

Desenvolvimento de metodologia para o estudo de transiente em válvulas limitadoras de pressão com elementos-lógicos

Marcos Sostizzo¹

Daniel Faistauer²

Resumo

A influência das dimensões das restrições no período de estabilização (transiente) dos sistemas de limitação de pressão executados com a associação de válvulas limitadoras de pressão a elementos-lógicos é desconhecida da maioria dos projetistas de sistemas hidráulicos. É necessário conhecer como se dá o transiente em um sistema de regulação de pressão para saber se o mesmo pode ser utilizado na aplicação a que se propõe. Este trabalho visa elaborar um sistema de baixo custo para investigação do transiente em função das variações das restrições e utilizar o próprio sistema desenvolvido para a análise de um caso específico. Além disto, a metodologia desenvolvida servirá para o desenvolvimento de outros testes com componentes hidráulicos.

Palavras-chave: hidráulica, regulação de pressão, transiente.

Abstract

The influence of restrictions dimensions on the stabilization period (transient) in pre-operated relief systems built with relief valves and logic elements is unknown to the most of the hydraulics systems designers. It is need to know how the transient occurs in a pressure regulation system to know if this system can be used for the proposal application. This work aims to develop a low cost system to investigate the transient with the restrictions variation using the system in a specific case. Moreover, the methodology developed will serve to the development of the other tests in hydraulic systems.

Keywords: hydraulic, pressure regulation, transient.

1 Introdução

A hidráulica possui aplicação nos mais variados setores, destacando-se os setores agrícola, automobilístico, naval, aeroespacial e, principalmente, as indústrias em geral.

Em todos os setores que utilizam sistemas hidráulicos, os componentes utilizados em seus equipamentos são, em sua grande maioria, produzidos em larga escala, a fim de se obterem custos reduzidos de fabricação. Além disso, o mercado brasileiro é abastecido por poucas e grandes empresas que são, em grande parte, multinacionais com plantas estabelecidas no Brasil.

Apesar da existência de entidades normativas, tais como SAE e DIN, e de muitos dos componentes dos sistemas hidráulicos serem produzidos obedecendo às normas estabelecidas por tais entidades, a escolha do fornecedor de determinado componente pode ser uma tarefa difícil de ser executada. Em geral, os fabricantes produzem itens similares entre si e, conseqüentemente, com as mesmas aplicações, porém, quando colocados em funcionamento, podem-se observar diferentes comportamentos destes componentes no sistema.

Outro complicador para o projetista é que, apesar de os fabricantes fornecerem em seus catálogos os dados técnicos de funcionamento dos componentes, muitas informações específicas que podem vir a ser importantes acabam sendo omitidas ao usuário do componente.

Este estudo tem como objetivo principal desenvolver um sistema que seja capaz de adquirir dados relevantes de um sistema hidráulico qualquer para que o comportamento de componentes possa ser analisado de maneira simples e eficaz, com custo baixo de execução.

Em continuidade a este estudo, o sistema de testes desenvolvido será usado para analisar o transiente de sistemas de regulação de pressão executados com válvulas limitadoras de pressão associadas com elementos-lógicos. Este assunto foi selecionado porque não se encontra, nos catálogos técnicos, como esse tipo de associação se comporta no momento em que o sistema entra no regime de regulação de pressão. Da mesma maneira, não é citada em catálogos a influência das restrições (*gicleurs*) utilizadas entre os componentes deste

¹ Engenheiro Mecânico. O presente artigo foi elaborado a partir da monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. E-mail: marcosostizzo@bol.com.br

² Professor Mestre da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. E-mail: danielf@unisinos.br

sistema de regulagem de pressão, nem são feitas menções a respeito do comportamento oscilatório da pressão no período plenamente desenvolvido de acionamento do sistema.

2 Dispositivo de testes e aquisição de dados

O sistema de testes e aquisição de dados pode ser subdividido em blocos para uma melhor compreensão de seu funcionamento. O diagrama geral de funcionamento que ilustra a subdivisão em blocos pode ser observado na figura 1.

