

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

EDIVAL ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA HIDRAULICO DIDÁTICO DE
CONTROLE PROPORCIONAL PARA O LABORATÓRIO DE
HIDRÁULICA DAMEC CT**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

EDIVAL ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA HIDRAULICO DIDÁTICO DE
CONTROLE PROPORCIONAL PARA O LABORATÓRIO DE
HIDRÁULICA DAMEC CT**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo

Orientador: Prof. Dr. Celso Salamon

CURITIBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

Edival Alves da Silva

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA HIDRÁULICO DIDÁTICO DE CONTROLE PROPORCIONAL PARA O LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA DAMEC CT

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 26 de dezembro de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. M. Sc. Gilmar Lunardon
UTFPR

Prof. M. Sc. Sidney Carlos Gasoto
UTFPR

Prof. Dr. Celso Salamon
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

ALVES DA SILVA, edival. **Desenvolvimento de sistema hidráulico didático de controle proporcional para o laboratório de hidráulica damec ct, 2015. 30 f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Este Trabalho de Conclusão de Curso objetiva gerar e implementar alternativas para ampliar as possibilidades de ensino de tecnologias no laboratório de hidráulica do Damec UTFPR- CT. Inicialmente apresenta uma breve revisão teórica do tema abordado. Na sequência foram definidos experimentos básicos utilizando e ou alterando componentes já existentes no laboratório. Bem como metodologia para realização dos ensaios. Ao final foram realizadas experiências que evidenciam a tecnologia hidráulica proporcional denotando a correlação entre um sinal de entrada e um sinal hidráulico de saída.

Palavras-chave: Hidráulica. Hidráulica proporcional. Experiências didáticas.

ABSTRACT

ALVES DA SILVA, edival. **Hydraulic system development control for teaching proportional hydraulic laboratory damec ct**, 2015. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This paper generate and implement alternatives to expand the educational possibilities of technology in hydraulic laboratory Damec UTFPR- CT. Initially presents a brief literature review of the topic discussed. Following were defined basic experiments and using or changing existing components in the laboratory. As well as a methodology for conducting the tests. At the end of experiments were performed to show the proportional hydraulic technology showing the correlation between an input signal and a hydraulic output signal.

Keywords: Hydraulics. Proportional hydraulics. Student experiments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Válvula direcional com acionamento elétrico.	9
Figura 2: Princípio de funcionamento de solenoide.....	9
Figura 3: Válvula direcional acionada por solenoides	10
Figura 4: Representação do esquema do solenoide proporcional	11
Figura 5: Diagrama de blocos de amplificador proporcional	12
Figura 6: Fluxograma de trabalho adotado	12
Figura 7: Sistema combinado com aplicação de válvulas direcionais e comando elétrico.....	13
Figura 8: Gráfico de Níveis.....	13
Figura 9: Sistema com aplicação de válvula direcional proporcional	14
Figura 10: Gráfico representando sinal de saída de vazão em função do sinal de comando.....	15
Figura 11: Teste de variação da tensão de comando	17
Figura 12: Teste de variação de tensão no comando em esquema.....	18
Figura 13: Ligações para verificação da corrente nos solenoides.....	19
Figura 14: Painel modificado e arranjos das ligações	19
Figura 15: Esquema de ligação adotado para controle da válvula direcional proporcional.....	20
Figura 16: Válvula direcional proporcional de controle com a simbologia	20
Figura 17: Esquema de controle proporcional utilizado nas experiências.....	21
Figura 18: Frontal do Painel de Controle utilizado para o controle proporcional	22
Figura 19: Gráfico da Vazão.....	22
Figura 20: Sistema combinado com aplicação de válvulas direcionais e comando elétrico.....	23
Figura 21: Arranjo montado para o controle dos estágios ou níveis de vazão apresentados nas figuras 6 e 7	24
Figura 22: Gráfico dos níveis de vazão (l/min)	25
Figura 23: Esquema do sistema hidráulico com controle utilizando amplificador para a experiência de pressão	25
Figura 24: Gráfico obtido com o experimento com um lado da válvula proporcional	26
Figura 25: Válvula Proporcional de Pressão	27

SUMÁRIO

1-	INTRODUÇÃO.....	5
1.2	JUSTIFICATIVA.....	5
1.3	OBJETIVO	5
1.3.1	Objetivo geral.....	5
1.3.2	Objetivos específicos	6
2-	EMBASAMENTO TEÓRICO	6
2.1	DEFINIÇÕES DE HIDRÁULICA	6
2.2	APLICAÇÕES DE HIDRÁULICA	7
2.3	COMANDOS HIDRÁULICOS	8
2.3.1	Válvula de comando direcional.....	8
2.3.2	Válvulas direcional proporcional	10
2.3.3	Controle de solenoide proporcional	11
3-	METODOLOGIA.....	12
3.1	MÉTODO DE TRABALHO.....	12
3.2	SISTEMA COM VÁLVULAS DE COMANDO DIRECIONAL DE COMUTAÇÃO E DE COMANDO DIRECIONAL PROPORCIONAL	13
4-	DESENVOLVIMENTO.....	15
4.1	NECESSIDADES.....	15
4.2	REQUISITOS NECESSARIOS PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO	16
5-	IMPLEMENTAÇÃO.....	16
5.1	CONEXÕES PARA VERIFICAÇÃO DOS TESTES DE CORRENTE E TENSÃO	17
5.2	EXPERIMENTO UTILIZANDO VÁLVULA DIRECIONAL PROPORCIONAL	20
5.3	SISTEMA DE CONTROLE USANDO VÁLVULA DIRECIONAL DE COMUTAÇÃO E VAZÃO... ..	23
5.4	EXPERIMENTO DE CONTROLE DE PRESSÃO	25
6-	CONCLUSÃO	27
6.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	29
7-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1- INTRODUÇÃO

Bancadas didáticas são ferramentas de auxílio para a realização de experimentos que possibilitam ao operador montar diversos sistemas variando seus parâmetros e verificando os resultados. Também estas bancadas permitem a familiarização com os componentes da tecnologia em estudo ao mesmo tempo em que permite a comprovação prática da teoria vista em aula. (PARKER HANNIFIN CO, 2005).

