

## ANÁLISE COMPARATIVA DA VELOCIDADE DE UM ATUADOR HIDRÁULICO SOB CARREGAMENTO VARIÁVEL UTILIZANDO VÁLVULAS DE CONTROLE DE VAZÃO

Richard Patel - Faculdade SATC – email: patelll@hotmail.com

Yan Medeiros Morona - Faculdade SATC – email: yan\_morona@hotmail.com

Richard de Medeiros Castro - Faculdade SATC – Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos (LASPHI) - email: richard.castro@satc.edu.br

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de uma válvula reguladora de vazão com compensação de pressão atuando no controle de velocidade aplicado em um atuador hidráulico. O trabalho foi realizado por meio de uma bancada de testes de análise da velocidade do atuador submetido a uma força variável, medida por um transdutor de posição através do qual foi realizada a aquisição dos dados de velocidade para a plotagem dos gráficos. Os testes foram realizados com vazões e pressões diferenciadas e com o uso de acumulador hidráulico. Para as condições com carga, verificou-se que a válvula controladora de vazão tem sua funcionalidade somente para baixas vazões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controladora de vazão; Controle de velocidade; Regulagem de velocidade

**ABSTRACT:** The propose of the present article is to present a study of a flow control valve with pressure compensation, operating in the speed control applied on a hydraulic actuator. The study was conducted by a test bench analysis of speed from the actuator subjected to a variable force, measured by a position transducer which was used in the acquisition on the data of speed for the graphics plotting. The tests were performed with different flows and pressures and using the hydraulic accumulator. In cases that had charge, was verified that the flow control valve has his functionality only for low flows.

**KEY WORDS:** Flow Controller; Speed Control; Speed Regulation

### INTRODUÇÃO

A hidráulica vem sendo aplicada para facilitar e aperfeiçoar os trabalhos que antes exigiam a força do homem. Sistemas hidráulicos são frequentemente usados em aplicações de alto desempenho que requerem respostas rápidas (Pedron, 2006 *apud* Eryilmaz, 1999), sendo uma área em constante evolução muito utilizada no mercado industrial.

Dentro da área da hidráulica, destacam-se as válvulas reguladoras de fluxo, que tem por objetivo regular a velocidade de operação de atuadores hidráulicos através do ajuste de vazão. Porém, em atuadores que há constante mudança de carregamento e consequentemente de pressão, esses elementos são inadequados para o tipo de operação. Para estes casos, utilizam-se válvulas reguladoras de vazão com compensação de pressão, que tem por finalidade manter a mesma diferença de pressão entre os pontos A e B (Figura 1), tornando o fluxo constante e mantendo a velocidade do atuador invariável (Exner *et al.*, 2005).

O princípio de conservação de energia em escoamentos de regime permanente, unidirecional, sem atrito e incompressível de um fluido ideal, pode ser dado pela equação de Bernoulli, e a taxa de fluxo através de um orifício é dada pela Eq. (1) e Eq. (2) (Rabie, 2009).

$$Q = v \cdot A_0 [m^3/s] \quad (1)$$

$$Q = C_d \cdot A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} [m^3/s] \quad (2)$$

Onde:

$v$  = Velocidade do escoamento

$C_d$  = Coeficiente de descarga

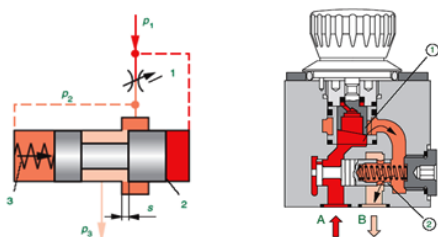
$A_0$  = Área da seção do orifício

$\rho$  = Massa específica do fluido

$\Delta p$  = Diferença de pressão antes e depois da restrição

Em regime permanente, o comportamento em vazão destas válvulas é descrito pela equação da vazão em orifício Eq.(2). Uma pequena variação no diferencial de pressão através da válvula reguladora de vazão (pressão de entrada – pressão de saída) pode ocasionar variação na vazão controlada pela válvula. Desta maneira, situações em que a velocidade do atuador deve ser rigorosamente controlada independente da carga, podem ser utilizadas válvulas reguladoras de fluxo com compensação de pressão visando manter a vazão inalterável (Palmieri, 1985).

A função do compensador é manter constante a diferença de pressão entre as câmaras da válvula  $P_1$  e  $P_2$  para cada valor de abertura do orifício de controle



**Figura 1.** Válvula controladora de vazão. (a) princípio de funcionamento e (b) componente em corte

da redutora de vazão. Para isso, a balança de pressão desloca-se de acordo com a pressão exercida pelo sistema, no sentido de aumentar/diminuir a restrição e a perda de carga no compensador (Palmieri, 1985).

