



# VÁLVULA REDUTORA AUTOMÁTICA DE PEQUENO DIÂMETRO PARA MODELO REDUZIDO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Edevar Luvizotto Jr<sup>1</sup>, Bruno M. Brentan<sup>2</sup>, José Gilberto Dalfré Filho<sup>3</sup>,  
André S. S. Martim<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Unicamp, FECFAU, Campinas, SP, Brasil

<sup>2</sup>UFMG, EHR, Belo Horizonte, MG, Brasil,

<sup>1</sup>*edevar@unicamp.br*

## RESUMO

Sistemas de abastecimento de água inteligentes envolvem técnicas de medição, transmissão, processamento de dados, programas para análise e decisão. O *Laboratório de Hidrotrônica, da FECFAU-Unicamp* foi concebido para propor e testar ferramentas com o propósito de atender aos ditames dos sistemas de abastecimento inteligentes, sob um ambiente controlado, propício a investigações sem causar desconforto e/ou comprometer a segurança de usuários (consumidores reais). Contudo, o diâmetro reduzido das tubulações utilizadas neste laboratório, obriga a adoção de válvulas automáticas redutoras de pressão simples, de pequeno diâmetro, com menor complexibilidade que as utilizadas nos abastecimentos. Este trabalho investigou o comportamento dinâmico destas válvulas em modelo físico neste laboratório e avaliou a sua adequação. Comparou os resultados obtidos com modelo computacional, em período extensivo, que simula válvulas de maior porte em sistemas reais. O objetivo foi avaliar a aplicação deste expediente, para isolamento de distritos de medição e atenuação de transitórios no modelo físico, que dispõe de módulos de aquisição, processamento de dados e controle, para simular o comportamento de um sistema de abastecimento de água inteligente. Os resultados qualitativos indicam uma boa performance do dispositivo, em relação à proposta, entretanto, foi observada discrepância do ponto de controle, em relação ao fornecido pelo fabricante.

## Palavras-Chave

Válvulas redutoras de pressão automáticas, modelos físicos, Smart Cities.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o “Journal of Water Resources Planning and Management”, em um de seus editoriais - “*Smart water networks are instrumented, interconnected water systems that integrate data, computation, control, and communication technologies. They aim to improve system performance and resilience as well as consumer satisfaction and engagement.*”[1]. Neste sentido, técnicas de medição, transmissão e processamento de dados e programas para análise e tomada de decisão, com bases nestes e em interferências com outros sistemas devem ser investigados e desenvolvidos. O *Laboratório de Hidrotrônica, da FECFAU-Unicamp* foi concebido para testar ferramentas desenvolvidas no LHC (*Laboratório de*

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

*Hidráulica Computacional*) da FECFAU, com o propósito de atender aos ditames dos sistemas de abastecimento inteligentes, em ambiente controlado, propício a investigações, sem causar qualquer desconforto e/ou comprometer a segurança dos operadores e usuários (consumidores em sistemas reais). Entretanto, o diâmetro reduzido empregado nas tubulações utilizadas, que possibilitou o emprego de longos comprimentos em espaço reduzido, obrigou a adoção de válvulas automáticas de controle de pressão de pequeno diâmetro, não usuais em redes de distribuição de água, sendo necessário avaliar se estas conseguem reproduzir de maneira satisfatória o comportamento das válvulas de controle complexas empregadas em sistemas reais para fins tais como: o estabelecimento de distritos de medição e de controle de perdas físicas, dentre outros.

A proposta deste trabalho foi a de investigar o comportamento dinâmico de válvulas auto operadas de pequeno diâmetro para redução de pressão, na instalação experimental, avaliando a resposta do dispositivo em relação ao comportamento esperado e, comparar resultados com modelo computacional em período extensivo. A investigação visa avaliar aplicação deste expediente, na simulação física de programas de perdas, isolamento de distritos de medição com base em regiões de pressão entre outros, ressaltando que o modelo físico em laboratório, possui módulos de aquisição, processamento de dados e controle (via CLP), módulos de transmissão e recepção de dados, que simulam um sistema de abastecimento de água inteligente.

