



Caracterização do desempenho de válvulas reguladoras de pressão de ação direta para uso em pivô central

Palavras-Chave: Engenharia de irrigação; Irrigação; Hidráulica.

Autores:

Nicolas Giovanni Nunes Allegro, FEAGRI – UNICAMP

Prof. Dr. Antonio Pires de Camargo (orientador), FEAGRI – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O sistema de irrigação pivô central é um sistema mecanizado que se destaca no Brasil entre os sistemas de irrigação por aspersão, especialmente em áreas grandes e de topografia relativamente plana.

O pivô central é um equipamento fixo ou rebocável que apresenta deslocamento radial. O suprimento de água para a linha lateral é realizado através de um ponto localizado no centro da área circular irrigada. A linha lateral é uma tubulação pressurizada equipada com aspersores responsáveis pela aplicação de água na área de cultivo. Um pivô central é dimensionado para operar com baixa pressão e propiciar elevada uniformidade de aplicação em toda a área de cultivo (FRIZZONE et al., 2018).

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. Se a VRP não operar adequadamente em uma ampla faixa de condições operacionais, a uniformidade de aplicação no pivô central poderá ser insatisfatória.

Esta pesquisa tem como objetivos avaliar características hidráulicas de desempenho das VRPs mais utilizadas no mercado brasileiro e ajustar modelos matemáticos para estimar a pressão regulada em função da vazão e pressão de entrada na válvula.

METODOLOGIA:

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Irrigação (LHI/FEAGRI). A metodologia de testes foi baseada em requisitos estabelecidos na norma internacional ISO 10522 (2021).

Foram avaliadas cinco amostras de três modelos de VRPs com pressão declarada de 10 PSI (0,69 bar = 69 kPa), cujas especificações são apresentadas na Tabela 1. Atualmente, a maior parte dos

equipamentos novos é equipado com VRPs cuja pressão declarada é 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.

Tabela 1. Especificação dos modelos de VRPs avaliados

Fabricante	Modelo	Pressão declarada	Faixa de vazões recomendada (L/h)	Pressão máxima (kPa)
Senninger	PSR-2-10	10 PSI (0,69 bar = 69 kPa)	114 – 3407	620
Komet	KPR-X 10	10 PSI (0,69 bar = 69 kPa)	84 – 3407	830
Fabrimar	Exact 10	10 PSI (0,69 bar = 69 kPa)	100 – 4000	800

Os ensaios para caracterização hidráulica das VRPs foram realizados nas seguintes vazões: 0,5; 1,5; 2,5 e 3,5 m³ h⁻¹. Para cada vazão, foram condicionadas pressões na entrada da VRP, de 1 a 7 bar, em incrementos de 1 bar. Além disso, foram realizados ensaios em condições crescentes e decrescentes de pressão na entrada da VRP a fim de quantificar efeitos de histerese na pressão regulada.

Os ensaios foram realizados em uma bancada de ensaios que caracteriza um circuito hidráulicamente fechado (Figura 2). A bancada de ensaios contém uma motobomba Schneider ME-HI 5530 acionada por inversor de frequência. A pressão de ensaio (pressão na entrada válvula) foi ajustada empregando controlador proporcional-integral-derivativo (PID), que monitora a pressão fornecida por um transdutor de pressão e atua no inversor de frequência. A montante da amostra sob ensaio (VRP) foi instalado um transdutor de pressão que opera na faixa de 0 a 10 bar (0 a 1000 kPa), visto que a pressão na entrada da VRP pode atingir até 7 bar (700 kPa). A jusante da VRP foi instalado outro transdutor de pressão, que opera na faixa de 0 a 4 bar (400 kPa), já que a pressão na saída da válvula é inferior a pressão de entrada. Ambos os transdutores apresentam sinal de saída analógico (4 a 20 mA) e precisão de 0,5% em relação ao valor de fim de escala. A vazão de ensaio foi monitorada por medidor de vazão eletromagnético calibrado na faixa de 0,1 a 6,0 m³ h⁻¹ (erro máximo de 0,2% em relação ao valor medido). O controle da vazão de ensaio foi realizado manualmente empregando-se válvula tipo gaveta.

Um filtro de discos de 125 µm foi instalado na saída da motobomba para reter eventuais partículas contaminantes presentes na água. Todos os ensaios foram realizados com água potável na temperatura ambiente. A temperatura da água durante os ensaios foi de 23 ± 3°C.