Este trabalho visa uma tentativa de melhor aproveitamento, ou de investigação de uma nova forma de uso dos componentes existentes no laboratório de hidráulica do Damec-UTFPR CT para a experimentação dos conceitos fundamentais de um sistema hidráulico proporcional.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este projeto justifica-se pela necessidade contínua de ampliar as possibilidades de ensino de Tecnologias. Neste propõe-se atender a demanda de ensino de hidráulica proporcional elaborando e implementando novas formas de rearranjo dos equipamentos existentes no laboratório de hidráulica do Damec-UTFPR CT.

1.3 OBJETIVO

Elaborar e implementar novas formas de rearranjo dos equipamentos existentes no laboratório de hidráulica do Damec-UTFPR CT, para atender a demanda de melhoria contínua de ensino.

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver o projeto e a implementação de um experimento ou um conjunto de experimentos para demonstração do princípio de funcionamento de um sistema

hidráulico direcional proporcional utilizando os componentes existentes no laboratório de hidráulica.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) -Projetar um ciclo de experimentos que demonstre a tecnologia hidráulica proporcional de pressão/vazão e desenvolver um sistema de controle.
- b) -Implementar o equipamento/ experimento
- c) -Testar o funcionamento do equipamento
- d) -Fazer uma analogia entre o sistema de controle por comutação (*on/off*) e proporcional
- e) -Utilizar o mesmo amplificador para o estudo de pressão e vazão
- f) -Demonstrar representações gráficas do sinal de saída, em relação ao sinal de entrada.
- g) -Desenvolver um Controle Proporcional, cujo sinal de comando manual, possua um amplo range de operação.
- h) -Metodologia de experimentação
- i) -Especificação para trabalhos futuros

2- EMBASAMENTO TEÓRICO

A seguir serão apresentadas algumas definições e conceitos apresentados na literatura que serão abordados neste projeto.

2.1 DEFINIÇÕES DE HIDRÁULICA

A hidráulica é uma palavra que vem do grego e é a união de *hydra*=água e *aulos*=condução ou tubo, é a parte da física que estuda os líquidos (ou fluidos) que podem estar movimento ou em repouso. (LINSINGEN, 2001)

A hidráulica do grego, "*hydor*" = água cientificamente falando, é o estudo dos fluidos em Hidrodinâmica.

Existem leis que são responsáveis que regem o transporte, conversão de energia, regulação e controle do fluido. (Gotz, 1991)

Os fluidos são substâncias que são capazes de escoar e tomam forma de seus respectivos recipientes (ou podem ser os gases que ocupam todo o espaço do recipiente onde estão contidos). Quando em equilíbrio os fluidos não são tolerantes as forças tangenciais ou cisalhantes, possuem certo grau de compressibilidade e oferece pouca resistência a mudança de forma. São regidos através das variáveis: tais como a pressão, a vazão, a temperatura, a viscosidade, a densidade, a capilaridade, entre outras variáveis (LINSINGEN, 2001).

Particularmente os líquidos são relativamente incompressíveis e a transmissão de força é feita diferente dos sólidos que quando aplicado uma força perpendicular ao objeto, à força será sentida, na mesma direção, diretamente. Enquanto, que nos líquidos a força é distribuída em todos os pontos, exatamente como o exemplo da prensa hidráulica (LINSINGEN, 2001).

A Hidráulica pode ser dividida em três partes distintas:

- a) Hidrostática estuda as forças exercidas por e sobre os fluidos em repouso;
- b) Hidro cinética estuda os fluidos em movimento e leva em consideração os efeitos da velocidade;
- c) Hidrodinâmica que leva em consideração as forças envolvidas no escoamento do fluido como: forças da gravidade, da pressão, da tensão tangencial, da viscosidade, entre outras. (LINSINGEN, 2001).

2.2 APLICAÇÕES DE HIDRÁULICA

A hidráulica, pelas suas características e flexibilidade de aplicações pode ser encontrada em diversos ramos da tecnologia, desde as atividades primárias como a extração de minerais, até à indústria espacial. Encontra-se também em atividades do

cotidiano tais como transporte, passeio, odontologia, hospitais, e em outras áreas, (LINSINGEN, 2001).

A hidráulica pode ser dividida em seis grupos:

- a) HIDRÁULICA INDUSTRIAL;
- b) SIDERURGICA, ENGENHARIA CIVIL, GERAÇÃO DE ENERGIA E EXTRAÇÃO MINERAL;
- c) HIDRÁULICA MOBIL;
- d) HIDRÁULICA PARA APLICAÇÕES NAVAIS;
- e) APLICAÇÕES TÉCNICAS ESPECIAIS;
- f) APLICAÇÕES GERAIS.

2.3 COMANDOS HIDRÁULICOS

Para elaborar um sistema hidráulico é usual a aplicação de dois tipos válvulas direcionais de comando elétrico:

Válvula de comutação (usualmente conhecida como **on/off**)

Válvulas proporcionais (Válvula de regulação).

A seguir serão apresentadas as válvulas de comutação e de válvulas de controle proporcional.

2.3.1 Válvula de comando direcional

Válvulas direcionais com acionamento elétrico são componentes eletromecânicos que conectam ou desconectam as tubulações hidráulicas permitindo o movimento e ou parada dos atuadores.

A Figura 1 exemplifica uma válvula acionada por solenoide

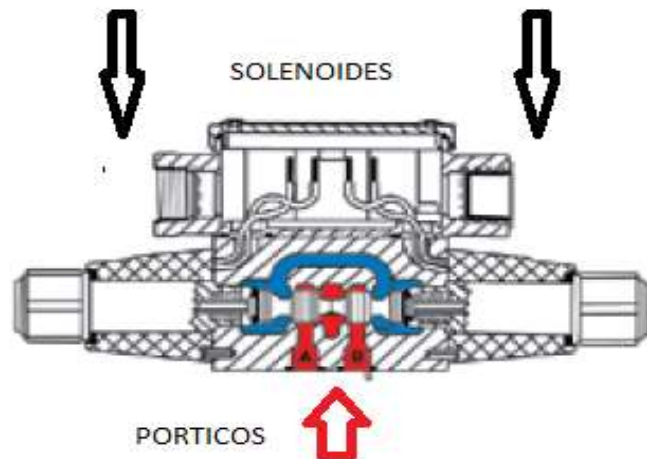


Figura 1: Válvula direcional com acionamento elétrico.

Fonte: PARKER HANNIFIN.

Nesta válvula, conexão entre os pórticos depende do acionamento do carretel (êmbolo) que é efetuado pelo solenoide da esquerda ou da direita.

