

**Automação em bancada para ensaios hidráulicos de válvulas reguladoras de pressão****Bench automation for hydraulic tests of pressure regulator valves**

DOI:10.34117/bjdv6n8-209

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação:14/08/2020

**Hugo de Carvalho Ricardo**

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)/USP  
Departamento de Engenharia de Biossistemas, Av. Pádua Dias, n° 11, Piracicaba-SP, 13418-900  
E-mail: hugoricardo31@usp.br

**Conan Ayade Salvador**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia/UFRRJ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)  
Rodovia BR 465, Km 07, s/n, Zona Rural, Seropédica - RJ, 23890-000  
E-mail: conan@ufrj.br

**Marinaldo Ferreira Pinto**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia/UFRRJ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)  
Rodovia BR 465, Km 07, s/n, Zona Rural, Seropédica - RJ, 23890-000  
E-mail: marinaldo@ufrj.br

**Dinara Grasiela Alves**

Doutora em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)  
Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Biossistemas, Av. Pádua Dias, n° 11, Piracicaba-SP, 13418-900  
E-mail: dinara\_alves@hotmail.com

**Thaís da Silva Charles**

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)/USP  
Departamento de Engenharia de Biossistemas, Av. Pádua Dias, n° 11, Piracicaba-SP, 13418-900  
E-mail: thaischarles@usp.br

**Bárbara Tereza de Carvalho Camargo**

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)  
Rodovia BR 465, Km 07, s/n Zona Rural, Seropédica - RJ, 23890-000  
E-mail: ba.eng.agriamb@gmail.com

**Pedro Henrique de Oliveira Estima**

Estudante de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras  
Universidade Federal de Lavras (UFLA)  
Rua Benjamim Hunicutt, 212A, Lavras - MG, 37202- 544  
E-mail: pedro-estima@hotmail.com

## RESUMO

A automação é uma alternativa para proporcionar melhorias ao ensaio de caracterização hidráulica das válvulas reguladoras de pressão. O objetivo do trabalho foi desenvolver e avaliar uma bancada para realização de ensaios automáticos de caracterização hidráulica de válvulas reguladoras de pressão. A bancada é constituída por tubulação em circuito fechado, bomba hidráulica, medidor de vazão e emissor. Os instrumentos utilizados foram: inversor de frequência, transdutores de pressão, medidor de vazão eletromagnético e dispositivo eletrônico de controle. O dispositivo eletrônico se comunica com computador via porta serial RS-232, no qual era efetuado o processamento, monitoramento e armazenamento de dados. Para tanto se desenvolveu um aplicativo em Linguagem Pascal. Avaliou-se a bancada por meio da caracterização de uma válvula reguladora (Fabrimar, Exact 15) com pressão de regulação de 10,5 mca (15 PSI). Foram analisadas duas vazões (1,66 e 3,23 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) submetidas a cinco pressões de entrada (10, 15, 20, 25 e 30 mca), com três repetições e duração de 5 minutos. A variação máxima de vazão foi 2,19%, sendo as pressões de entrada ajustadas em até 40s, após acionamento da motobomba. Os resultados comprovaram a eficácia do sistema de controle, aquisição e armazenamento de dados.

**Palavras-chave:** Irrigação, inversor de frequência, instrumentação, PID.

## ABSTRACT

Automation is an alternative to hydraulic characterization pressure regulator valves test improvements. The objective of this project was to develop and evaluate an instrumented bench to perform automatic tests for the hydraulic characterization of pressure regulator valves. The bench consists of a closed pipe system, hydraulic pump, flowmeter and emitter. The instruments used were: frequency inverter, pressure transducers, electromagnetic flowmeter and electronic control device. The communication between computer and electronic device, is performed by RS-232 serial port. A Pascal Language application was developed for the processing, monitoring and data storage. The bench was evaluated by the characterization of a pressure regulator valve (Fabrimar, Exact 15) with regulating pressure of 10.5 mca (15 PSI). Two flows (1.66 and 3.23 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) were submitted to five inlet pressures (10, 15, 20, 25 and 30 mca), with three repetitions and duration of 5 minutes. The maximum flow variation observed was 2.19%, and the inlet pressures were adjusted in less than 40 s after the pump motor was started. The results proved the effectiveness of the data acquisition, control and storage system.

**Keywords:** Irrigation, frequency inverter, instrumentation, PID.

## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação é a tecnologia de aplicação de água ao meio de cultivo de modo artificial, que possibilita o suprimento das necessidades hídricas da planta por meio do fornecimento eficiente, econômico e ambientalmente sustentável de água as culturas (ANA, 2017; Bernardo, Soares & Mantovani, 2006; Martins, 2012). Para obter níveis ótimos de eficácia na irrigação, os engenheiros

devem ser criteriosos na seleção de equipamentos, considerando informações sobre constantes construtivas, especificações e indicadores de desempenho, os quais são o objetivo fundamental dos ensaios de equipamentos (Lima et al., 2003; Oliveira et al., 2010).