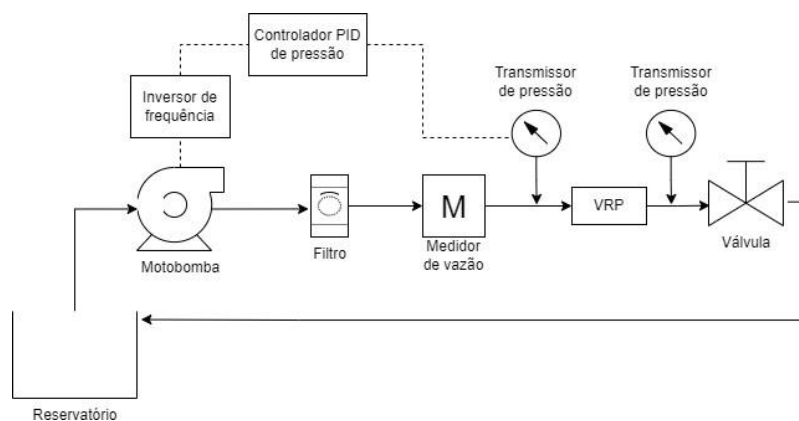


Figura 2. Diagrama da bancada de ensaios para estudo de válvulas reguladoras de pressão

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):

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

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

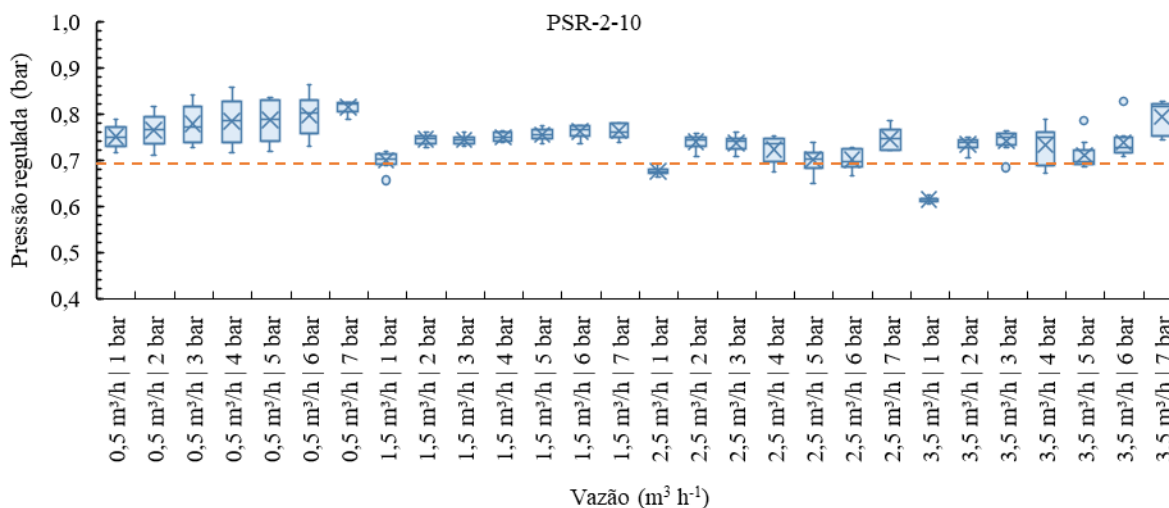
O erro das estimativas da pressão de saída na válvula reguladora de pressão, em relação aos valores medidos será calculado pela Eq. 2:

$$\delta(\%) = 100 \frac{|\hat{P}_s - P_s|}{P_s} \quad (2)$$

Em que: δ : Erro relativo (%); \hat{P}_s : Valor estimado de pressão de saída (bar); P_s : Valor medido de pressão de saída (bar). Os valores de δ foram plotados na Curva Característica de Erros (Curva REC) a fim de avaliar a frequência dos erros e complementar a validação dos ajustes. Para fins de comparação da qualidade de ajuste, apresenta-se os valores de δ que ocorrem em 95% (δ_{95}) das estimativas empregando o modelo matemático. Além disso também se apresenta o indicador estatístico RMSE, para comparação da qualidade de ajuste das equações de regressão. Quanto mais próximo de zero for o valor de RMSE, melhor é o ajuste da equação aos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados obtidos nos ensaios para caracterização das VRPs são apresentados na Figura 3. A Figura 3 evidencia que há desvios da pressão regulada em função da pressão declarada pelos fabricantes, confirmando tanto efeitos da pressão de entrada quanto da vazão através da VRP, assim como a própria variabilidade entre peças devido a efeitos de 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.