Quando a corrente elétrica passa pela bobina do solenoide (figura 2) gera um campo magnético que atrai o induzido provocando o movimento sobre o pino acionador levando o carretel a uma região mais externa. Isto faz com que a válvula mude de estado liberando ou bloqueando a vazão máxima que pode passar por esta.

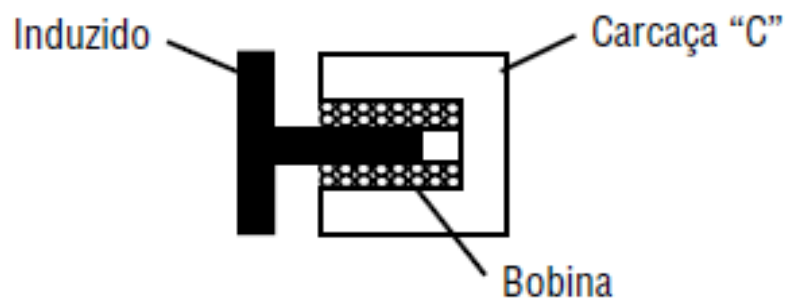


Figura 2: Princípio de funcionamento de solenoide.

Fonte: PARKER HANNIFIN.

Como se trata de uma válvula direcional, a regulação depende diretamente da vazão, e da área do atuador.

2.3.2 Válvulas direcional proporcional

A Válvula Proporcional é um componente de controle que geralmente é acionada por solenoides proporcionais. O sinal elétrico de entrada é convertido em sinal proporcional de saída hidráulico de vazão e ou pressão proporcional.

(LINSINGEN, 2001).

Na Figura 3 apresenta-se uma válvula direcional proporcional e seus principais componentes em corte

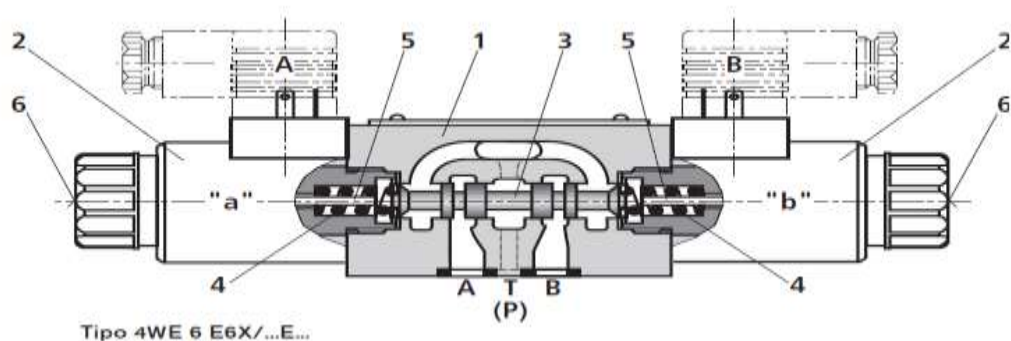


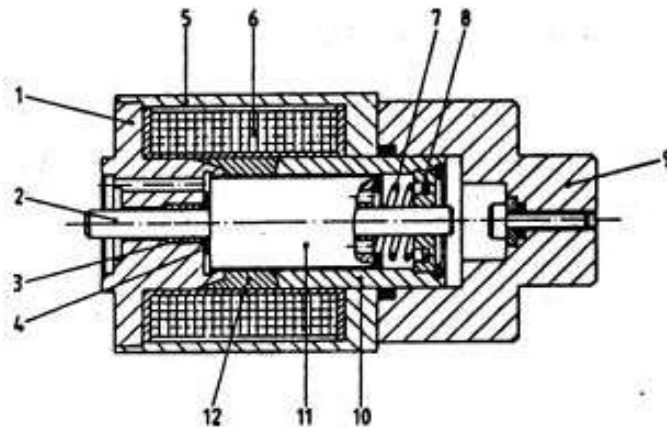
Figura 3: Válvula direcional acionada por solenoides

Fonte: RexRouth- Bosch.

Um sinal de comando de entrada atua sobre um amplificador, e este por sua vez aciona o solenoide A ou B da válvula (6), gerando uma força eletromagnética proporcional ao sinal de entrada. Essa força eletromagnética deslocará o carretel da válvula (3) fazendo com que este comute os pórticos deixando passar uma quantidade de vazão proporcional ao sinal de entrada.

A uma série de fatores que influenciam no sinal eletrônico de entrada e o sinal hidráulica de saída. Por exemplo, os orifícios e canais não possuem a mesma geometria e não é simétrica, a perda de carga para a mesma vazão em cada direção será diferente, que conseqüentemente irá provocar o surgimento de forças, que em determinadas condições afetam o comportamento dos componentes. **(Disponível em:** http://www.boschrexroth.com/country_units/south_america/brasil/pt/doc_downloads/catalogs/a_downloads_09/valvulas_proporcionais/RP_29115.pdf >(baixado em 07/05/2014)

Na figura 4 representa o esquema de um solenoide proporcional.



- | | |
|------------------------------|---|
| 1-núcleo do pólo | 7 -mola de pressão |
| 2-haste de guia | 8 -mancal limitador de impacto (percurso) |
| 3-mancal de bucha-DU9 -tampa | |
| 4-anel amortecedor | 10-câmara do núcleo |
| 5-campo magnético | 1-armadura |
| 6-bobina de operação | 12-cone de controle |
- Existem dois tipos de construção:

Figura 4: Representação do esquema do solenoide proporcional

Fonte: Web, válvula proporcional/ Senai-mg

O solenoide proporcional é uma espécie de transdutor eletromecânico que converte sinal elétrico de entrada em sinal mecânico de saída.

2.3.3 Controle de solenoide proporcional

Diferentemente das válvulas solenoides tradicionais as válvulas proporcionais exigem a aplicação de um amplificador específico que converte um sinal de comando de entrada e um sinal de corrente/tensão que acionara o solenoide:

Usualmente o sinal de comando é -10vcc a +10vcc ou 4 a 20mA, e quanto à sua instalação, os amplificadores das válvulas proporcionais são externos ou integrados ao corpo desta.

A figura 5 apresenta a eletrônica de Comando Integrada das válvulas tipo WRZE do fabricante Rexroth-Boch group, representada no diagrama de blocos abaixo.