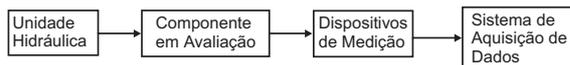


Figura 1 – Diagrama geral de funcionamento do sistema de testes e aquisição de dados

No diagrama geral (figura 1) observa-se, como ponto de partida, o bloco denominado unidade hidráulica que trata do condicionamento do fluido nos parâmetros de pressão e vazão desejados para o teste a ser realizado. O componente em avaliação no procedimento teste é, justamente, o integrante principal do segundo bloco do diagrama. No terceiro bloco, os dispositivos de medição condicionam as grandezas físicas que se deseja analisar em sinais elétricos. Por fim, o último bloco tem a função de processar os sinais elétricos e gravar em arquivos eletrônicos os resultados obtidos.

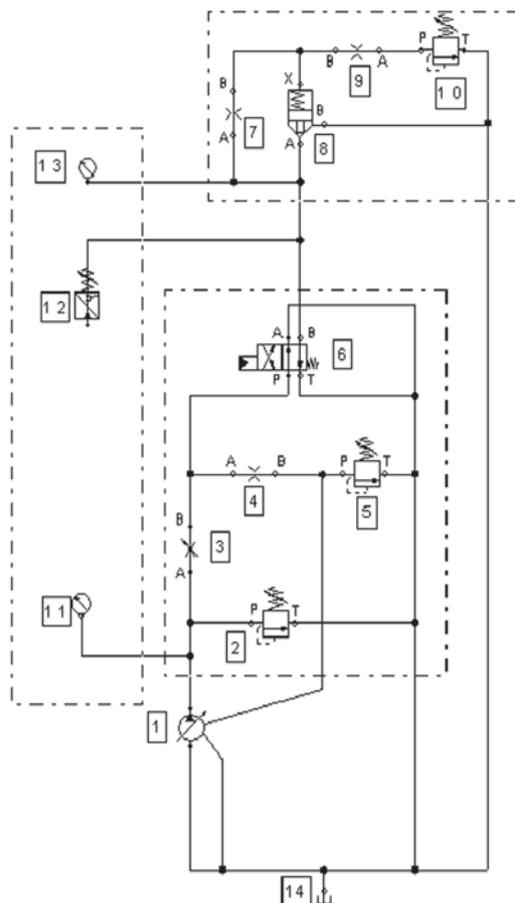


Figura 2 – Esquema hidráulico do dispositivo de testes

No esquema hidráulico (figura 2), podem ser verificados como os três primeiros blocos do diagrama geral foram desenvolvidos e a maneira como os mesmos estão interligados. Os componentes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 14 fazem parte da unidade hidráulica. Já os componentes 7, 8, 9 e 10 fazem parte do componente em avaliação. E, finalmente, os componentes 11, 12 e 13 integram o bloco responsável pelas medições das grandezas de interesse.

A figura 3 mostra a unidade hidráulica, o componente em avaliação e os dispositivos de medição integrados.

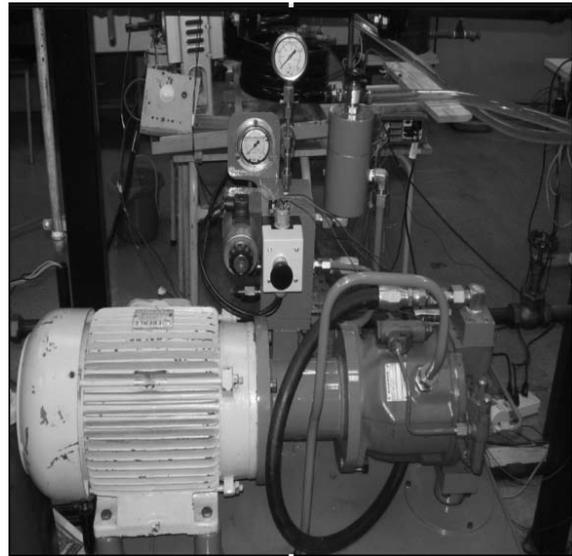


Figura 3 – Dispositivo de testes

2.1 Unidade hidráulica

A unidade hidráulica tem como seu principal integrante o componente 1 da figura que corresponde ao conjunto motor-bomba. Este conjunto tem como finalidade principal retirar o óleo do reservatório e enviá-lo ao sistema que segue a partir da rotação e torque do motor elétrico acoplado à própria bomba hidráulica. A bomba é de pistões axiais, com deslocamento volumétrico variável, configurada de maneira a permitir o trabalho com regulagens independentes de pressão e vazão no sistema (BOSCH REXROTH GROUP, 2000).

