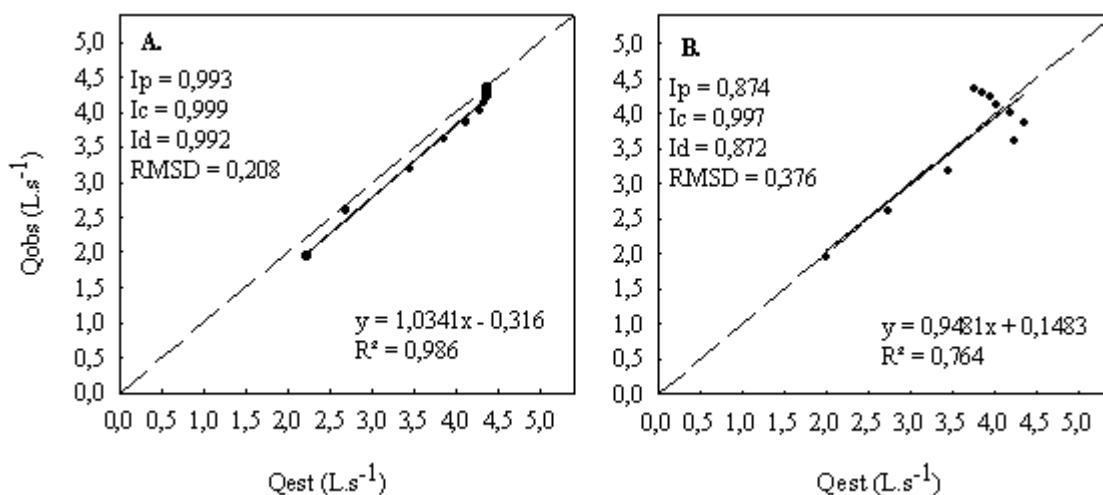


FIGURA 2. Valores de  $Q_{obs}$  e  $Q_{est}$  para os dois equipamentos utilizados A) manômetro diferencial de pressão e B) tacômetro.

Nota-se na Figura 2 (A) o comportamento da regressão na reta 1:1, com valores do coeficiente angular ( $a$ ) e linear ( $b$ ) próximos de zero e um, respectivamente. Estes resultados demonstram também um ótimo comportamento dos valores estimados em relação aos observados. Já na Figura 2 (B) os valores da vazão estimada apresentaram um comportamento próximos da reta 1:1, com valores também do coeficiente angular ( $a$ ) e linear ( $b$ ) próximos de zero e um, todavia, nota-se a dispersão dos pontos, com discrepância dos valores estimados em função dos observados, conforme a distribuição dos pontos na análise de regressão. Para os indicadores estatísticos, verificou-se que o índice de precisão ( $I_p$ ) apresentou valores para os instrumentos de 0,993 e 0,874, com classificação de “Excelente” e “Muito Bom”. Os valores do índice de concordância ( $I_c$ ) para ambos os instrumentos foi maior que 0,9, classificados como “Excelente”, evidenciando que existe uma forte correlação entre os dados estimados com os observados. No índice de desempenho, os valores foram de 0,992 e 0,872 com classificação de “Excelente” e “Ótimo”, respectivamente. A RMSD para as ambos os instrumentos, apresentaram valores de 0,208 a 0,376, que segundo Loague & Green (1991) os valores para este indicador variam de 0 a  $\infty$ , e quanto mais próximos de 0, melhor o ajustamento dos dados. Nota-se, que ambos os resultados para o RMSD foram próximos de zero tanto para o manômetro diferencial de pressão quanto para o tacômetro, demonstrando bons resultados da vazão estimada com os valores da vazão observada.

**CONCLUSÕES:** Entre os equipamentos comparados, o manômetro diferencial de pressão apresentou melhores resultados com relação ao tacômetro para a estimativa da vazão em sistemas de bombeamento de água.

**AGRADECIMENTOS:** O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## **REFERÊNCIAS:**

ARMINDO, R. A. et al. Desenvolvimento e avaliação de um sistema automatizado de aquisição de dados para medição de vazão, “Auto-Venturi”. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5. 2011.

CAMARGO, A. P. Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CAMPÊLO, A. R. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista AGROTEC-v**, v. 35, n. 1, p. 1-12, 2014.

KRAUSE, P. et al. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in Geosciences** v.5, p.89–97, 2005.

LOAGUE, K.; GREEN, R.E. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models: Overview and Application. **Journal of Contaminant Hydrology**, 7, 51-73, 1991.

NASCIMENTO, A. K. S. et al. Desempenho hidráulico e manejo da irrigação em sistema irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 3, n. 1, p. 39 – 45, 2009.

PIMENTA, B. D. et al. Desempenho do medidor ultrassônico de vazão em diferentes tubos de policloreto de vinila. **Irriga** v. 23, n. 1, p. 87-95, 2018.

SOUSA, M. B. A. et al. Manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Bioscience Journal.**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 581-590, 2011.