O coeficiente de uniformidade de aplicação de água é um índice de desempenho dos sistemas de irrigação influenciado por diversos fatores, destacando-se entre eles, a variação de vazão dos emissores ao longo da linha lateral em decorrência da variação de pressão e da própria variabilidade dos emissores (Frizzone, 1992). Com o objetivo de minimizar a variação de pressão são utilizadas válvulas reguladoras de pressão (Ella et al., 2013; Lima et al., 2007; Mendoza & Frizzone, 2012).

As válvulas reguladoras de pressão são dispositivos que reagem a um acréscimo de pressão de entrada (ou saída dependendo do tipo de válvula), diminuindo a seção de passagem da água e aumentando a perda localizada de carga que ocorre no fluxo interno a válvula, de forma a compensar o aumento da pressão de entrada (Zaggo et al., 1990; Zhang & Li, 2017). Dessa maneira, as válvulas reguladoras mantem a pressão de saída aproximadamente constante, sendo esta denominada de pressão de regulação da válvula (Tarjuelo, 1994).

Um regulador ideal deveria manter constante a pressão de saída independentemente da pressão de entrada e da vazão (Von Bernuth & Baird, 1990), porém ainda não existe tecnologia que proporcione o regulador ideal, sendo que ambas as variáveis podem influenciar a pressão regulada (Talamini Junior et al., 2018). Assim, ressalta-se a importância dos ensaios de caracterização hidráulica das válvulas reguladoras, os quais são realizados relacionando a pressão de saída à pressão e vazão de entrada, gerando a curva de desempenho do equipamento.

A caracterização hidráulica dessas válvulas é especificada pela Norma ISO 10522 (1993), a qual apresenta um procedimento metodológico meticuloso e laborioso, devido ao número de repetições, além da dedicação de um profissional capacitado. Esses ensaios ainda são escassos no Brasil, o que para Lima (2001) é justificado pelo número reduzido de laboratórios especializados e corpo técnico qualificado para a execução dos mesmos. Vale destacar ainda, que a demanda por esses laboratórios tende a aumentar, devido ao crescimento da irrigação nos últimos anos (IBGE, 2018) e as exigências atuais do mercado.

Uma alternativa para minimizar as dificuldades laborais é a adoção de ferramentas de automação. A automação, que tem como base a utilização de dispositivos eletrônicos (Braga, 1990) e adoção de estratégias de controle, tem se mostrado um recurso importante para o aprimoramento dos processos produtivos. Além disso, se observou um grande avanço na automação dos sistemas de irrigação (Alencar et al., 2007), sendo possível o emprego de microprocessadores para tal

finalidade, tendo em vista que esses são componentes compactos, de baixo custo e de fácil aquisição (Ibars, 2004).

A aplicação da automação em bancadas de ensaio de caracterização hidráulica de peças e acessórios de irrigação, por sistemas adequadamente projetados e validados, assegura maior estabilidade das condições de ensaio, otimização do tempo de operação, redução das falhas ou erros humanos e, conseqüentemente, conduz a consistência dos resultados do ensaio (Bombardelli et al., 2017). A confiabilidade dos resultados é garantida somente após a validação da estrutura e sistema autônomo implementados (Perbone, 2016). Destaca-se que ensaios automatizados na área se mantêm em contínuo aperfeiçoamento.

Adicionalmente, cita-se que com a adoção da automação, os custos envolvidos na realização dos ensaios podem ser inferiores aos do método convencional, uma vez que permitem a realização de maior número de ensaios no mesmo intervalo de tempo. Além disso, possibilita a redução do número de operadores na realização simultânea de diversos ensaios. Todavia, os custos relacionados à manutenção das instalações e instrumentos de medida podem ser alterados de forma mínima, pois compreendem praticamente o mesmo cenário dos ensaios manuais, sendo justificado por seus benefícios. Essa situação pode servir de estímulo ao mercado, devido a uma tendência de aumento do número de ensaios de caracterização de parâmetros e aprimoramento de equipamentos para irrigação.

Dessa maneira, acredita-se que as bancadas de controle automático podem minimizar os erros nos testes de equipamentos, possibilitando o monitoramento de sistemas de forma segura, rápida e eficaz (Camargo, 2012; Bombardelli et al., 2017). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento e avaliação de uma bancada automatizada para realização de ensaios de caracterização hidráulica de válvulas reguladoras de pressão.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação e no Laboratório de Automação e Controle de Sistemas Agrícolas, ambos do Departamento de Engenharia, pertencente ao Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), situado no município de Seropédica - RJ.