**2. METODOLOGIA****2.1 O LABORATÓRIO DE HIDROTÔNICA**

O *Laboratório de Hidrotônica* da FECFAU-Unicamp [2] constitui o ativo principal da pesquisa. Consta de um sistema de tubulações com comprimento de 1200 m em PEAD de 3/4" de diâmetro, e 300 m de comprimento em tubulação de cobre de igual diâmetro, perfazendo um total de 1500 m de tubulação. As tubulações são divididas em 5 módulos, de 300 m de comprimento, enrolados em espiras de 100 m de comprimento, independentes entre si (figura 1). Cada um destes trechos tem suas seções de entrada e de saída conectadas a um painel em material acrílico suportado por uma estrutura metálica e, disposto em posição vertical (figura 2). Por meio de conectores de engate rápido é possível conectar as seções dos diversos trechos dos diferentes módulos e, assim compor diferentes topologias de redes. Nos pontos de conexão, no painel de acrílico, são instalados transdutores de pressão, para coleta de dados e pontos de descarga com válvulas para simular demandas nodais. Também são instaladas no painel conexões para medidores de vazão, para bomba com variadores de rotação (figura 7), para válvulas de controle de vazão e pressão, para reservatórios de alimentação e sobra e para um reservatório hidropneumático para manutenção de carga por meio de compressor (figura 3). A alimentação é feita por um sistema de dois reservatórios, conectados a um sistema de bombas que permitem ligação em série ou paralelo (figura 4). A ideia desde painel, para conexões, baseou-se no princípio adotado pelas "protoboards" empregadas na prototipagem de circuitos eletrônicos. O laboratório possui um sistema de aquisição e controle (baseado em CLP's) simulando um sistema SCADA ("Supervisory Control and Data Acquisition") (figuras 5 e 6). A figura 8 esquematiza os elementos disponíveis no painel e as possíveis conexões, que podem ser feitas por trechos de tubulações flexíveis com engate rápido como visto na figura 2.

**SMART WATER:**

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
módulos de tubulações

Figura 1. Tubulações em espiral



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
módulo painel de conexões

Figura 2. Painel em acrílico para conexões



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
módulo alimentação TH

Figura 3. Tanque Hidropneumático



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
módulo alimentação  
Reservatórios, bombas e compressor

Figura 4. Reservatórios de alimentação



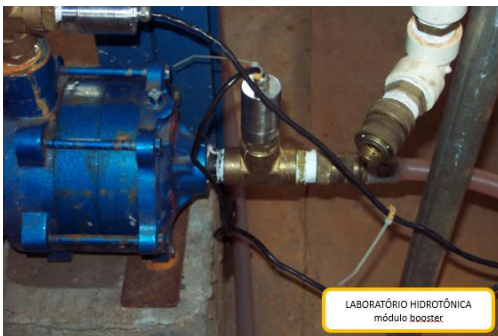
LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
Módulo de aquisição e controle (CLPs)

Figura 5. Aquisição e controle



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
Módulo de supervisão

Figura 6. Sistema SCADA



LABORATÓRIO HIDROTÔNICA  
módulo booster

Figura 7 – Sistema de reforço de carga

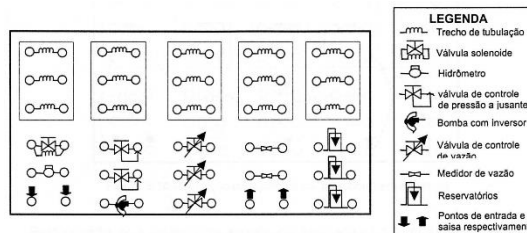


Figura 8 – Diagrama esquemático do painel



## SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

## 2.2 A VÁLVULA ENSAIADA

A válvula investigada foi produzida pela FABRIMAR, e é denominada pelo fabricante de RPS-Regulador de pressão para saneamento, em 3/4". Conforme especificado em catálogo; a vazão de operação é de 0 a 2,5 m<sup>3</sup>/h, pressão máxima a montante de 100 mH<sub>2</sub>O e pressão regulada de saída de 15 mH<sub>2</sub>O, comprimento 60 mm, altura 134 mm, largura maior 40mm e peso de 440 g. Os principais componentes da válvula estão apresentados na figura 9, obtidas do catálogo do fabricante [3].