Essas válvulas, por possuírem controle unidirecional, costumam ser equipadas com uma válvula de retenção para escoamento inverso livre e são projetadas para possuir boa resposta a variações lentas de pressão.

Durante o escoamento inicial, o compensador permanece parado, até que a diferença de pressão  $p_1$  e  $p_2$  supere o valor da força de pré-compressão da mola mais força de atrito estático,  $Kx_o + F_{at}$ . A partir do ponto que  $p_1 - p_2$  se iguala ao equivalente de força efetiva da mola, pode-se dizer que o compensador entra em equilíbrio estável (Linsingen, 2008).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade de testes foi construída no LASPHI do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, com o objetivo de estudar o comportamento do sistema hidráulico. A unidade é composta por uma (unidade de potência e condicionamento hidráulico – UPCH), uma bancada de trabalho com um computador com os softwares LabVIEW 13.0 e Microcal Origin 8.0, um sistema de aquisição de dados e componentes para a montagem do sistema (cilindro, válvulas, transdutores de posição, sistema de carregamento, acumulador e outros) ilustrado na Fig. 2.

A UPCH é composta por uma bomba de engrenagem com deslocamento volumétrico de  $8 \text{ cm}^3/\text{rev}$ , motor elétrico de 1700 RPM e potência de 1500 W, gerando assim uma vazão de  $13,6 \text{ l/min}$  e tendo como capacidade máxima de pressão 150 bar. O reservatório hidráulico de 60 litros é equipado com filtro de sucção, acumulador de 0,75 litros e fluido hidráulico HLP - ISO VG 68.

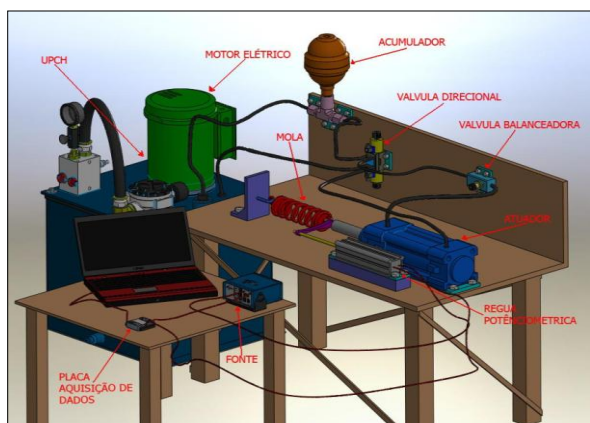


Figura 2. Montagem da bancada de testes

A bancada de trabalho foi construída utilizando um atuador hidráulico com dimensões de 25/18/200 mm, tracionando uma mola de constante elástica de 2950 N/m, com o objetivo de simular a carga variável, a qual foi posteriormente ensaiada para verificar sua carga de

tração. Acoplado ao atuador, um transdutor de posição foi usado para fazer a medição do deslocamento no tempo, do conjunto haste/mola.

Durante os ensaios, o cilindro foi acionado por uma válvula direcional de duplo solenóide, e a vazão no sentido de retorno do atuador foi controlada por uma válvula controladora de vazão. Os dados foram adquiridos pelo transdutor de deslocamento linear e a placa de aquisição da *National Instruments NI USB-6008*, juntamente com o software LabVIEW 13.0.

Para os testes, foram selecionados a pressão de 5 Mpa, sendo para vazões de 1, 2 e 4 litros/minutos. Para garantir as vazões em análise, utilizou-se o rotâmetro para verificar o fluxo, já que as curvas “vazão x número de voltas” da válvula reguladora e controladora de vazão disponíveis nos catálogos eram com viscosidade de  $34 \text{ mm}^2/\text{s}$ , não podendo ser utilizadas, já que a viscosidade do fluido utilizado era diferente.

Na análise, utilizaram-se somente os dados de retorno do atuador mostrado na Fig. 3 e 4, de acordo com a localização de instalação da válvula de controle de vazão.