## 2.1 ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E TESTE DA BANCADA PARA ENSAIOS DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO

A bancada de ensaios foi constituída por tubulação de 20 mm de diâmetro nominal, uma bomba hidráulica (Dancon, 5 CV), um medidor de vazão magnético indutivo (Krohne, Optiflux KC 1000) com faixa de trabalho de até  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e um emissor de saída (Fabrimar, Asfix AF4) para o controle da vazão. Todos os componentes hidráulicos integram um circuito fechado, no qual a água pressurizada retorna ao reservatório de origem.

A instrumentação necessária para a automação da leitura da bancada é composta por um inversor de frequência (Weg, CFW-10), três transdutores de pressão (Motorola, MPX 5700DP) com faixa de trabalho de 0 a 700 kPa, e o dispositivo eletrônico de controle. Dois transdutores de pressão foram instalados a montante da válvula reguladora de pressão, sendo um conectado ao inversor de frequência e outro ao dispositivo de controle; o terceiro transdutor de pressão foi instalado a jusante da válvula de reguladora e conectado ao dispositivo de controle. O modelo matemático para conversão do sinal de resposta típico do sensor de pressão em relação a pressão medida foi obtido por meio das descrições do fabricante.

O dispositivo eletrônico de controle desenvolvido é responsável pela aquisição e processamento de dados dos sensores (pressão e vazão), sendo a coleta de dados realizada por meio da porta serial RS-232 e o armazenamento em um microcomputador com o auxílio de um aplicativo desenvolvido em linguagem Pascal. Esse dispositivo é composto por um microcontrolador PIC18F4550d, da Microchip Technology Inc., que possui 13 canais de conversão de sinal analógico para digital (AD), possui memória flash de 32 kbytes, e é programado em linguagem C; e, um circuito integrado MAX 232, para comunicação serial RS-232 (comunicação com microcomputador).

O funcionamento do sistema de aquisição de dados desenvolvido é baseado nas leituras da pressão de entrada e saída da válvula reguladora de pressão. As pressões de entrada são ajustadas por meio da lógica de controle PID (Proporcional Integrativo Derivativo) contida no software embarcado do inversor de frequência. O inversor de frequência recebe do transdutor de pressão o sinal correspondente a pressão na entrada do regulador de pressão. Com isso, por meio da lógica PID, o inversor varia a rotação do conjunto motobomba para se obter a pressão de entrada desejada no ensaio (*setpoint*), proporcionando o ajuste da pressão, além de conferir maior estabilidade na pressão de entrada da válvula (Figura 1).

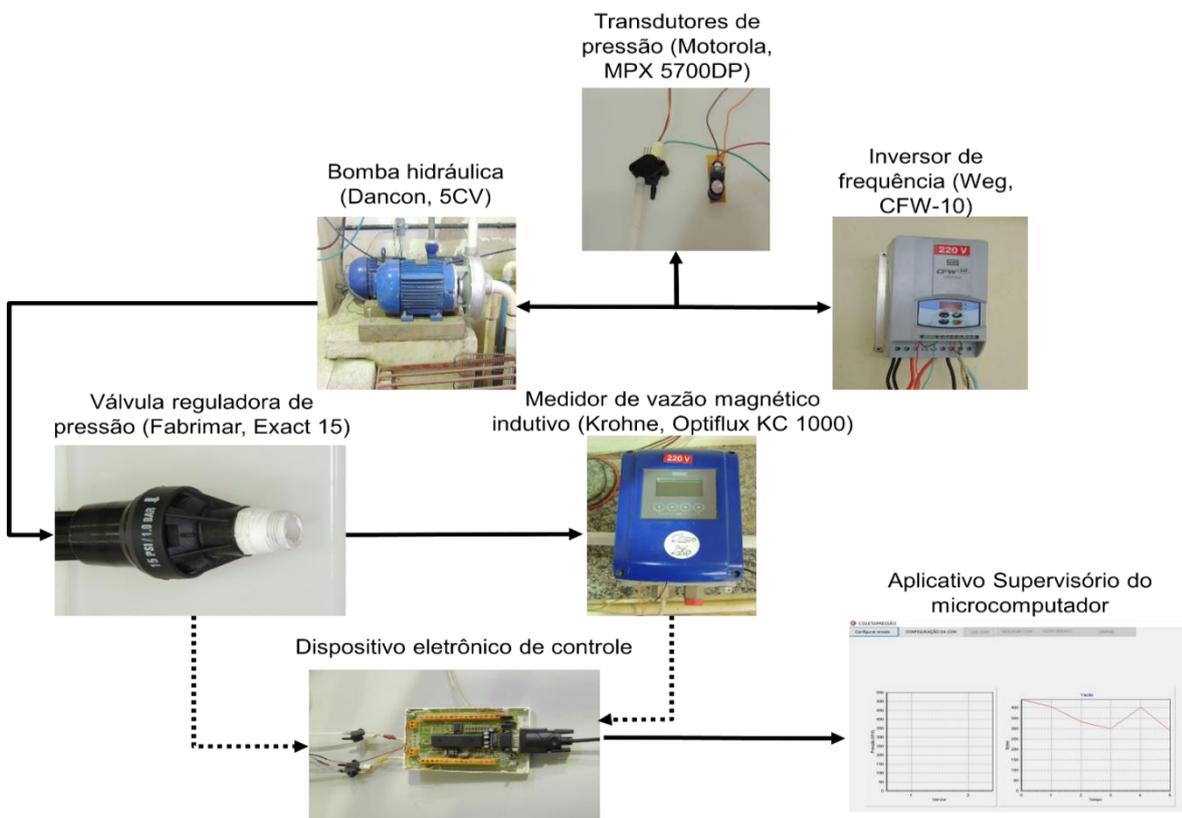
O aplicativo desenvolvido armazena e processa os dados das pressões de entrada