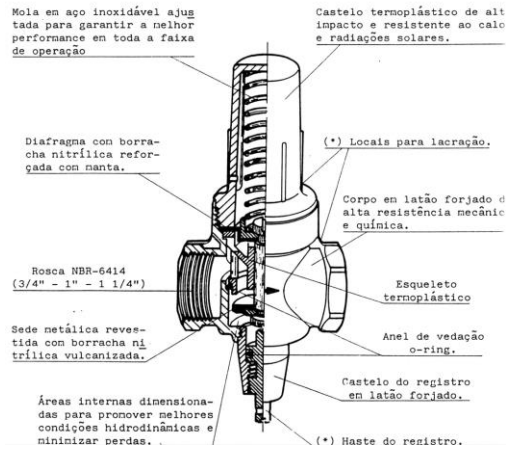


Figura 9 – Elementos da válvula pesquisada

Na válvula a pressão é controlada pela diminuição do fluxo resultante do equilíbrio das forças que agem nos elementos de operação presentes no corpo da válvula. O fluxo definido pela posição do obturador depende da característica inerente da válvula que pode ser expressa de maneira aproximada pela equação [4];

$$q = s^y \quad (1)$$

sendo  $q$  a vazão reduzida,  $q = Q/Q_o$ , onde  $Q_o$  é a vazão para abertura plena e  $Q$  a vazão para uma abertura parcial,  $s$  é o grau de abertura da válvula, variando de 0 a 1,0 e  $y$  um expoente que caracteriza o tipo da curva,  $y = 1$  caracteriza uma abertura linear,  $y = 0,5$  uma abertura rápida e  $y = 3$ , uma curva próxima da “igual porcentagem”. Da equação (1) pode-se obter a lei de variação do coeficiente de perda singular da válvula que relaciona a vazão por esta para uma variação de pressão entre montante e jusante [5].

$$K_v = \frac{K_{v100}}{s^{2y}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = K_v \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3)$$

Se a pressão a montante varia bruscamente, o equilíbrio das forças internas, devido à inércia das partes móveis, ao diferencial de pressão, as diferentes áreas e do atrito interno resulta:

$$p_m A_m - p_j A_j = m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx - Ra \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

sendo os índices  $m$  e  $j$ , referentes a montante e jusante, respectivamente,  $p$  a pressão e  $A$  as áreas nestas seções,  $R$  o coeficiente de atrito lateral,  $a$  área lateral média do obturador e  $m$  a massa das partes móveis. Se as áreas  $A_m$  e  $A_j$  forem relacionadas a área  $A$  de referência da

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

válvula, as equações anteriores permitem definir o comportamento dinâmico da válvula em termos da diferença de pressão e do fluxo pela válvula, que é o objeto de análise deste trabalho.

**2.3 TOPOLOGIA DO EXPERIMENTOS E ENSAIOS**

A instalação experimental contou com os seguintes elementos: a) trecho de alimentação b) tanque hidropneumático c) primeiro trecho de tubulação (espiral com 100 m) d) trecho de conexão com engate rápido e) válvula de controle e medidor de vazão f) trecho de conexão com engate rápido g) segundo trecho de tubulação (espiral de 100 m) h) trecho de descarga com válvula a montante para modulação da vazão.

O ensaio proposto consiste na queda de pressão no interior do tanque hidropneumático que alimenta o sistema devido a uma descarga para a atmosfera na extremidade a jusante do sistema. Esta queda é lenta e com isso deseja-se avaliar o comportamento em período extensivo, em que os efeitos inerciais são desprezíveis e condizentes com a proposta de setorização de redes de distribuição de água. A instrumentação do ensaio foi feita, por além dos medidores de vazão pulsado, através de quatro transdutores de pressão (um de 50 mH<sub>2</sub>O e três de 100 mH<sub>2</sub>O), instalados respectivamente, na saída do tanque hidropneumático, um na entrada do primeiro trecho de tubulação, outro na saída do primeiro trecho de tubulação (montante da válvula reguladora de pressão) e, o outro na entrada do segundo trecho de tubulação, ou seja, na saída da válvula reguladora de pressão, conforme indicado no esquema da figura 9.