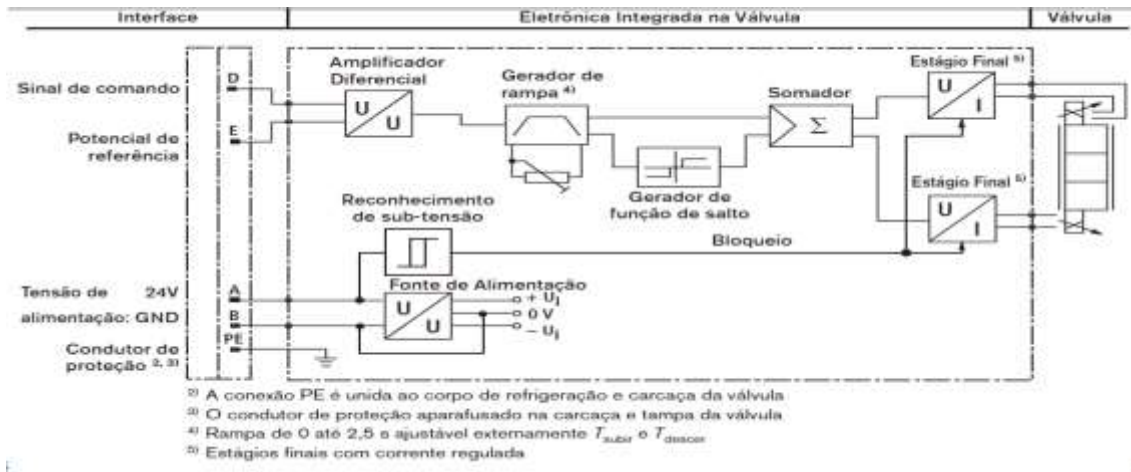


Figura 5: Diagrama de blocos de amplificador proporcional

Fonte: RexRouth- Bosch.

3- METODOLOGIA

Serão implementados dois sistemas para controle de um atuador hidráulico com comando de direção e com vários níveis de velocidades. Um sistema utilizará válvulas de comutação e outro com uma válvula direcional proporcional fazendo a mesma função.

Através da comparação dos dois sistemas espera-se que as duas tecnologias sejam melhor compreendidas e assimiladas.

3.1 MÉTODO DE TRABALHO

A Figura 6 apresenta o fluxograma de trabalho adotado neste projeto:



Figura 6: Fluxograma de trabalho adotado

Fonte: Autoria própria

3.2 SISTEMA COM VÁLVULAS DE COMANDO DIRECIONAL DE COMUTAÇÃO E DE COMANDO DIRECIONAL PROPORCIONAL

O sistema da figura 7, refere-se a um conjunto de válvulas direcionais de comutação que combinadas com válvulas de vazão possibilitam velocidades diferentes do atuador devido à variação da vazão, conforme representado no gráfico subsequente.

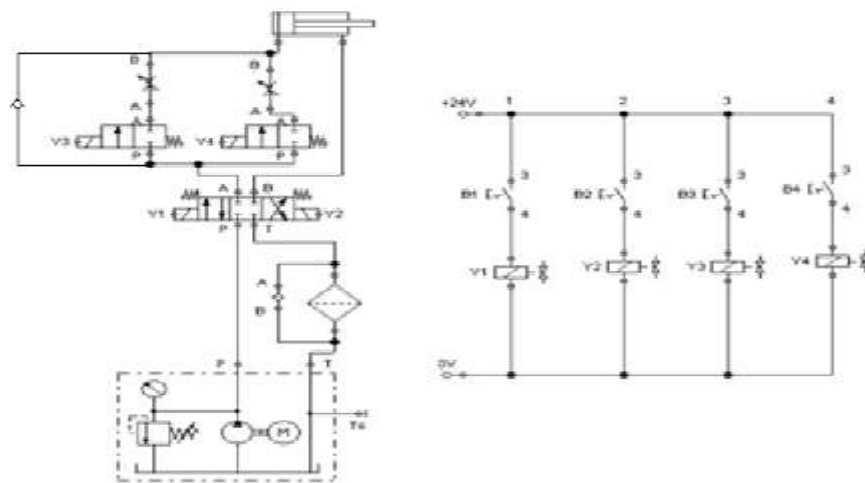


Figura 7: Sistema combinado com aplicação de válvulas direcionais e comando elétrico.

Fonte: Laboratório de Hidráulica

Acionando os botões B1 a B4 de forma combinada, verificam-se alterações de velocidade no avanço do atuador como representado no gráfico da figura 8. Estas velocidades são decorrentes de valores pré-ajustados as válvulas de vazão.

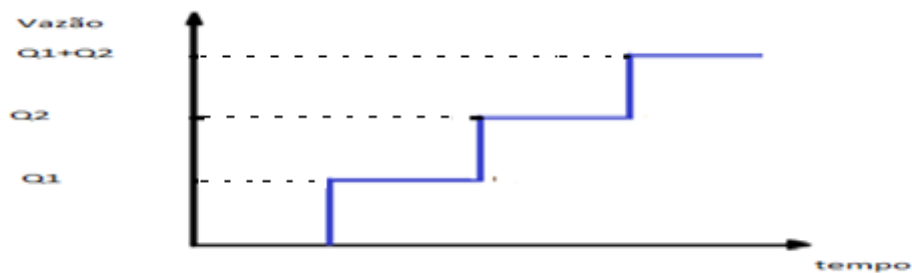


Figura 8: Gráfico de Níveis

Fonte: Autoria própria

Na figura 9 apresenta-se um sistema com válvula direcional proporcional controlando um motor hidráulico com inúmeras possibilidades de velocidades devido a variação proporcional da abertura da válvula.