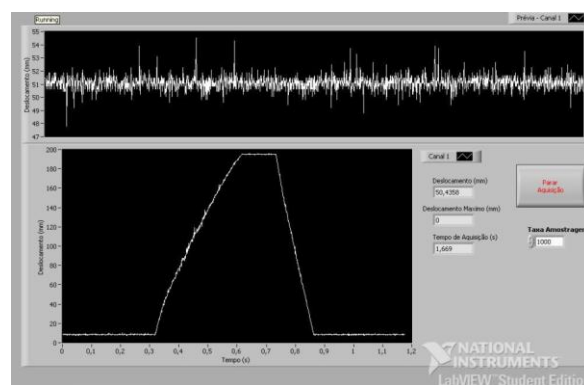


Figura 3. Aquisição com LabVIEW - posição x tempo

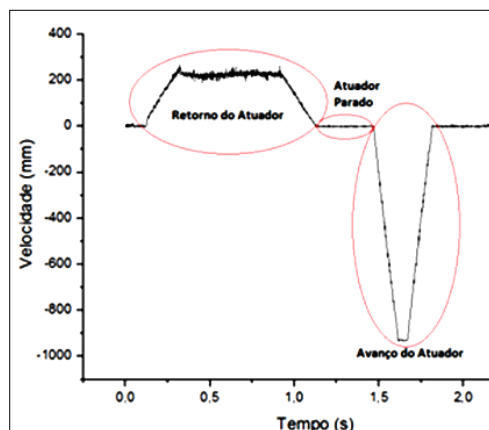
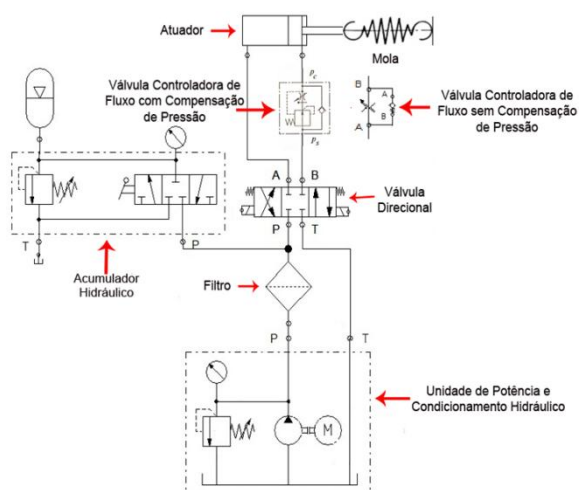


Figura 4. Curvas de velocidade e posição

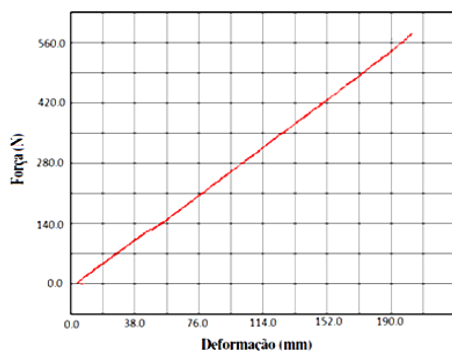
A Fig. 5 apresenta o circuito hidráulico elaborado para o desenvolvimento dos testes utilizando a válvula com compensação e a válvula reguladora de vazão sem compensação.



**Figura 5.** Circuito hidráulico utilizado nos ensaios

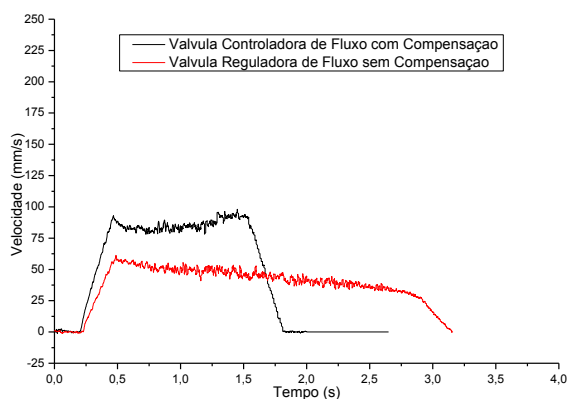
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 6 mostra a força atuante em função da deformação adquirido durante o ensaio de tração. Na posição de deslocamento máximo do atuador (200 mm), a mola exercerá uma força de 590 N.



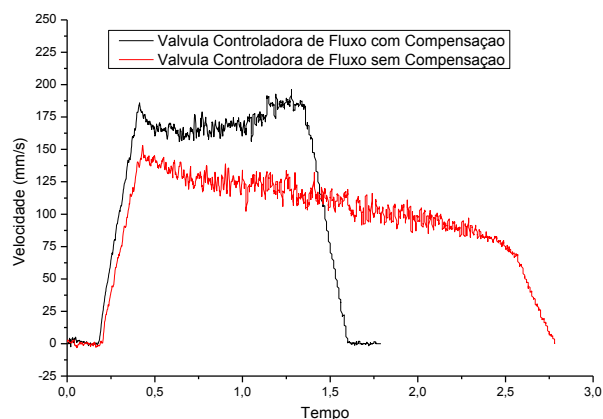
**Figura 6.** Ensaio de Tração da Mola

As Fig. 7, 8 e 9 demonstram os gráficos comparativos para as situações em estudo, comparando a utilização ou não da válvula controladora de vazão com compensação de pressão.