A partir da válvula estranguladora (componente 3) e da válvula limitadora de pressão (componente 5), podem-se fazer as regulagens das pressões e vazões dos testes. O componente 2 é outra válvula limitadora de pressão que tem a função de proteger o sistema contra eventuais falhas dos demais componentes. O componente 6 é uma válvula direcional de duas posições e quatro vias que, quando acionada, direciona o fluxo de óleo para o componente em avaliação e, quando em repouso, direciona todo o fluxo de óleo de volta para o reservatório (componente 14). O gicleur (componente 4) serve para estabilizar o sistema de controle da bomba. A seguir, tem-se a lista descritiva dos componentes deste subsistema.

- componente 1: conjunto motor-bomba com motor elétrico de 15CV, 4 pólos, código S132M4E413 marca Eberle e bomba de pistões com deslocamento volumétrico de 71cm³/rotação, código A10VSO71DFLR – Bosch Rexroth;
- componente 2: válvula de segurança código DB20K215/315Y – Bosch Rexroth;
- componente 3: válvula estranguladora VERK10-10/01M – Bosch Rexroth;
- componente 4: *gicleur* do sistema de segurança, diâmetro 0,8mm;
- componente 5: válvula reguladora de pressão DBDS6K18/315 – Bosch Rexroth;
- componente 6: válvula direcional 4 vias, 2 posições, código 5-4WE10D3XCG24N9K4 – Bosch Rexroth (BOSCH REXROTH GROUP, 2000).

2.2 Componente em avaliação

O fluido direcionado pela unidade hidráulica, com as pressões máximas e vazões devidamente reguladas, divide-se em duas linhas, sendo que a maior parte do fluxo de óleo alcança a área inferior do elemento lógico (componente 8). O restante do óleo em pequena vazão segue pelo *gicleur* (componente 7) que tem a função, justamente, de reduzir a vazão do óleo que segue. Finalmente, o óleo que passou pelo *gicleur* mencionado alcança a área superior do elemento-lógico (componente 8) e também o próximo *gicleur* (componente 9) que tem o objetivo de suavizar o funcionamento da válvula limitadora de pressão (componente 10).

No elemento-lógico, o óleo chega até o mesmo pelas áreas superior e inferior. Quando a força gerada pela pressão na linha superior do elemento-lógico for maior ou igual à força gerada pela pressão na área inferior, o elemento lógico mantém-se fechado. Entretanto, quando a força gerada pela pressão na linha inferior é maior que a força do lado superior, o elemento desloca-se e abre passagem para o óleo da linha de pressão ser desviado de volta ao reservatório (componente 14). A pressão da linha superior do elemento-lógico é regulada pela válvula limitadora de pressão a ela ligada (componente 10). Por consequência, a pressão na linha inferior do elemento-lógico também fica limitada à pressão regulada na parte superior do mesmo. A seguir, tem-se a lista descritiva dos componentes deste subsistema.

- componente 7: *gicleur* de realimentação do elemento-lógico, diâmetro conforme o teste;
- componente 8: elemento-lógico, relação de áreas 1:1, diâmetro 21mm;
- componente 9: *gicleur* de amortecimento, diâmetro 0,8mm;
- componente 10: válvula reguladora de pressão RD102K30 (PARKER HYDRAULICS, 1990).

2.3 Sistemas de medição

Especificamente para o caso de estudo selecionado, o sistema de medição se resume à monitoração de pontos de pressão no sistema hidráulico. Dois manômetros de *bourdon* (componentes 11 e 13) são dispostos no circuito a fim de fornecerem os valores de pressão do sistema em dois pontos de interesse. O manômetro 11 informa a pressão na bomba hidráulica, e o manômetro 13 informa a pressão imposta ao componente em avaliação. Para condicionar os valores de pressão sobre o componente em avaliação em sinais elétricos que serão interpretados pelo sistema de aquisição de dados, é utilizado um transmissor de pressão (componente 12). A seguir, tem-se a lista descritiva dos componentes deste subsistema:

- componente 11: manômetro de Bourdon, com escala de 0 a 200kgf/cm²;
- componente 12: transmissor de pressão marca Gefran, sinal de saída 0 a 10V correspondendo a 0 - 500kgf/cm², tempo de resposta menor que 1ms, precisão de $\pm 0,5\%$ do fundo de escala (GEFRAN, 2007);
- componente 13: manômetro de Bourdon, com escala de 0 a 200kgf/cm².

