

## **Equações para estimativa da pressão regulada em válvulas reguladoras de pressão para pivô central**

**Nicolas Giovanni Nunes Allegro<sup>1</sup>, Antonio Pires de Camargo<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP

<sup>2</sup> Professor Associado, FEAGRI/UNICAMP, CAMPINAS-SP

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** O sistema de irrigação pivô central é amplamente utilizado no Brasil, sendo um sistema de irrigação por aspersão mecanizado interessante para áreas extensas e topografia relativamente plana. Este equipamento fornece água de forma uniforme por meio de uma linha lateral equipada com aspersores. As válvulas reguladoras de pressão (VRPs) são cruciais para assegurar a uniformidade na irrigação, mas a pressão regulada pode variar devido à vazão e pressão de entrada. Ao dimensionar os bocais dos aspersores, é necessário conhecer a pressão na saída das VRPs e para isso é necessário um modelo matemático que considere pressão de entrada e vazão. Esta pesquisa teve como objetivo ajustar coeficientes de equações para estimativa da pressão regulada em função da vazão e pressão na entrada de VRPs para pivô central. Três modelos de VRP com pressão declarada de 10 PSI (69 kPa) foram avaliados em laboratório, na faixa de pressões de entrada de 100 a 700 kPa, em incrementos de 100 kPa, e nas vazões de 0,5, 1,5, 2,5 e 3,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Foram avaliadas 5 peças de cada modelo em condições crescentes e decrescentes de pressão. Para cada modelo de VRP, foram ajustados os coeficientes de uma equação matemática, calculando-se indicadores de qualidade de ajuste (R<sup>2</sup>, RMSE e Curva Característica de Erros). O modelo matemático mostrou-se adequado para estimativa de pressão regulada em todas as VRPs avaliadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia de irrigação; Irrigação; Hidráulica.

**Equations for estimating regulated pressure in pressure regulating valves for center pivot**

**ABSTRACT:** The center pivot irrigation system is widely used in Brazil, being an interesting mechanized sprinkler irrigation system for extensive areas and relatively flat topography. This equipment provides water uniformly through a lateral line equipped with sprinklers. The pressure regulating valves (PRVs) are crucial to ensure uniformity in irrigation, but the regulated pressure can vary due to discharge and inlet pressure. When sizing the sprinkler nozzles, it is necessary to know the pressure at the outlet of the PRVs, and for this, a mathematical model that considers inlet pressure and discharge is needed. This research aimed to adjust coefficients of equations to estimate the regulated pressure based on the discharge and pressure at the PRV inlet for the center pivot. Three PRV models with a declared pressure of 10 PSI (69 kPa) were evaluated in the laboratory, in the range of inlet pressures from 100 to 700 kPa, in increments of 100 kPa, and at discharges of 0.5, 1.5, 2.5, and 3.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Five samples of each model were evaluated under increasing and decreasing pressure conditions. For each PRV model, the coefficients of a mathematical equation were adjusted, calculating goodness-of-fit indicators (R<sup>2</sup>, RMSE, and Regression Error Curve). The mathematical model proved to be suitable for estimating regulated pressure in all evaluated PRVs.

**KEYWORDS:** Irrigation engineering, Irrigation, Hydraulics

## INTRODUÇÃO:

O pivô central é um equipamento de irrigação que contém válvulas reguladoras de pressão (VRPs) instaladas na entrada de cada aspersor a fim de assegurar vazão constante dos aspersores e uniformidade de aplicação. Idealmente as VRPs devem manter constante a pressão declarada pelo fabricante, para qualquer que seja a condição operacional. Entretanto, sabe-se que a pressão regulada é influenciada pela vazão e pressão na entrada da válvula. Esta pesquisa teve como objetivo ajustar coeficientes de equações para estimativa da pressão regulada em função da vazão e pressão na entrada de VRPs para pivô central.

## MATERIAL E MÉTODOS:

A pesquisa e os ensaios foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Irrigação (LHI) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP) utilizando uma bancada de ensaios hidráulicos montada no laboratório que caracteriza um sistema hidráulicamente fechado (Figura 1).