e saída, emitidos pelos transdutores de pressão, assim como os valores fornecidos pelo medidor de vazão indutivo, possibilitando o gerenciamento dos ensaios realizados.

O sensor de vazão eletromagnético adotado tem um sinal de resposta de 4 a 20 mA para as vazões de 0 a  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente. Contudo, o microcontrolador do dispositivo eletrônico de controle interpreta sinais analógicos de diferença de potencial e não de corrente. Dessa forma, foi desenvolvido um circuito intermediário para a conversão do sinal de corrente em diferença de potencial. O microcontrolador, por sua vez, fazia a aquisição do sinal analógico (diferença de potencial), convertia para digital (bytes) e enviava para o software desenvolvido, sendo realizado o armazenamento dos dados e o monitoramento do ensaio em tempo real.

Realizou-se a calibração do sensor de vazão, na qual aplicou-se no sistema hidráulico valores de vazão entre 1 a  $7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , adotando-se 10 valores de vazões e três repetições para cada um deles. A leitura dos dados em cada repetição foi obtida pela média de 20 valores coletados em um intervalo de 1 s. Para obtenção da equação de calibração realizou-se a regressão dos dados, observando o modelo de melhor ajuste. Salienta-se que não se analisou valores próximos ao fundo de escala do instrumento de medição por limitações da estrutura do laboratório.

**Figura 1.** Esquema detalhando a interação entre os componentes da bancada automatizada para ensaios de reguladores de pressão.



Fonte: Autores.

Os testes realizados com o intuito de avaliar o funcionamento do dispositivo eletrônico de controle foram conduzidos utilizando uma válvula reguladora com pressão de regulação de 10,5 mca (15 PSI) e diâmetro nominal de 20 mm. Foram realizados ensaios para dois valores de vazão (1,66 e 3,23 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>). Para cada valor de vazão executou-se ensaios utilizando-se 5 valores de pressão de entrada (10, 15, 20, 25 e 30 mca), com três repetições e duração de 300 s por pressão avaliada. A entrada do *setpoint* foi efetuada por meio da interface do inversor de frequência e gradualmente crescente. Com a média dos valores de pressão de entrada e saída foi obtido a curva de regulação.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO APLICATIVO SUPERVISÓRIO

O aplicativo supervisão utilizado para o monitoramento da instrumentação implementada, e com isso dos ensaios, tem o seu layout principal representado na Figura 2.

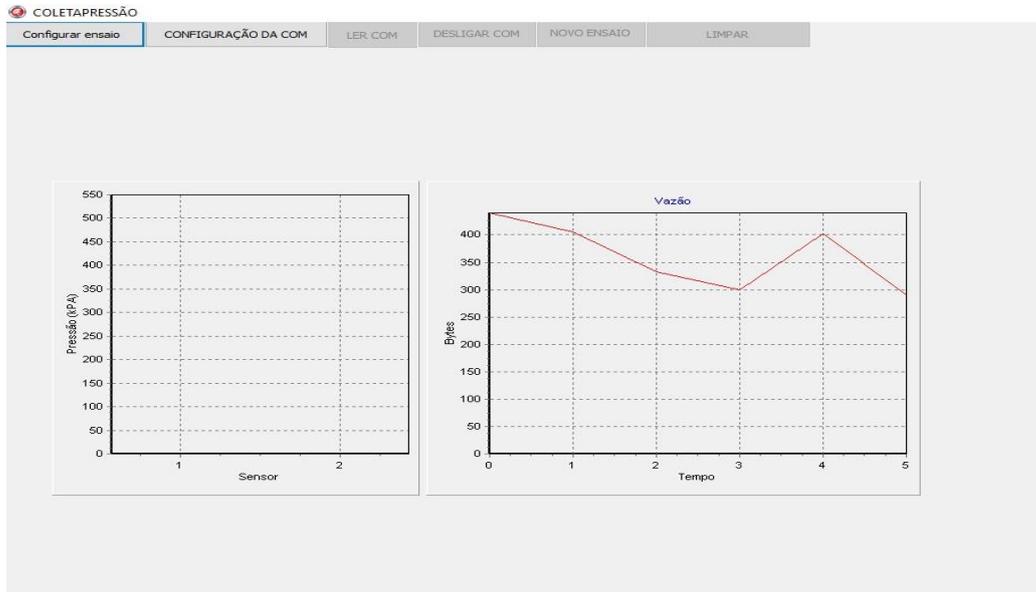
Para o início da aquisição e processamento de dados, primeiramente são informados os valores de trabalho do ensaio, por meio da janela “Configurar ensaio”. Como observado na Figura 3, a janela propõe a inserção dos dados de identificação do ensaio, a saber: a pressão de regulação (saída) da válvula empregada, no item “Regulador”; a pressão aplicada na entrada do regulador, no item “Pressão de ensaio”; e, a repetição do ensaio que será analisada, no item “Repetição”.