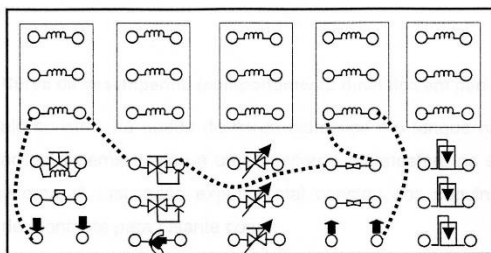


Figura 9 – Esquema de instalação experimental no painel

O procedimento de ensaio 01 foi o seguinte: o tanque hidropneumático é cheio com água até o seu nível operacional máximo, por meio das bombas do sistema de alimentação. Fecha-se em seguida a alimentação e ar é injetado no tanque hidropneumático por meio de um compressor, até ser atingida uma pressão de 70 mH<sub>2</sub>O superior à de ensaio definida com 50 mH<sub>2</sub>O. A partir deste instante abre-se parcialmente a válvula de descarga, a jusante que se inicia fechada e procede-se o início do escoamento pelo sistema, ocorrendo a expulsão de ar do sistema até ser atingida a condição de vazão plena, enquanto a pressão no tanque abaixa até que seja atingida a pressão de ensaio (50 mH<sub>2</sub>O) o que tarda cerca de 20 minutos. A partir deste momento passam a ser registrados valores de vazão e através de um aplicativo SCADA e a aquisição é feita até o tempo em que se observa que a válvula redutora de pressão já não exerce mais controle. Os resultados deste ensaio são apresentados nos gráficos das figuras 10 a 13.

O procedimento de ensaio 02 avalia uma condição operacional inversa as anteriores. Neste caso avalia-se a condição operacional da válvula redutora desde sua condição de inoperância (pressão abaixo a de pressão de controle estabelecida) aumentando até que passe a condição de controle. O procedimento inicial de ensaio é e semelhante ao do ensaio 01, com a alimentação do tanque até seu nível operacional máximo. Desliga-se a alimentação e

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

pressuriza-se o tanque até que seja atingida uma pressão de 40 mca. Neste momento abre-se a válvula de descarga e espera-se até atingir uma condição regular de escoamento, deixando-se cair a pressão no tanque até que se atinja a jusante da válvula de regulação de pressão um valor cerca de 20% abaixo da pressão de controle. Neste momento liga-se o compressor para recuperação da pressão no interior do tanque e acionam-se os medidores de pressão e de vazão via o sistema SCADA. As medições são feitas até o momento em que a pressão a montante da válvula reguladora supere em 26% o seu valor preestabelecido de controle. Os resultados deste ensaio estão apresentados na figura 14.

O procedimento do ensaio 03 avalia uma condição dinâmica com algum efeito de inercia. Neste ensaio acrescenta-se à topologia empregada nos ensaios anteriores uma válvula a montante do primeiro trecho de tubulação. Esta válvula permanecerá parcialmente aberta até um instante em que, abruptamente, é aberta totalmente.

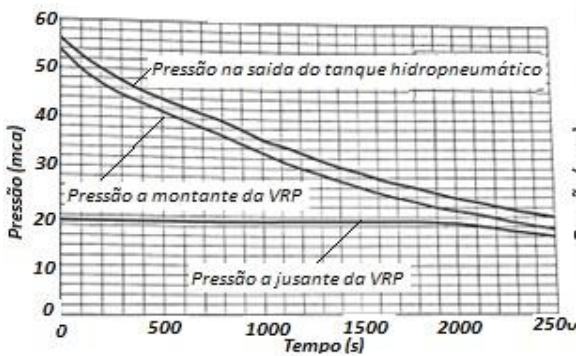


Figura 10. – Pressão no tanque e na VRP

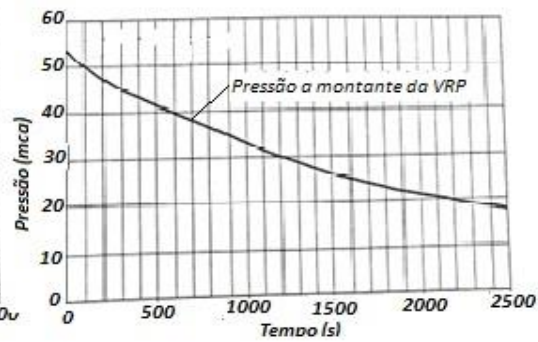


Figura 11. Pressão a montante da válvula

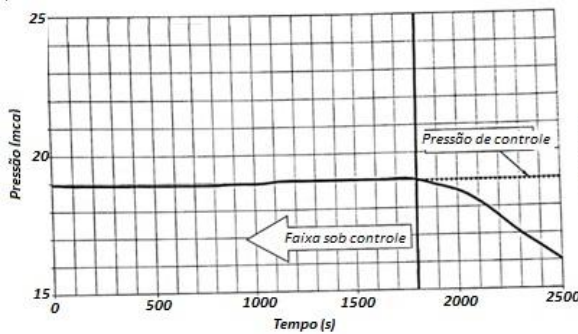


Figura 12. – Pressão a jusante da VRP

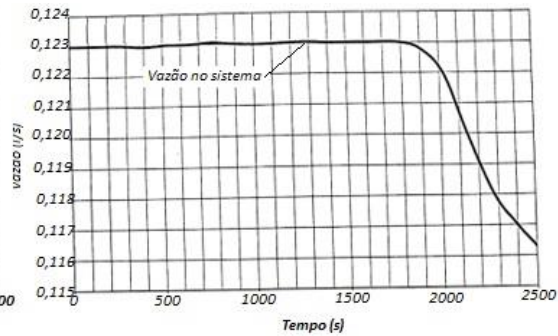


Figura 13 Vazão pelo sistema.