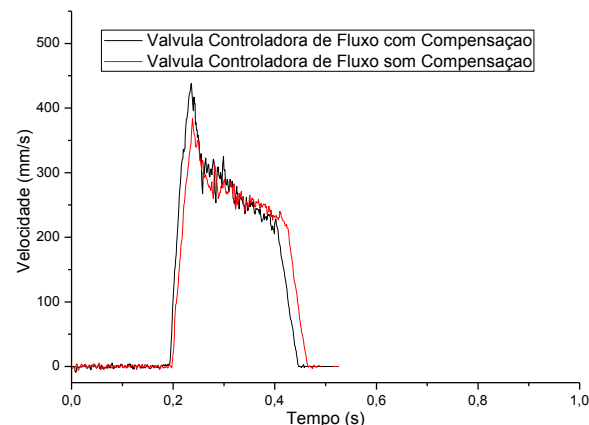


**Figura 7.** Respostas das velocidades do cilindro hidráulico para vazão de 1 LPM

Na Fig. 7, considerando as condições de operação impostas ao circuito, observa-se claramente que a utilização da balança de pressão utilizadas, permitiu manter a velocidade aproximadamente constante durante o curso do atuador hidráulico



**Figura 8.** Respostas das velocidades do cilindro hidráulico para vazão de 2 LPM.



**Figura 9.** Respostas das velocidades do cilindro hidráulico para vazão de 4 LPM.

Para vazões de 2 LPM (Fig.8), o comportamento da curva foi similar para vazão anterior selecionada, apenas com ganho de velocidade ( $\approx 160$  mm/s) em função do novo valor estabelecido para a vazão. Entretanto para 4 LPM a válvula apresentou-se com dificuldade para a estabilização da regulagem, ou seja, o tempo de 0,2 a 0,45 segundos não foi suficiente para uma regulagem efetiva da válvula com compensação de pressão.

O comportamento não foi o esperado para vazões de 4 litros/minuto nas quatro situações, visualizado na Fig. 7. Ambas as válvulas demonstram praticamente a mesma curva decrescente. Para efeitos de comparações, as velocidades máximas e mínimas dos gráficos foram coletadas juntamente com a área de retorno do cilindro

$A_{retorno} = 0,00023664 m^2$  para a montagem da Tab. 1, que demonstra as vazões calculadas.

**Tabela 1.** Comparativos de velocidade para todas as situações de testes

Válvula com Compensação	Vazão [L/min]	Veloc. Média [mm/s]
	1,0	94,2
	2,0	168,3
Válvula sem Compensação	4,0	333,7
	Vazão [L/min]	Veloc. Média [mm/s]
	1,0	44,6
2,0	102,3	
4,0	228,5	

## CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A utilização da válvula reguladora de vazão sem compensação de pressão tem sua vazão decrescente devido à diminuição da perda de carga no orifício de controle e, conseqüentemente a diminuição do fluxo quando o atuador fica submetido a um aumento progressivo de carga;
- O comportamento de manter a velocidade constante tem sua funcionalidade quando o tempo de deslocamento de carga é maior do que o necessário para a estabilização da válvula controladora de vazão. Nesse caso o tempo de deslocamento da carga deveria ser maior que 0,45 segundos para a efetivação do balanceamento de pressão;
- Os testes também foram suficiente para mostrar a dependência da variação de pressão com relação a equação que descreve a taxa de fluxo em um orifício de controle;
- Para vazão em 4 litros/minuto e carga variável de 590 N, a válvula de fluxo com compensação de pressão não exerce a função desejada;
- Como sugestões de trabalhos futuros, a medição do fluxo de descarga na válvula de alívio, o uso de medidores de pressão na válvula e uma maior carga de atuação no cilindro;

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao coordenador e prof. Dr. Eng. Luiz de Cesaro Cavalier do curso em engenharia mecânica. Ao prof. Richard de Medeiros Castro pelas valiosas discussões e sugestões no decorrer do trabalho e Faculdade SATC pela disponibilidade de utilização do LASPHI.

## REFERÊNCIAS

De Negri, V. J. 2001 “Sistemas hidráulicos e pneumáticos para automação e controle (parte

III)”. Apostila Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, SC. 81p.

Exner, H.; Freitag, R.; Geis, H.; Lang, R.; Oppolzer, J.; Schwab, P.; Sumpf, E.; Ostendorff, U. and Reik, M. 2005, *Hidráulica – Princípios Básicos e Componentes*. Ed. 3.1, Editora Bosch Rexroth AG.

Linsingen, I. V. 2008, “Fundamentos de sistemas hidráulicos”. 3ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 396p.

Palmieri, A. C. 1985, “Manual de Hidráulica Básica”. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Racine Hidráulica Ltda.

Pedron, G. 2006, “Análise e projeto de sistemas de controle para atuadores hidráulicos servoacionados: Um estudo de caso”. Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 91p.

Rabie, M. G. 2009, “Fluid Power Engineering”. 1ª ed. Editora McGraw-Hill, 443p.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo apresentado neste trabalho.