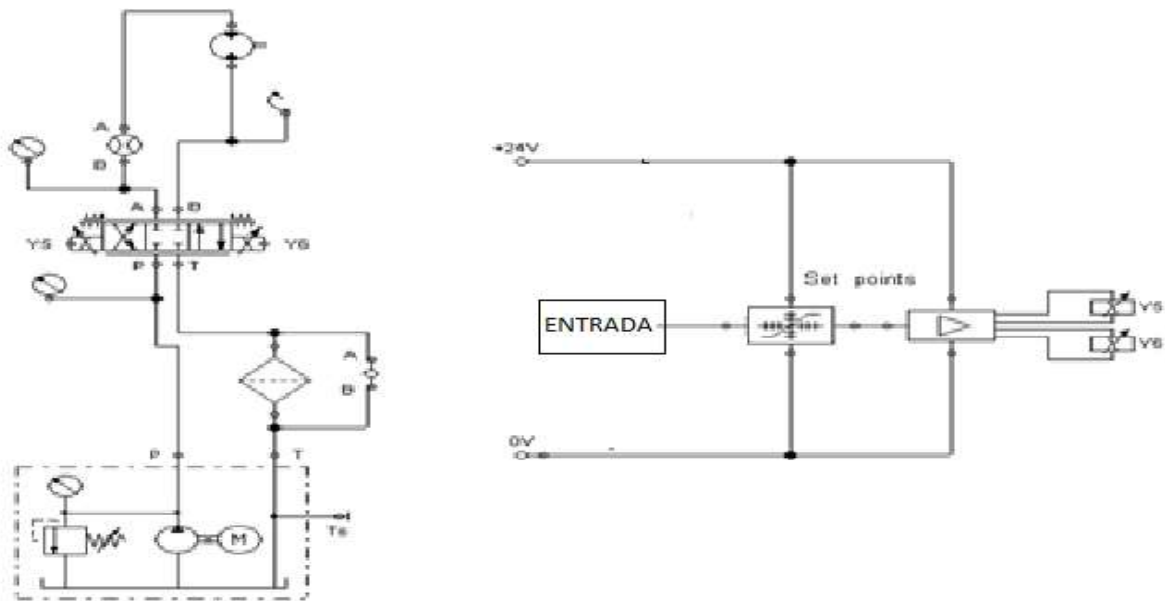


Figura 9: Sistema com aplicação de válvula direcional proporcional

Fonte: Laboratório de Hidráulica

Neste sistema utiliza-se apenas uma válvula de comando com dois solenóides proporcionais e seu respectivo controle. Esta válvula substitui todas as válvulas usadas no sistema apresentado na figura 6, com a vantagem de se obter infinitas velocidades entre zero e máxima dependendo do controle sendo utilizado. Neste projeto foi utilizado um sinal de comando proporcional de -10V a +10V (ENTRADA), e para cada sinal de comando haverá uma resposta de vazão proporcional a este. Outra técnica de controle é o uso de amplificador com *set-points* onde um número de sinais de comando são pré-ajustados e quando selecionados implicam em respectivo sinal hidráulico de direção/vazão de saída.

A figura 10 representa o gráfico esperado pelo controle direcional proporcional que será obtido pelo acréscimo do sinal de corrente no solenoide e a respectiva resposta proporcional de vazão.

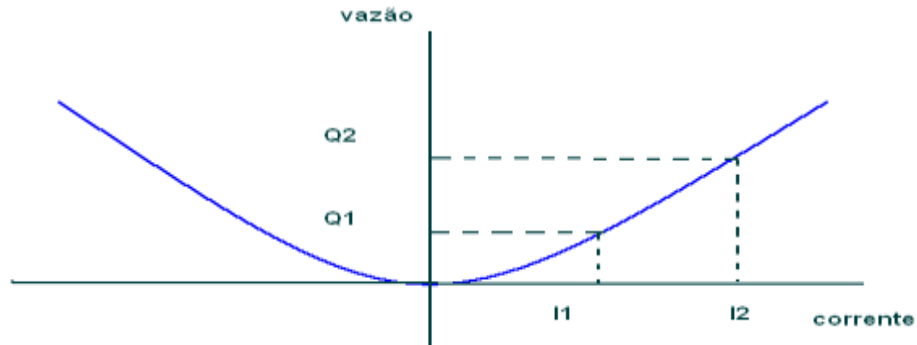


Figura 10: Gráfico representando sinal de saída de vazão em função do sinal de comando

Fonte: LINSINGEN

Observa-se também (em alguns tipos de válvulas), na região próxima da origem do gráfico ausência de valores de vazão mesmo com a excitação do sinal de comando, significando que a válvula usada não responde ao sinal de controle nesta faixa, denominada zona morta. (LINSINGEN, 2001).

A expectativa é de que a comparação dos dois sistemas hidráulicos permitirá melhor entendimento das tecnologias de controle por comutação e proporcional no controle de direção/vazão.

De forma análoga podemos abordar o controle proporcional de pressão.

4- DESENVOLVIMENTO

Este projeto foi desenvolvido e implementado, a partir de necessidades e requisitos de projeto pré-estabelecidos.

4.1 NECESSIDADES

Desenvolver um experimento:

- Robusto,
- Funcional,
- Seguro,

-Utilizar os recursos existentes no laboratório de hidráulica Damec UTFPR CT.

4.2 REQUISITOS NECESSARIOS PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO

- Pressão máxima de trabalho: 50 bar;
- Vazão máxima 9 lpm;
- Utilizar o amplificador existente no laboratório;
- Utilizar para o sinal de entrada um potenciômetro;
- Comparar um sistema de comutação com no mínimo três velocidades e um sistema proporcional com as mesmas funções.
- Se necessário será utilizado micro controlador Arduino como controle.

5- IMPLEMENTAÇÃO

Foram implementados e testados vários arranjos de componentes hidráulicos e eletroeletrônicos gerando alternativas de experimentos para o estudo de válvulas proporcionais:

- Utilizou-se um painel de controle já existente no laboratório
- Driver* amplificador operacional da Parker, serie EW555
- Válvula direcional proporcional da Parker (modelo DFWE01FCNJP013)
- Foi utilizado o mesmo painel como fonte de alimentação dos solenoides utilizados nas experiências do controle direcional de pressão ou vazão.
- Foram confeccionados cabos com opção de *led*
- Cabos com pinos banana
- Botoeiras.
- Rearranjo do painel acrescentando contatos elétricos para o fornecimento de sinal elétrico (0V e 24V),
- Remoção de um dos potenciômetros do painel,
- Colocação botão de liga/desliga ‘

- Lâmpada indicadora de *on/off*
- Dentre outros componentes e modificações necessárias.

5.1 CONEXÕES PARA VERIFICAÇÃO DOS TESTES DE CORRENTE E TENSÃO

Para fazer a verificação dos valores dos sinais de comando (corrente e ou tensão) nas experiências realizados no laboratório, foram efetuadas ligações apresentadas a seguir.

A figura 11 está representando a ligação que deverá ser feita para a verificação do sinal de tensão de comando.



Figura 11: Teste de variação da tensão de comando

Fonte: Autoria própria

Na experiência para a variação da pressão ou vazão, pode-se observar a variação da tensão de comando aplicada no sistema.

De uma maneira simples, liga-se a saída “EV” indicada no potenciômetro do painel com referência no GND, uma ligação em paralelo segundo a figura. Deste modo, fica relativamente simples encontrar qualquer tensão inclusive a tensão em que os dois solenoides estão com sinais de valores iguais, ou seja, o “Zero” do sistema.