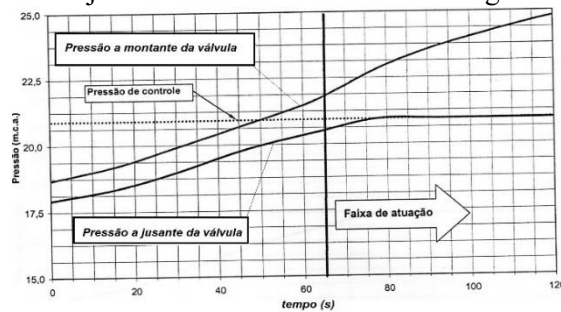


Figura 14. Pressão a montante e a jusante da VRP – ensaio 02

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

O procedimento inicial do ensaio é análogo ao descrito no ensaio 01, mas após estabelecido o fluxo deixa-se a pressão no tanque cair até cerca de 30 mH<sub>2</sub>O. A partir deste momento passam a ser coletados dados de pressão e vazão e após cerca de um minuto a válvula a montante da tubulação 01 é aberta totalmente de maneira abrupta. A aquisição é feita até o tempo em que a válvula redutora já não exerça controle. Apesar da limitação da taxa de aquisição dos transdutores de pressão e do sistema de aquisição de dados, que não consegue atualizar os registros em frequência compatível com um transitório hidráulico, pode-se qualificar a atuação da válvula de controle de pressão. Os resultados deste ensaio são apresentados no gráfico da figura 15 (a), (b) e (c)

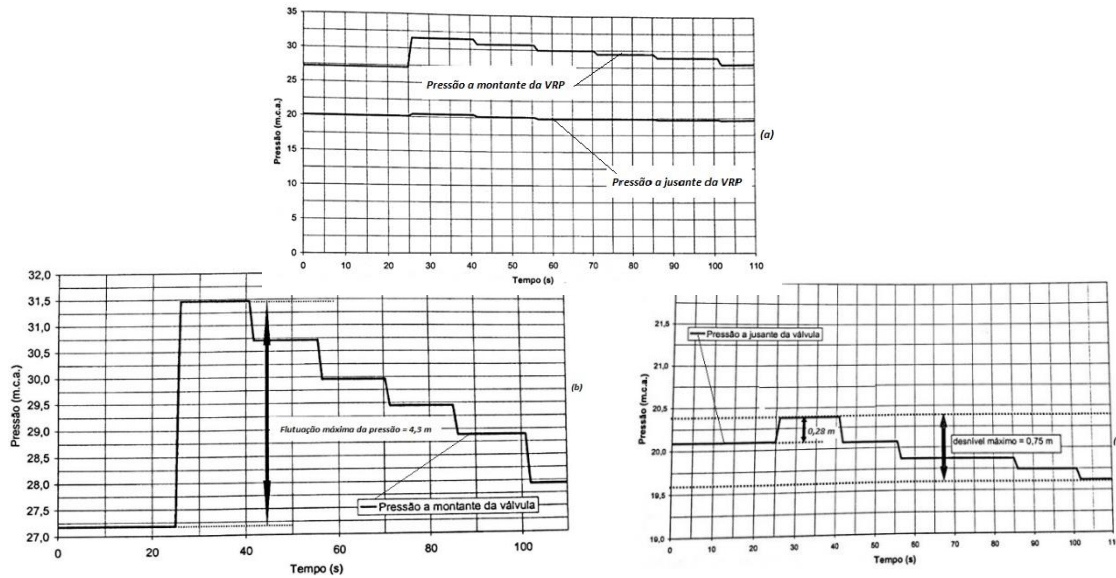


Figura 15 – Resultado do ensaio 3

**2.4 SIMULAÇÃO EM PERIODO EXTENSIVO**

O ensaio de queda de pressão no tanque hidropneumática foi simulado em “software” de simulação em periodo extensivo (SPERTS). O tanque foi simulado de maneira aproximada como um reservatório de seção constante e nível variado, que refletiu no comportamento linear apresentado na figura 16, distinto do real. Na figura 17 observa-se o comportamento simulado e real a jusante da válvula. Na situação real o comportamento da queda de pressão é mais suave que o simulado, iniciando-se um pouco antes do simulado.