O formulário “Configuração da com” tem o objetivo de reconhecer a comunicação serial RS-232, entre o dispositivo eletrônico e o microcomputador. Posteriormente, seleciona-se o botão “Ler com”, onde solicita-se o endereço de arquivo indicado pelo usuário para que se realize o salvamento do relatório no formato de arquivo \*.txt, contendo os dados armazenados no ensaio a ser iniciado, e em seguida, inicia-se a aquisição de dados pelo aplicativo. O botão “Desligar com” encerra a comunicação do aplicativo supervisão com o microcontrolador, encerrando a aquisição e o armazenamento de dados do ensaio em andamento. Caso se deseje interromper o ensaio, o botão “Novo ensaio” retoma a comunicação do aplicativo com o dispositivo eletrônico, armazenando os valores em um mesmo local selecionado pelo usuário anteriormente. Por fim, o botão “Limpar” apaga as leituras dos valores de pressão de entrada, saída e vazão apresentada nos gráficos em tempo real, gerando condições para se iniciar um novo ensaio do equipamento.

Os gráficos em tempo real, que se encontram no layout principal do aplicativo, permitem acompanhar instantaneamente os valores de pressão de entrada, saída e vazão que estão sendo enviados pelos transdutores e o medidor de vazão indutivo. Os valores de pressão são informados a cada 1 s em um gráfico de barras, onde os transdutores 1 (pressão de entrada) e 2 (pressão de saída) têm seus sinais processados e fornecidos em kPA. Os valores de vazão também são mensurados a cada 1 s, e plotados em um gráfico que relaciona bytes em função do tempo de ensaio transcorrido.

Ao finalizar a realização do ensaio, o relatório contendo as leituras armazenadas é então salvo no endereço de arquivo informado pelo usuário ao selecionar o botão “Ler com”.

**Figura 2.** Layout principal do aplicativo supervisorio.



Fonte: Autores.

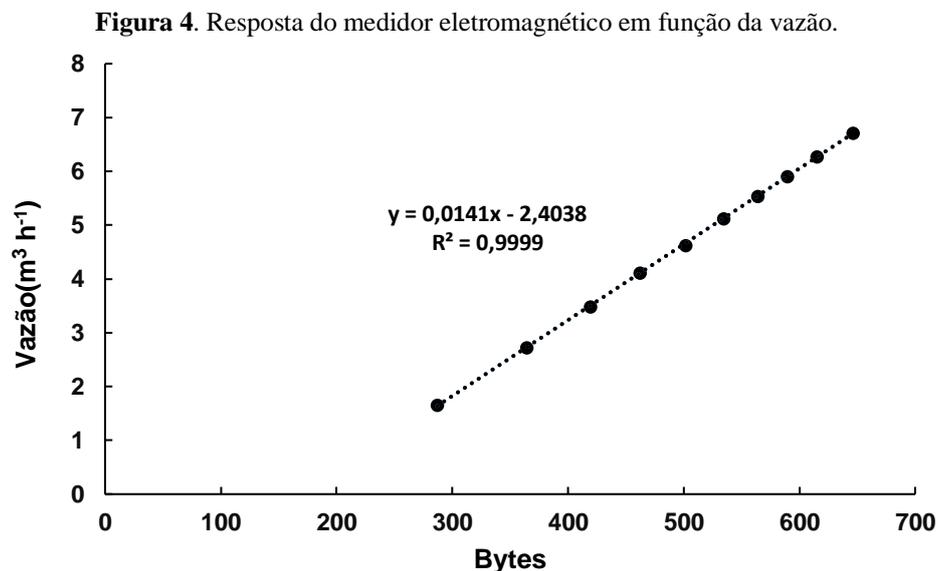
**Figura 3.** Formulário de identificação do ensaio que será realizado para aquisição e armazenamento dos dados por meio do aplicativo supervisorio.