2.4 Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados (último bloco do diagrama geral, mostrado na figura 1) é responsável por receber os sinais elétricos que representam as grandezas físicas, provenientes do transmissor de pressão no caso de estudo. Este sistema converte os impulsos elétricos em valores numéricos e os grava seqüencialmente em arquivos de acordo com o formato ajustado. O conversor dos sinais é um Hewlett Packard modelo 34970A, que permite fazer leituras de sinais nos mais diversos formatos, sendo que aqui se utiliza a escala de 0 a 10V, com resolução de 16 bits e tempo entre dados adquiridos de 4ms. A comunicação com o computador que armazena os dados adquiridos é feita através de um canal serial RS-232, configurado pelo *software* específico do sistema de aquisição de dados (HEWLETT PACKARD COMPANY, 1997).

3 Estudo do transiente de válvulas limitadoras de pressão com elementos-lógicos

Utilizando o sistema de testes desenvolvido, foram realizadas medições no componente em avaliação com o intuito de obter informações sobre o comportamento da pressão no instante em que o próprio componente em avaliação passa a ser responsável pela limitação de pressão da linha na qual está instalado.

O comportamento da pressão na linha é fundamental para a avaliação do sistema de limitação de pressão para a condição de trabalho em que se deseja empregá-lo. Com as curvas de pressão em função do tempo, podem ser obtidas informações sobre os picos de

pressão, sobre o tempo para estabilização do sistema e sobre o comportamento oscilatório quando do regime plenamente desenvolvido de limitação de pressão. Estas informações não podem ser observadas em simples manômetros, devido ao curto espaço de tempo em que se apresentam. As etapas do transiente podem ser observadas no gráfico de pressão em função do tempo (figura 4).

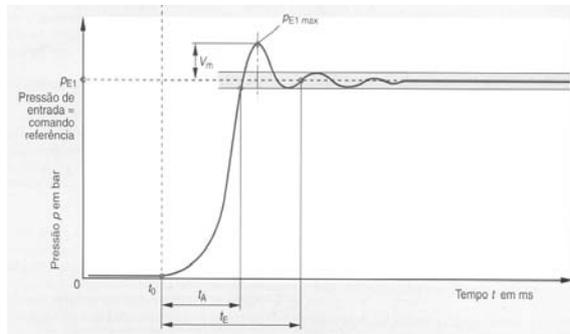


Figura 4 – Gráfico de pressão em função do tempo em um sistema de limitação de pressão (MANNESMAN REXROTH, 1991)

Em que:

V_m é o valor excedente de pressão em relação ao valor regulado;

$P_{EI\ max}$ é a pressão de pico;

P_{EI} é a pressão regulada no sistema de limitação de pressão;

t_0 é o instante no qual a avaliação do sistema é iniciada;

t_A é o instante no qual a pressão do sistema chega ao valor da pressão regulada;

t_E é o tempo no qual o sistema é considerado estabilizado.

Para a realização da obtenção dos dados, a definição de alguns parâmetros e procedimentos se faz necessária para a garantia da confiabilidade dos resultados obtidos. Na relação que segue, tem-se a listagem dos parâmetros e procedimentos de teste definidos:

- temperatura do óleo em 25°C;
- óleo mineral ISO VG 68;
- vazão do sistema hidráulico em 124L/min;
- pressão máxima da unidade hidráulica regulada em 90kgf/cm²;
- pressões reguladas no componente em avaliação: 30kgf/cm², 40kgf/cm², 50kgf/cm² e 60kgf/cm²;
- diâmetros dos *gicleurs*: 0,6mm, 0,8mm, 1,0mm e 1,2mm;
- tempo entre amostragens de 4ms;
- tempo total de 10s para cada coleta de dados;
- realização de 3 repetições de coleta de dados em cada condição de teste.