A figura 12 mostra mais claramente o esquema de ligação para o teste de variação de tensão de comando



Figura 12: Teste de variação de tensão no comando em esquema

Fonte: Autoria própria

Do mesmo modo, para realizar o teste de variação de tensão nos solenoides, liga-se “SOL A-” ou “SOL B-” com referência no “SOL C+”, obtendo-se, assim, a confirmação que não há variação de tensão nos solenoides mesmo com a variação no sinal de saída do potenciômetro. O sinal de tensão permaneceu constante (próximo de 24 Vcc) confirmando os valores apresentados nos catálogos do fornecedor.

A figura 13 esquematiza as ligações para o teste de verificação da variação de corrente no solenoide. Deve-se abrir circuito e inserir o amperímetro em série com o solenoide como indicado no esquema.

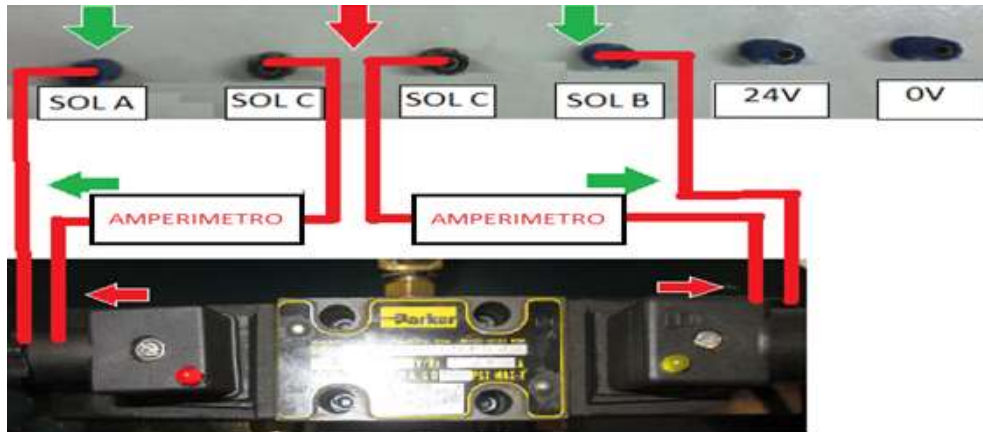


Figura 13: Ligações para verificação da corrente nos solenoides

Fonte: Autoria própria

A figura 14 mostra o painel modificado, acrescentado pino banana 4mm 0V e 24V, botão de liga/desliga com uma lâmpada indicando que está em modo de operação, remoção de um potenciômetro do sistema bem como os rearranjos das ligações.

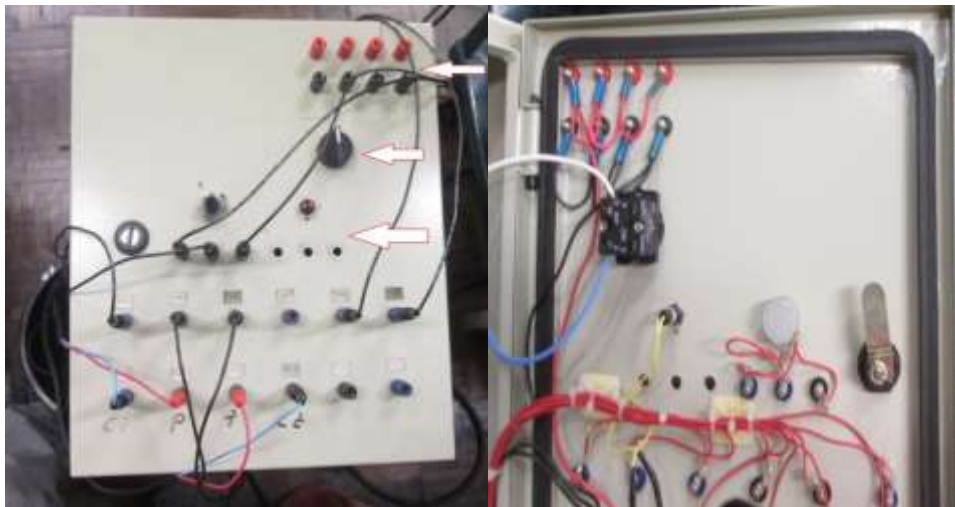


Figura 14: Painel modificado e arranjos das ligações

Fonte: Autoria própria

A figura 15 representa o esquema ligação de controle da Válvula Direcional Proporcional com apenas um potenciômetro.

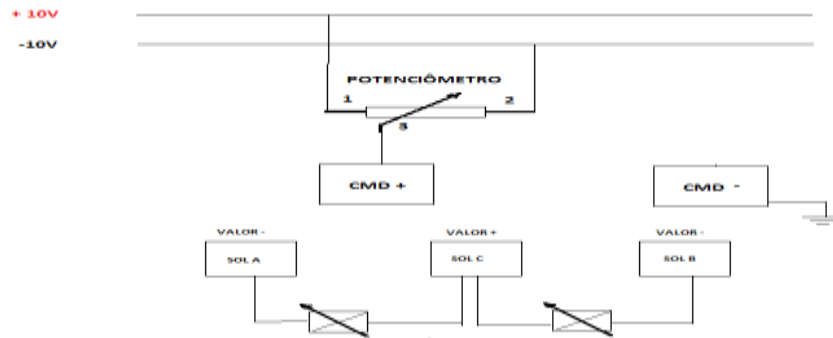


Figura 15: Esquema de ligação adotado para controle da válvula direcional proporcional

Fonte: Autoria própria

Na figura 15, este esquema de ligação, os solenoides são alimentados de tal forma que há um “zero teórico” entre eles, ou seja, os dois solenoides estão teoricamente desligados, em um ponto de equilíbrio de tensão e corrente. De forma tal que, ao girarmos o potenciômetro em um sentido, do “zero teórico” para direita, atua-se cada vez mais, até o máximo, o sinal de um dos solenoides proporcionais, enquanto o outro, está sem sinal. Se girarmos do “zero teórico” para o outro sentido, acontece a ação inversa.