Fonte: Autores.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE E MEDIÇÃO DE VAZÃO

Visando obter o modelo de equação que correlacionava a vazão com o valor em bytes fornecido pelo microcontrolador, realizou-se uma calibração abrangendo quase toda faixa de medição do sensor. Na Figura 4 verifica-se a resposta do sensor de vazão em função da vazão. Percebe-se, que conforme a teoria, o modelo linear descreve a resposta do sensor à variação da vazão, sendo que o modelo obtido por meio da regressão linear apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9999. A linearidade na resposta também é observada em outros sensores como, por exemplo, o sensor de pH, o qual esse comportamento foi verificado por Pinto et al. (2011) que, no desenvolvimento de um sistema para o controle do pH da água para microirrigação, obtiveram valores similares de  $R^2$ .



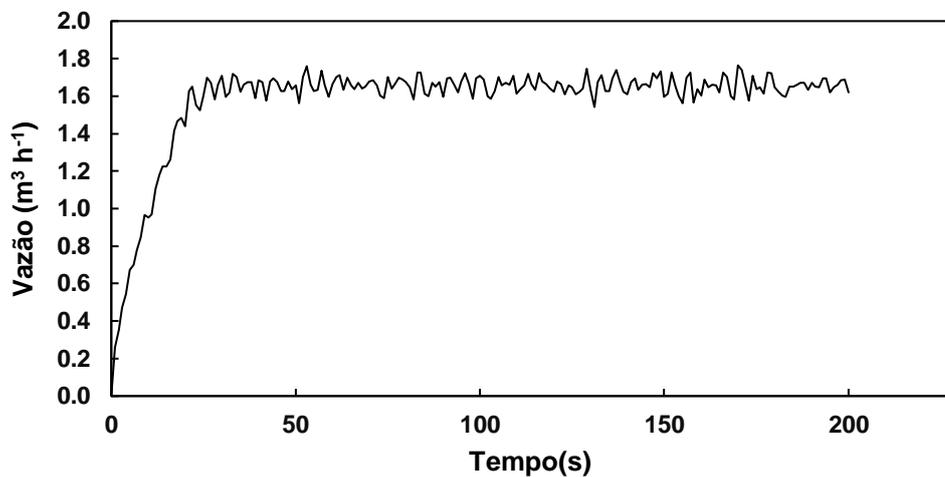
Fonte: Autores.

Pode ser constatado na Tabela 1, por meio do desvio padrão e do coeficiente de variação (CV), que a maior variabilidade dos dados foi de 6,80 bytes e de 2,19%, respectivamente. Dessa maneira, a variabilidade obtida foi considerada satisfatória para os fins pretendidos, e atendeu as recomendações quanto a variação da vazão (Bombardelli et al., 2017; Lima et al., 2003; Lima et al., 2007).

**Tabela 1.** Leitura média em bytes gerada pelo sensor de vazão, considerando as três repetições.

Variáveis	Vazões ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )									
	1,66	2,72	3,49	4,11	4,63	5,12	5,54	5,91	6,27	6,71
Média	286,8	364,0	419,0	461,8	500,9	534,2	563,8	589,2	614,9	645,8
Desvio Padrão	6,29	5,50	5,51	5,88	6,80	5,73	6,66	6,44	6,07	6,46
CV (%)	2,19	1,51	1,32	1,27	1,36	1,07	1,18	1,09	0,99	1,00

Os maiores CV encontrados foram para os menores valores de vazão, enquanto que, à medida que a vazão se aproxima do meio do intervalo de medida do sensor, o CV reduz, correspondendo a cerca de 1%. Na Figura 5 observa-se a leitura contínua do sensor de vazão para a maior variabilidade encontrada, sendo ilustrado uma das repetições do ensaio com vazão de  $1,66 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ .

**Figura 5.** Variabilidade do sinal de resposta do sensor de vazão para o ensaio com vazão de  $1,66 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ .

Fonte: Autores.