3.1 Resultados

Na figura 5, observa-se um gráfico típico do transiente de pressão em função do tempo do sistema de limitação de pressão que está sendo avaliado. Em comparação com a figura 4, é possível identificar as mesmas características das etapas do transiente de um sistema de limitação de pressão genérico.

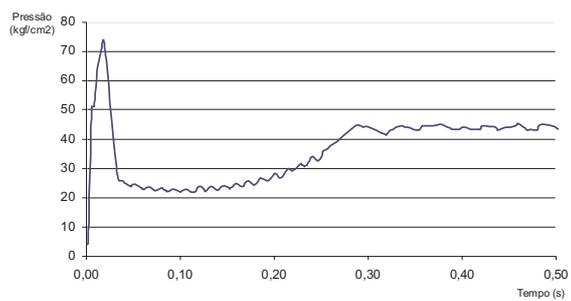


Figura 5 – Resultado gráfico típico informando o comportamento da pressão sobre o componente em avaliação em função do tempo

Os parâmetros de interesse do estudo são os picos de pressão, o tempo de estabilização e a quantificação da resposta oscilatória do sistema após o período de estabilização estar concluído.

O pico de pressão pode ser identificado como sendo o maior valor de pressão atingido quando do início do funcionamento do sistema de limitação de pressão. O tempo de estabilização é definido como o tempo necessário para que o valor de pressão retorne ao valor regulado após o pico de pressão e a queda de pressão que segue ao pico inicial. Já a quantificação do comportamento oscilatório pode ser feita através da variância do valor de pressão em relação ao valor da média de pressão com o sistema de limitação de pressão tendo atingido o regime plenamente desenvolvido. A variância é, por definição, o desvio quadrático médio dos valores em relação à média, indicando quão longe em geral os seus valores se encontram do valor médio, e é adequada como parâmetro para indicar como se comportam as oscilações de pressão após o período de estabilização.

No momento do teste, a pré-regulagem dos valores de pressão do sistema de limitação de pressão em avaliação é feita através dos manômetros, sendo que, posteriormente, o valor com precisão apurada do valor de pressão é obtido através do transmissor de pressão. Existem pequenas diferenças entre os valores obtidos nos manômetros e o valor obtido no transmissor de pressão justamente pela diferença da precisão destes sistemas de medição. Na prática, o manômetro serve para um ajuste aproximado da pressão em que se deseja avaliar o componente em teste.

Os valores obtidos na avaliação do componente estão descritos na tabela 1. Esses resultados foram obtidos com as definições das condições de operação do sistema descritas anteriormente e combinando todos os diâmetros das furações dos *gicleurs* com todas as pressões de regulagem do sistema de limitação de pressão.

Os valores de variância e pressão média foram calculados com 50 amostragens consecutivas obtidos com a pressão estabilizada. O tempo transcorrido entre cada amostragem é de 4ms, totalizando 200ms com as 50 amostragens utilizadas.

Pressão Regulada (kgf/cm ²)	Diâmetro do Gicleur (mm)	Pressão Média (kgf/cm ²)	Variância (kgf/cm ²)	Pico de Pressão (kgf/cm ²)	Tempo de Estabilização (s)
30	0,6	36,95	0,14	71,45	1,44
	0,8	35,57	0,11	75,91	1,26
	1,0	34,61	0,09	61,59	0,87
	1,2	34,35	0,07	64,68	0,51
40	0,6	40,48	0,17	86,30	2,78
	0,8	45,08	0,14	82,73	1,91
	1,0	40,24	0,10	80,06	1,77
	1,2	45,04	0,09	81,42	1,31
50	0,6	54,71	0,57	90,50	4,28
	0,8	53,53	0,20	85,35	1,90
	1,0	54,17	0,20	86,87	2,02
	1,2	55,13	0,22	84,10	1,31
60	1,0	65,24	0,10	93,32	1,82
	1,2	64,67	0,13	90,12	1,64

Tabela 1 – Resultados obtidos na avaliação do sistema de limitação de pressão utilizando elemento-lógico com relação de áreas 1:1

3.2 Análise dos resultados

Os resultados serão discutidos nos tópicos seguintes que correspondem aos itens de investigação do sistema de limitação de pressão usado como componente de avaliação no sistema de testes desenvolvido.