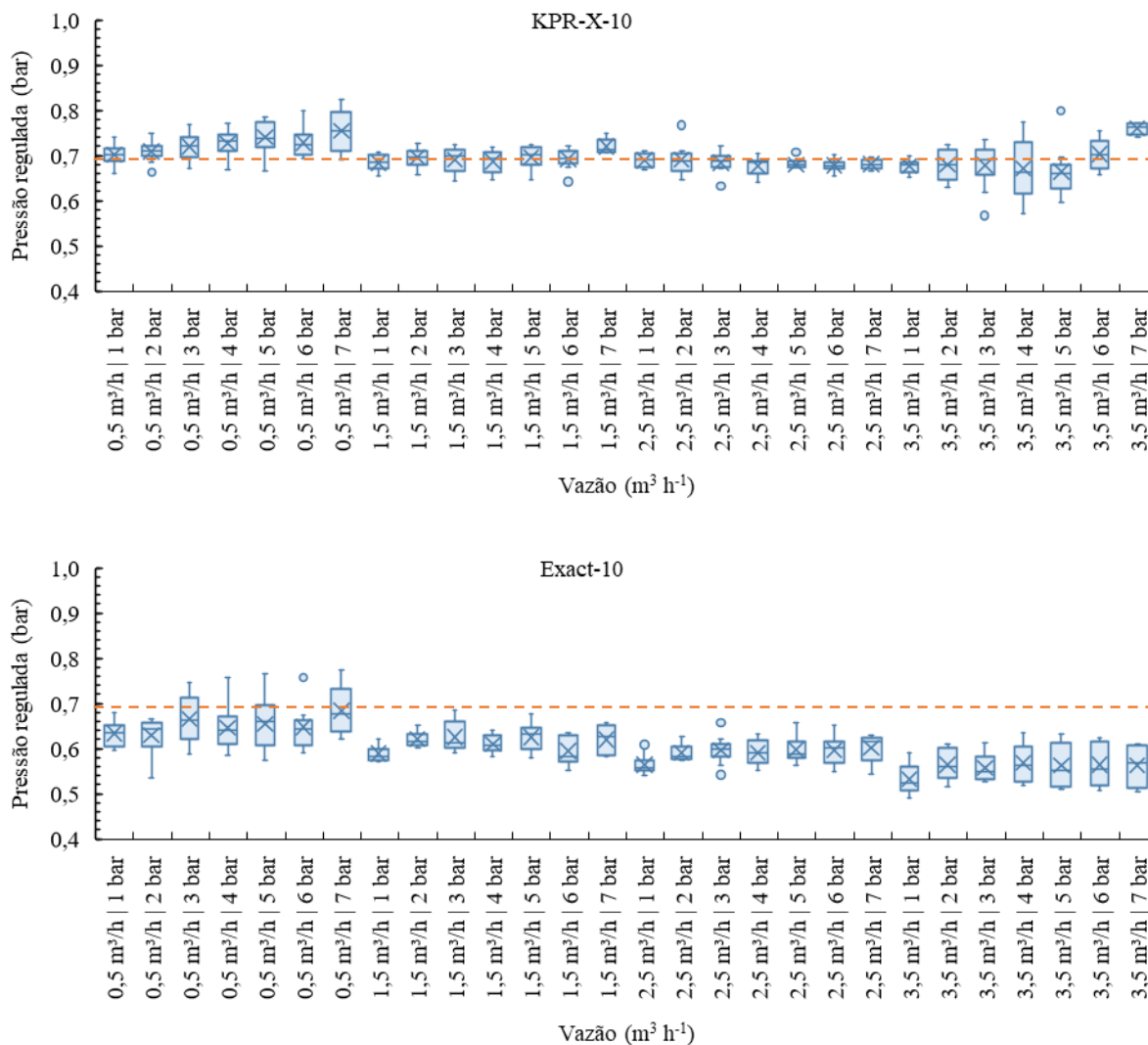


Figura 3. Box-plots representando os dados obtidos nos ensaios hidráulicos para caracterização das VRPs. (Eixo X apresenta categorias que agrupam vazão e pressão de ensaio; linhas tracejadas indicam a pressão declarada pelo fabricante)

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

Fabricante	Modelo	Vazão de ensaio (m³ h ⁻¹)			
		0,5	1,5	2,5	3,5
Pressão regulada (bar) (média ± desvio padrão)					
Senninger	PSR-2-10	0,78 ± 0,04	0,74 ± 0,02	0,71 ± 0,03	0,72 ± 0,06
Komet	KPR-X 10	0,72 ± 0,03	0,69 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,68 ± 0,05
Fabrimar	Exact 10	0,65 ± 0,05	0,61 ± 0,03	0,59 ± 0,03	0,56 ± 0,04

Para o modelo PSR-2-10 é possível observar pressões reguladas um pouco acima da pressão declarada de 0,69 bar. Para a menor vazão de ensaio, o valor médio é 13% superior ao valor declarado, sendo que esse desvio provocaria um aumento de vazão de aproximadamente 6% em um bocal com vazão de 0,5 m³ h⁻¹. Já o modelo Exact-10 exibe pressões reguladas inferiores ao valor declarado, sendo

que o maior desvio é de aproximadamente 19% e ocorre na vazão de $3,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Esse desvio na pressão declarada, provocaria uma redução de cerca de 10% na vazão de um aspersor previsto para operar com vazão de $3,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O modelo KPR-X-10 apresenta médias próximas do valor declarado de 0,69 bar. De modo geral, a dispersão de valores de pressão regulada foi similar nos modelos avaliados. Talamini Junior et al. (2018) relatam desvios de até 19,9% na pressão regulada de VRPs de 10 PSI, mencionando que tais imperfeições na pressão regulada afetam a vazão dos aspersores, podendo impactar na uniformidade de aplicação.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes ajustados da Eq. 1, bem como os indicadores de qualidade de ajuste das equações. Os valores de δ_{95} 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	δ_{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:

Efetou-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.

BIBLIOGRAFIA

- 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.