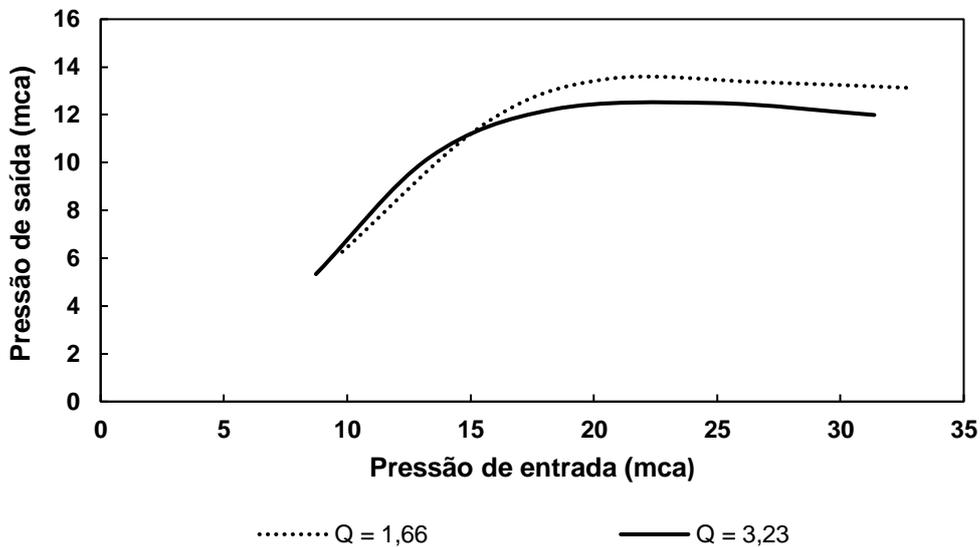
### 3.2 AVALIAÇÃO DA BANCADA INSTRUMENTADA PARA ENSAIOS DE VÁLVULAS REGULADORAS

Na Figura 6 verifica-se a pressão de saída média em função da pressão de entrada para vazões de  $1,66$  e  $3,23 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ , obtidas pelo dispositivo eletrônico de controle, em ensaio compatível com o realizado para caracterização do desempenho de válvulas reguladores de pressão, adaptado da Norma ISO 10522 (1993).

Durante a realização dos ensaios verificou-se que o dispositivo de controle auxiliado pelo software desenvolvido permitiu a aquisição, o processamento e o armazenamento eficaz dos parâmetros (pressão de entrada e de saída, e vazão) monitorados continuamente ao longo dos ensaios realizados, o qual coletava os dados a cada 1 s. Salienta-se que ao longo do período de execução

dos ensaios não foi detectado nenhuma falha que impossibilitasse o funcionamento adequado do sistema de automação desenvolvido.

**Figura 6.** Pressão de saída média determinada na bancada instrumentada em função da pressão de entrada para diferentes vazões (Q) em  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ .

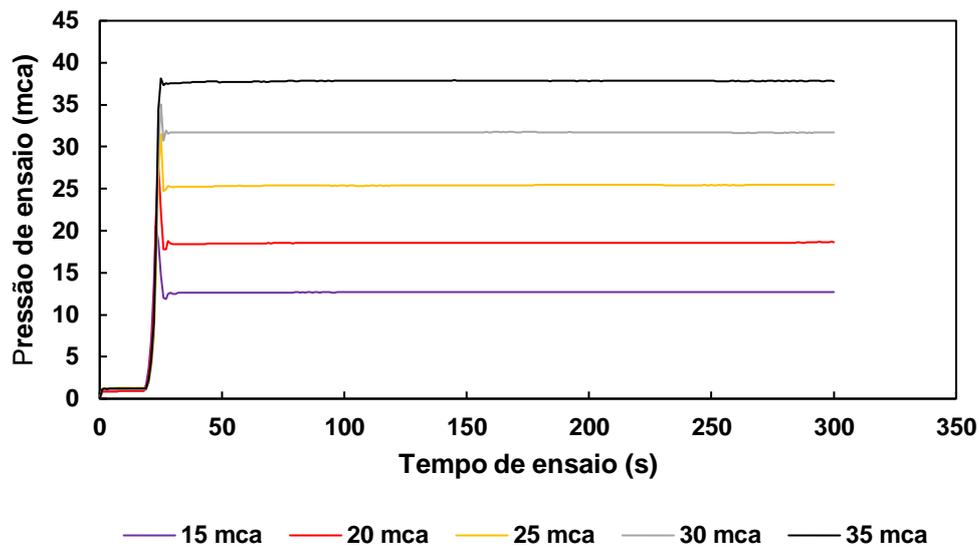


Fonte: Autores.

Através da análise da Figura 6, constata-se que a instrumentação da bancada permitiu a obtenção de curvas semelhantes às curvas de regulação que descrevem o desempenho de válvulas reguladoras para diferentes vazões, conforme verificado em diversos estudos científicos (Lima et al., 2003; Lima et al., 2009; Martins, 2012; Talamini Junior et al., 2018; Zhang & Li, 2017). Com isso, seguindo de maneira criteriosa as recomendações da Norma ISO 10522 (1993) supõe-se que será possível a caracterização hidráulica desses dispositivos de forma automatizada.

Com relação ao ajuste da pressão de entrada aplicada nos ensaios, realizada pela interface transdutor – inversor de frequência – motobomba, verificou-se que o mesmo foi alcançado em um tempo inferior a 40 s a partir do acionamento do conjunto motobomba (Figura 7). Adicionalmente, observa-se na Figura 7 que uma vez alcançada a pressão de entrada, a mesma se manteve estável ao longo dos ensaios e apresentou baixa variabilidade dos dados. Esse resultado comprova a adequação do sistema automático implementado no tocante a variabilidade dos parâmetros monitorados.