3.2.1 Tempo de estabilização

É desejável que um sistema de regulagem e controle de pressão estabilize a pressão no nível ajustado rapidamente. Se o sistema estiver operando com função de limitação de pressão, quanto mais rapidamente ocorrer a estabilização, mais garantido será o processo subsequente que é dependente desta pressão. Por exemplo, se este sistema de limitação de pressão estiver atuando como proteção contra sobrepressão na bomba hidráulica, quanto mais rápido a pressão for estabilizada, menor será o tempo em que o sistema estará operando em parâmetros indesejáveis, protegendo não só a bomba como os demais elementos agregados ao sistema hidráulico em questão.

Comparado aos parâmetros normalmente aceitáveis para a função de limitação de pressão (menores que 1s), este conjunto em teste apresentou valores muito elevados para a aplicação industrial. As causas para tal ineficiência do elemento-lógico devem estar relacionadas com as características geométricas do mesmo e com o fato de o mesmo ser um protótipo construído para a realização dos testes.

Em relação ao diâmetro dos *gicleurs*, observa-se uma diminuição sensível do tempo de estabilização com o aumento do diâmetro do furo do mesmo. Este comportamento é previsível, levando-se em conta o fato de que com furos maiores nos *gicleurs*, as pressões entre ambos os lados do elemento-lógico são mais rapidamente igualadas, permitindo a estabilização mais rápida do conjunto de limitação de pressão.

Durante a realização dos testes, não foi possível estabilizar o sistema de regulagem de pressão com a

pressão regulada em 60kgf/cm² e *gicleurs* com diâmetros menores que 1,0mm. Devido ao fato de que com o aumento da pressão de regulagem as forças envolvidas no elemento-lógico são conseqüentemente mais elevadas, os *gicleurs* com diâmetros de 0,6mm e 0,8mm geram quedas de pressão elevadas que podem não permitir a estabilização do sistema.

3.2.2 Variância

Espera-se de um sistema hidráulico de limitação de pressão que ele apresente a menor oscilação possível de pressão a fim de que, por conseqüência, o sistema trabalhe de maneira suave evitando vibrações e conseqüências desagradáveis como vazamentos, ruído e fadiga dos componentes. A variância foi a medida escolhida para avaliar o comportamento oscilatório do sistema após o período de estabilização de pressão.

Em geral, os elementos-lógicos com relação de área 1:1 tendem a dar respostas satisfatórias quanto ao comportamento oscilatório do sistema, quando usados como função de limitação de pressão. Na tabela 1, observa-se que os valores de variância são pequenos se comparados aos valores das pressões reguladas e tipicamente menores quanto maior for o diâmetro do furo do *gicleur* utilizado. *Gicleurs* maiores permitem repostas mais rápidas de fechamento e abertura do elemento-lógico, proporcionando inversão mais rápida entre a abertura e o fechamento do elemento, mesmo após o período de estabilização, fazendo com que a pressão oscile menos.

Com o aumento dos valores de pressão de regulagem também aumenta a variância encontrada, mas se a mesma for avaliada em proporção ao valor da regulagem executada, os valores continuam adequados para a aplicação em sistemas hidráulicos.

3.2.3 Pico de pressão

O pico de pressão também é um parâmetro importante a ser verificado no comportamento de um sistema de regulagem de pressão. Os valores de pressão atingidos durante os picos são sempre indesejáveis, uma vez que fazem com que os componentes do sistema hidráulico sejam solicitados a pressões fora de especificação, mesmo que por intervalos de tempo muito curtos.

Com as condições do teste realizado, é difícil fazer a análise da resposta do componente em avaliação em função do pico de pressão, porque o volume de óleo a ser pressurizado é pequeno devido ao fato de o sistema não estar ligado a tubulações, atuadores ou acumuladores. Dessa maneira, a subida de pressão é praticamente instantânea quando o componente em avaliação é solicitado a limitar a pressão da linha na qual está ligado.

Mesmo assim, é possível identificar nos dados obtidos que quanto maior for o diâmetro do furo do *gicleur* utilizado, mais rápida é a abertura do elemento-lógico e menor o valor do pico de pressão gerado. Por sua vez, quanto maior for a pressão de regulagem do sistema, maior também será o pico de pressão que o sistema apresentará, sendo o aumento do pico proporcional ao

aumento da pressão regulada no sistema de regulação de pressão em teste.