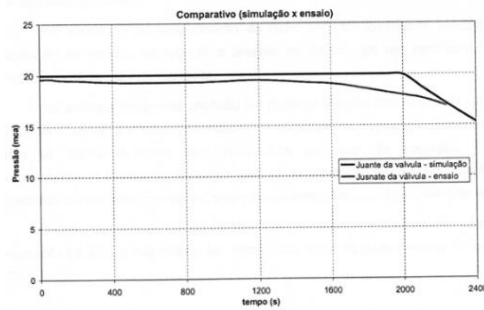
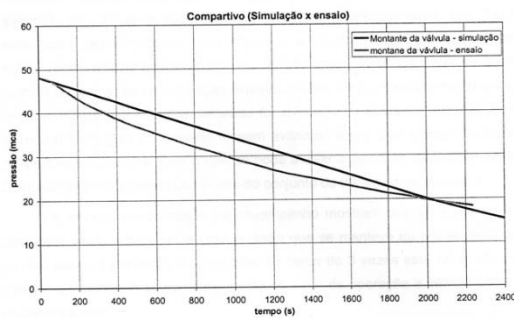


Figura 16 Variação de pressão a montante da VRP    Figura 17 Variação da pressão a jusante da VRP

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

### **3. RESULTADOS**

Os resultados dos três ensaios feitos em laboratório foram apresentados nas figuras 10 a 15. Nos ensaios de variação lenta da pressão, em que buscou-se minimizar os efeitos de inercia, a válvula conseguiu estabelecer o controle a que se propõe, embora com valor superior ao fornecido pelo fabricante. No ensaio 3, em que foram produzidas variações mais bruscas de pressão os resultados devem ser analisados de maneira qualitativa, devido a taxa inadequada de aquisição do sistema de coleta. Mesmo não se tendo valores reais, pois picos de pressão podem ter sido perdidos, pode-se observar que válvula atenuou os pulsos de pressão transitórios a jusante a valores próximos ao “set point” observado nos ensaios anteriores.

A modelagem computacional, em período extensivo é uma modelagem dinâmica não inercial e, portanto, aproximada do comportamento da válvula. A comparação entre simulado e ensaio físico permitiu observar isso em relação ao tempo de início e forma com que válvula deixou de atuar.

### **4. CONCLUSÕES**

Foram realizados uma série de ensaios e, em todos eles a válvula mostrou um comportamento dentro do esperado sob o aspecto qualitativo, como apresentados nos gráficos resultantes, tanto para aumentos de carga quanto para redução das cargas na extremidade de montante. Entretanto os ensaios deixam notório que o valor de “set point” de 15 mca, descrito no catálogo do fabricante é inferior ao obtido em laboratório, que foi superior a 19 mca. A simulação em período extensivo, embora não tenha conseguido simular corretamente a condição a montante da válvula, definida pelo tanque hidropneumático, mostra coincidência no comportamento simulado e real, embora no simulado a queda de pressão para valores abaixo do valor de operação seja linear. Do comportamento observado nos ensaios conclui se, que; embora a válvula utilizada seja de baixa complexidade de funcionamento, quando comparada às válvulas de controle de maiores diâmetros, , ela mostrou-se apta para os propósitos que se pretende para esta.

### **REFERÊNCIAS**

- [1] A., Rasekh. - *Editorial - Journal Of Water Resources Planning And Management - 2016*
- [2] Marques, M. G., F. H. Chaudrhy, Reis, L. F. R.- *Estuturas Hidraulicas para aproveitamento de Recursos Hidricos – Coletânea Rehidro – vol 2 – 2004 -Rima – Editora*
- [3] *Fabrimar – RPS – Regulador de pressão para saneamento – Catálogo Fabrimar - 2000*
- [4] Almeida, A, B., Martins, S.C, *Controlo Hidráulico Operacional de sistemas adutores 1999*  
Ed. Empresa Portuguesa de águas livres, S.A. EPAL
- [5] Dvir, Y. - *Flow Control Devices – Ed. Control Appliances Books - 1996*