A figura 16 mostra o diagrama e a VÁLVULA DIRECIONAL PROPORCIONAL da Parker, modelo D1FWE01FCNJP013, bidirecional acionada por solenoides proporcionais, centralizada por molas utilizada para controle. (D1FDW01FCNJP013)

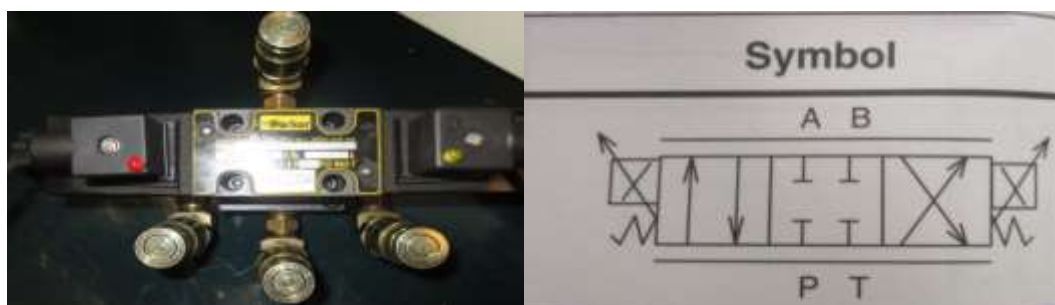


Figura 16: Válvula direcional proporcional de controle com a simbologia

Fonte: Autoria própria

5.2 EXPERIMENTO UTILIZANDO VÁLVULA DIRECIONAL PROPORCIONAL

Na figura 17, representa-se um sistema para experiências com válvula direcional proporcional com duplo solenoide. O sinal hidráulico de saída

(vazão/rotação) será proporcional a corrente vinda do amplificador, que por sua vez será proporcional a um sinal de entrada recebido. Neste caso o sinal de comando (-10 a +10 Vcc) é oriundo de um potenciômetro e as medições foram realizadas com um rotâmetro e um amperímetro.

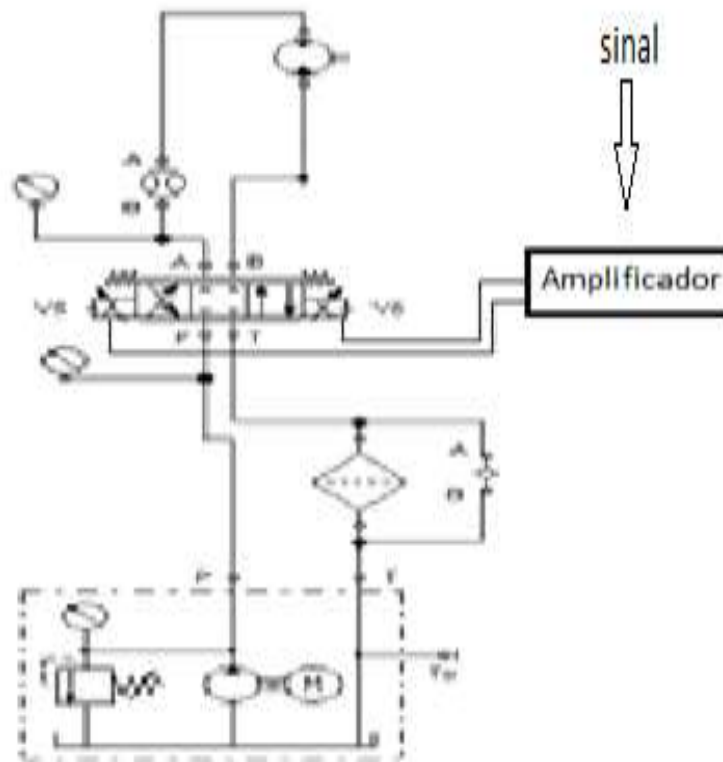


Figura 17: Esquema de controle proporcional utilizado nas experiências

Fonte: Laboratório de Hidráulica

O amplificador e o potenciômetro para o sinal de entrada e demais componentes elétricos do experimento podem ser observados na figura 18.



Figura 18: Frontal do Painel de Controle utilizado para o controle proporcional

Fonte: Autoria própria

No gráfico, da figura 19, apresenta-se o gráfico resultante da experiência.



Figura 19: Gráfico da Vazão

Fonte: Autoria própria

Observa-se nitidamente que, com o aumento gradual da corrente, há uma proporcionalidade em relação à vazão, oferecendo grande range de operação.

Nota-se no gráfico que ao aumentarmos o sinal de corrente de 0 (ZERO) mA até aproximadamente 50 mA, a vazão permanece totalmente fechada (“zona morta”), e com o sinal ligeiramente superior a 50 mA a vazão começa a aumentar proporcionalmente ao sinal.

Não se verifica linearidade do sinal de corrente e a vazão, não ficando claro, isto é, devido à precisão do equipamento ou geometria do carretel; porém mas nota-se a proporcionalidade entre os sinais de corrente e vazão do sistema.

5.3 SISTEMA DE CONTROLE USANDO VÁLVULA DIRECIONAL DE COMUTAÇÃO E VAZÃO

A figura 20 mostra o sistema de comutação implementado, que por combinação de acionamentos possibilita vários estágios de vazão / velocidade para simular o sistema apresentados nas figuras 7 e 8.