4 Conclusão

O sistema de limitação de pressão, executado através da associação de um elemento-lógico com uma válvula limitadora de pressão diretamente operada, utilizado como componente em avaliação, serviu como exemplo adequado para verificar o funcionamento do dispositivo de testes e medição proposto.

A análise da utilização de diferentes *gicleurs* no componente em avaliação só é possível com o estudo das curvas de pressão na linha em função do tempo que foram obtidas pelo sistema de testes desenvolvido. Sem os resultados obtidos pelo sistema de teste, a avaliação feita apenas através de manômetros comuns não permite que sejam identificados os parâmetros de pico de pressão, de tempo de estabilização e de variância que diz respeito ao comportamento oscilatório do sistema, quando passado o período de estabilização.

Observando-se os resultados obtidos, pode-se perceber que alterar os valores dos *gicleurs* de realimentação dos elementos-lógicos é uma maneira eficiente de prover ao sistema um ajuste fino nas características do sistema de limitação de pressão elaborado com a associação de um elemento lógico e uma válvula limitadora de pressão diretamente operada.

No caso de estudo, a escolha do *gicleur* adequado permitiu minimizar os tempos de estabilização do sistema de limitação de pressão, diminuir o comportamento oscilatório, após o período de estabilização, e diminuir os valores de pico de pressão, mesmo que de forma discreta. Pode-se verificar, na tabela 1, que o *gicleur* com diâmetro do furo de 1,2mm foi o que permitiu a melhor relação de funcionamento entre o elemento-lógico e a válvula limitadora de pressão que compõem o componente em avaliação.

Ainda sobre a análise dos resultados, o fato mais importante observado não é que tal componente é o melhor ou o pior, ou que associação traz os melhores resultados, mas sim o método de análise desenvolvido ter se mostrado eficiente para a análise de componentes que se deseja utilizar em sistemas hidráulicos industriais.

Além desse estudo de caso, é necessário realizar a investigação sobre o comportamento do método de análise proposto e executado com outros tipos de componentes. Contudo, com este mesmo sistema de testes, é possível utilizar diferentes tipos transmissores que

convertam as grandezas físicas de interesse em sinais elétricos para o sistema de aquisição de dados.

Também está disponível na unidade hidráulica a funcionalidade de variar as vazões de teste dos componentes para que sejam possíveis avaliações de componentes com dimensões menores que não permitem a operação com as vazões utilizadas nos testes realizados. Da mesma maneira, é possível realizar investigações com um conjunto de vazões diferentes sobre o mesmo componente e verificar o seu comportamento em função da variação da vazão.

É necessário mencionar, ainda, que a unidade de testes foi desenvolvida sem custo de aquisição dos componentes, visto que os mesmos foram disponibilizados por empresas do ramo, e os sistemas de aquisição de dados estavam disponíveis na universidade. Entretanto, no caso da realização da compra de equipamentos para a construção de um sistema de testes semelhante deve ser investigada a utilização de outros componentes para melhorar o custo final de construção do sistema de testes.

Em linhas finais, a metodologia de avaliação de componentes desenvolvida se mostrou adequada para a análise dos mesmos em sistemas hidráulicos e é flexível para que testes diferentes do estudo de caso realizado sejam feitos sem modificações consideráveis no equipamento desenvolvido. A realização da avaliação de componentes em parâmetros não comumente utilizados garante a correta utilização do mesmo e o aumento da vida útil de qualquer equipamento hidráulico.

Referências

BOSCH REXROTH GROUP. **Componentes hidráulicos para aplicação industrial**. RP 0012-02/10.05. São Paulo, v.2, 2000.

GEFRAN. **TKG Pressure Transmitter** – Technical Data. Disponível em: <<http://www.gefran.com>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

HEWLETT PACKARD COMPANY. **Data acquisition and switch unit HP 3907A**. User Guide. Ed. 2, 1997.

MANESMANN REXROTH. **Hidráulica: princípios básicos e componentes da tecnologia dos fluidos**. Traduzido por Rexroth Automação Ltda. São Paulo: Manesmann Rexroth GmbH, v.1, 1991.

PARKER HYDRAULICS. **Parker thread cartridge valves** – Catalog 3105. Ohio, 1990.