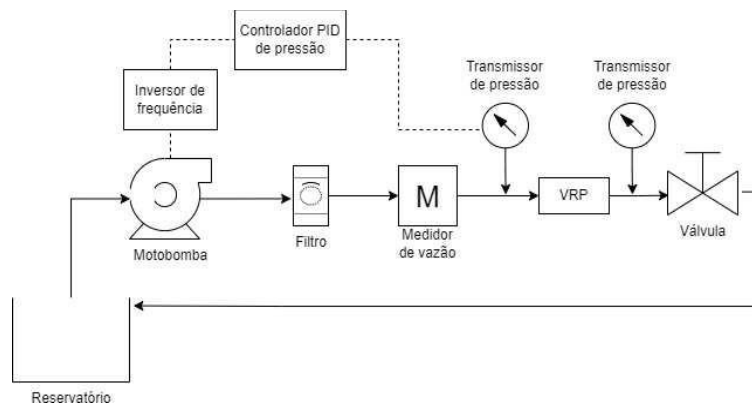


Figura 1. Diagrama da bancada de ensaios para válvulas reguladoras de pressão

Foram avaliadas cinco amostras de três modelos de VRPs das fabricantes Senninger (PSR-2-10) Komet (KPR-X-10) e Fabrimar (Exact-10), com pressão declarada de 10 PSI (0,69 bar = 69 kPa). Atualmente, a maior parte dos equipamentos novos é equipado com VRPs de 10 PSI, sendo que essa opção proporciona redução da pressão de operação do sistema e economia de energia quando comparada a sistemas mais antigos que operam com VRPs de pressão superior. Os ensaios foram realizados na faixa vazões de 500 a 3500 L h<sup>-1</sup>, em incrementos de 1000 L h<sup>-1</sup>. Para cada vazão, os ensaios foram realizados com pressões de entrada crescentes e decrescentes na faixa de 100 a 700 kPa (1 a 7 bar), em intervalos de 100 kPa. Os ensaios com condições crescentes e decrescentes de pressão tem como objetivo incluir efeitos de histerese na pressão regulada. O tempo de ensaio em cada combinação de pressão e vazão foi de cerca de 5 min. Um sistema de aquisição de dados registrou a vazão, pressões a montante e a jusante da VRP e temperatura da água. Antes do início dos ensaios foi realizada a aferição de todos os instrumentos de medição no próprio laboratório.

Para cada modelo de válvula e em cada condição de ensaio foram determinados o valor médio e o desvio padrão amostral da pressão regulada. A Eq. 1 foi utilizada para estimar a pressão regulada (pressão de saída) em função de vazão e pressão de entrada (LIMA et al., 2003; TALAMINI JUNIOR et al., 2018):

$$P_s = a + b Q + \frac{c}{1 + e^{\left(\frac{d-P_e}{f}\right)}} \quad (1)$$

Em que:  $P_s$  é a pressão de saída ou pressão regulada na VRP (bar);  $P_e$  é a pressão de entrada na válvula reguladora de pressão (bar);  $Q$  é a vazão escoando através da válvula reguladora de pressão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ); a, b, c, d, f: Coeficientes de ajuste da equação.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados obtidos nos ensaios para caracterização das VRPs são apresentados na Figura 2. A Figura 2 evidencia que há desvios da pressão regulada em função da pressão declarada pelos fabricantes, confirmando os efeitos tanto da pressão de entrada quanto da vazão que flui através da VRP na pressão regulada, além dos efeitos de variabilidade das peças devido a fabricação. Os dados apresentados na Tabela 2 indicam a média e a dispersão dos dados de pressão regulada para cada uma das vazões de ensaio.