**Figura 7.** Tempo de ajuste (eixo x) da pressão de entrada (eixo y) realizada pela lógica PID do inversor de frequência para as pressões de ensaio da bancada instrumentada.



Fonte: Autores.

## 4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a bancada de ensaios de válvulas reguladoras de pressão construída, incluindo dispositivos e sensores, permitiu a automação do ensaio, não sendo detectado erro no sistema implementado no decorrer de sua avaliação.

O dispositivo eletrônico de controle e o aplicativo supervisor desenvolvido possibilitaram a aquisição, processamento e o armazenamento eficaz das variáveis pressões de entrada, pressão de saída ou regulada e vazão na válvula reguladora de pressão.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F.F.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; PIZZIOLLO, T. A.; OLIVEIRA, R.A. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.15, n.2, p.109-118, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017, 85p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.
- BOMBARDELLI, W.W.A.; CAMARGO, A.P.; LAVANHOLI, R.; ARAUJO, A.C.S.; TALAMINI JUNIOR, M.V.; FRIZZONE, J.A. Projeto e validação de uma bancada para ensaios de perda de carga localizada. Irriga, Edição especial Irriga & Inovagri, v.1, n.1, p.1-10, 2017.
- BRAGA, N.C. Curso básico de eletrônica. São Paulo: Saber, v.1, 1990. 140p.

- CAMARGO, A.P. Desenvolvimento de um controlador de irrigação para áreas experimentais. 2012. 110p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- ELLA, V.B.; KELLER, J.; REYES, M.R.; YODER, R. A low-cost pressure regulator for improving the water distribution uniformity of a microtube-type drip irrigation system. *Applied Engineering in Agriculture*, v.29, p.343–349, 2013.
- FRIZZONE, J.A. Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. Piracicaba: ESALQ, Dept. Eng. Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3.
- IBARS, R.A.F. Desenvolvimento e avaliação de tubos Venturi para medição de vazão. 2004. 61p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuário 2017. Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. 108p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION, ISO 10522, Agricultural irrigation equipment – Direct-acting pressure-regulating valves. Geneve, 1993. 11p.
- LIMA, S.C.R.V. Avaliação hidráulica de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização. 2001. 83p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- LIMA, S.C.R.V.; FRIZZONE, J.A.; COSTA, R.N.T.; SOUZA, F.; PEREIRA, A.S.; MACHADO, C.C.; VALNIR JÚNIOR, 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.
- LIMA, S.C.R.V.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; TEIXEIRA, M.B.; CARVALHO, M.A.R.; GOMES, A.W.A. Comportamento de reguladores de pressão para pivô central após modificação interna. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.1, n.1, p.9-14, 2007.
- LIMA, A.S.; ZOCOLER, J.L.; MAGGI, M.F.; LIMA, H.K. Uso do inversor de frequência em sistema de irrigação do tipo pivô central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água. *Pesquisa Aplicada e Agroecologia*, v.2, n.1, p.119-125, 2009.
- MARTINS, L.L. Desenvolvimento de um regulador de pressão microprocessado. Piracicaba, 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.
- MENDOZA, C.J.C.; FRIZZONE, J.A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.6, n.3, p.184-197, 2012.
- OLIVEIRA, D.P.; VALNIR JÚNIOR, M.; CARVALHO, M.A.R.; CARVALHO, C.M.; LIMA, S.C.R.V.; CARVALHO, L.C.C. Análise de controle e confiabilidade de laboratórios em microaspersores utilizando testes estatísticos de Dixon. *Revista Agropecuária Técnica*, v.31, n.2, p.91-95, 2010.
- PINTO, M.F.; CAMARGO, A.P.; ALMEIDA, A.C.S.; ALVES, D.G.; BOTREL, T.A. Desenvolvimento de um sistema para o controle do pH da água para microirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.2, p.211-217, 2011.

PERBONE, A. Sensibilidade de gotejadores à obstrução por partículas de areia. 2016. 72p. Tese (Doutorado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

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.2008, p.1-9, 2008.

TARJUELO, J.M.M.B. El riego por aspersion y su tecnologia. 1a Ed. Madrid: Mundi Prensa, 1994, 491p. *The Scientific World Journal*, v. 2018, p. 1-9, 2018.

VON BERNUTH, R.D.; BAIRD, D. Characterizing pressure regulator performance. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.33, n.1, p.145-150, 1990.

ZAGGO, S.P.; COLOMBO, A.; GIL, O.F. Desempenho de válvulas reguladoras de pressão utilizadas em sistemas pivô central. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, Anais, v.1, p.360-379, Piracicaba, SBEA, 1990.

ZHANG, C.; LI, G. Optimization of a direct-acting pressure regulator for irrigation systems based on CFD simulation and response surface methodology. *Irrigation Science*, v.35, p.383-395, 2017.