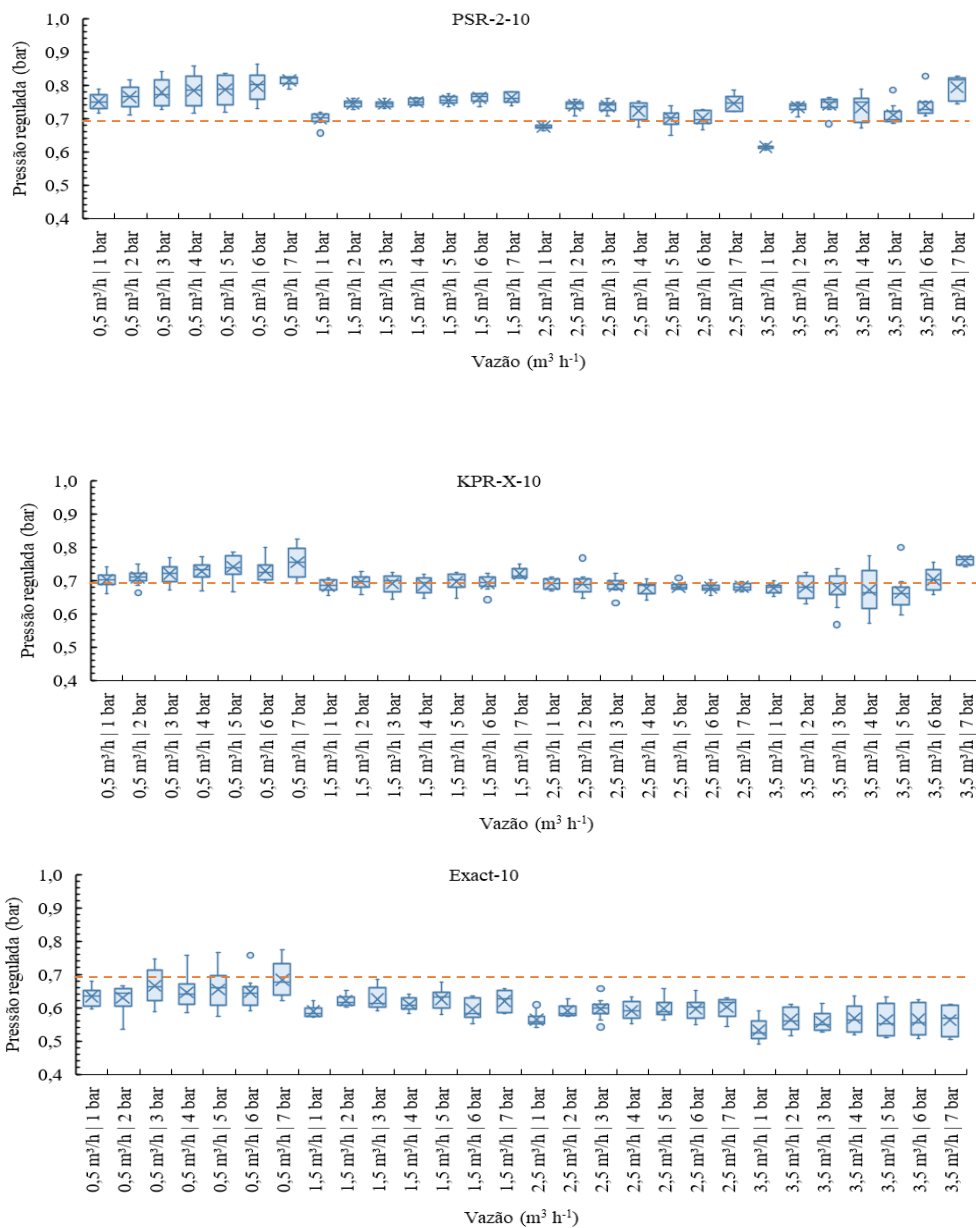


Figura 2. Box-plots representando os dados obtidos nos ensaios hidráulicos para caracterização das VRPs. (Eixo X apresenta categorias que agrupam vazão e pressão de ensaio; linhas tracejadas indicam a pressão declarada pelo fabricante)

Tabela 2. Média e desvio-padrão amostral da pressão regulada para as vazões de ensaio

Fabricante	Modelo	Pressão declarada (bar)	Vazão de ensaio ( $m^3 h^{-1}$ )			
			0,5	1,5	2,5	3,5
			Pressão regulada (bar) (média $\pm$ desvio padrão)			
Senninger	PSR-2-10	0,69	0,78 $\pm$ 0,04	0,74 $\pm$ 0,02	0,71 $\pm$ 0,03	0,72 $\pm$ 0,06
Komet	KPR-X 10	0,69	0,72 $\pm$ 0,03	0,69 $\pm$ 0,02	0,68 $\pm$ 0,02	0,68 $\pm$ 0,05
Fabrimar	Exact 10	0,69	0,65 $\pm$ 0,05	0,61 $\pm$ 0,03	0,59 $\pm$ 0,03	0,56 $\pm$ 0,04

A Tabela 3 apresenta os coeficientes ajustados da Eq. 1, bem como os indicadores de qualidade de ajuste das equações. Os valores de  $\delta_{95}$  que indicam que erros relativos da ordem de 10% foram identificados em 95% das estimativas empregados os modelos matemáticos. Considera-se que erros dessa magnitude são aceitáveis para a aplicações de dimensionamento de bocais para aspersores empregados em pivô central. Os modelos ajustados são necessários para o correto dimensionamento de pivô central e não são disponibilizados pelos fabricantes de VRPs.

Tabela 3. Coeficientes ajustados das equações para estimativa de pressão de saída em função de vazão e pressão de entrada na VRP

Fabricante	Modelo	Coeficientes da equação					RMSE	$\delta_{95}$ (%)
		a	b	c	d	f		
Senninger	PSR-2-10	0,6453	-0,0211	0,1485	0,7255	0,5270	0,0338	9,1
Komet	KPR-X-10	0,7017	-0,0128	0,0240	0,9019	1,0766	0,0340	10,7
Fabrimar	Exact-10	0,5965	-0,0280	0,0697	0,8126	0,6646	0,0356	11,4

## CONCLUSÕES:

Efetuu-se a caracterização hidráulica de VRPs de 10 PSI, observando-se desempenho satisfatório de todos os modelos avaliados. Ajustou-se modelos matemáticos para estimativa da pressão regulada em função da vazão e da pressão de entrada na VRP, sendo que tais são necessários para o dimensionamento de bocais de aspersores na etapa de projeto de sistemas de irrigação do tipo pivô central.

## REFERÊNCIAS:

- FRIZZONE, J.A.; REZENDE, R.; CAMARGO, A.P.; COLOMBO, A. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central**. Maringá: UEM, 2018. 355 p.
- ISO 10522. **Agricultural irrigation equipment: Direct-acting pressure-regulating valves**. 2021. 15 p.
- LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F.; PEREIRA, A. S.; MACHADO C.C.; VALNIR JUNIOR, M. Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p. 201-209, 2003.
- TALAMINI JUNIOR, M. V.; ARAUJO, A. C. S.; CAMARGO, A. P.; SARETTA, E.; FRIZZONE, J. A. Operational characterization of pressure regulating valves. **The Scientific World Journal**, v. 2018, p. 1-9, 2018.