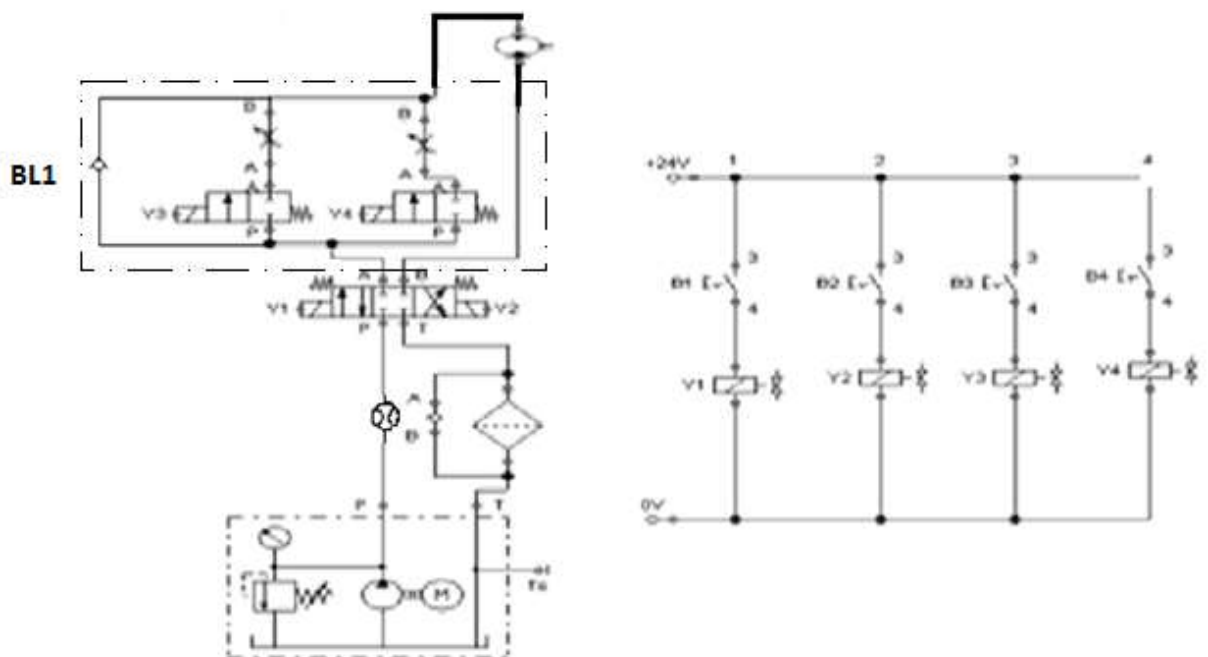


Figura 20: Sistema combinado com aplicação de válvulas direcionais e comando elétrico

Fonte: Laboratório de Hidráulica

Para simular e verificar os diferentes níveis de vazão foi utilizado um painel de controle existente no laboratório, um bloco de válvulas direcionais para comando, medidor de vazão e demais equipamentos necessários ao sistema, conforme apresentado na figura 21.



Figura 21: Arranjo montado para o controle dos estágios ou níveis de vazão apresentados nas figuras 6 e 7

Fonte: Autoria própria

Os solenoides, quando alimentados, acionam as válvulas direcionais que liberam a vazão pressetada nas correspondentes válvulas de vazão. Ao acionarmos um ou as combinações dos solenoides obtivemos os níveis de vazão. Neste trabalho, as experiências foram realizadas com apenas dois solenoides, utilizando o bloco de válvula direcional de comutação, pressão do sistema máxima de 50bar e vazão máxima de 9 l/min.

A figura 22 mostra o gráfico resultante da experiência do sistema de controle direcional/vazão.



Figura 22: Gráfico dos níveis de vazão (l/min)

Fonte: Laboratório de Hidráulica

5.4 EXPERIMENTO DE CONTROLE DE PRESSÃO

O esquema da figura 23 representa o sistema hidráulico utilizado para a realização da experiência, que teve como objetivo, a comprovação através da variação do sinal de controle e a pressão do sistema mostrados no gráfico. Foi utilizado para este experimento um dos canais do amplificador utilizado nos experimentos de vazão.

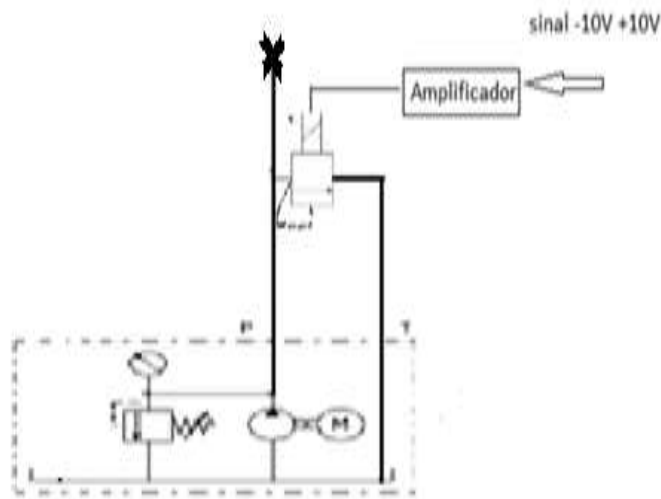


Figura 23: Esquema do sistema hidráulico com controle utilizando amplificador para a experiência de pressão

Fonte: Autoria própria

A figura 24 mostra o gráfico resultante de uma experiência no controle da pressão do sistema com o controle direcional proporcional com o mesmo amplificador.



Figura 24: Gráfico obtido com o experimento com um lado da válvula proporcional

Fonte: Autoria própria

Analisando o gráfico da figura 24, logo no início da escala do gráfico, da esquerda para direita, nota-se que: após um aumento gradual da corrente não há variação da pressão, esta característica seria representada pela “zona morta” (soma do atraso da corrente sobre o solenoide proporcional e imperfeições do sistema hidráulico).

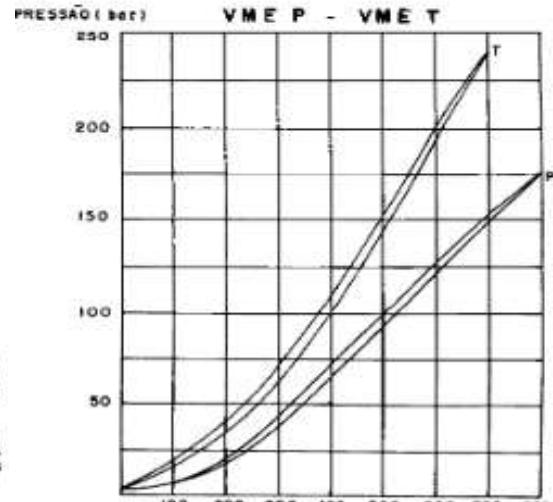
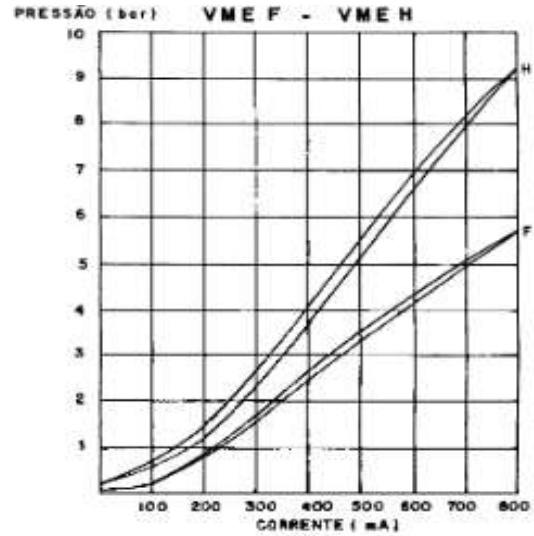
Verifica-se em seguida que a semi-parábola não fica bem definida, devido à precisão do equipamento, mas pode-se notar a presença da histerese e proporcionalidade, com o aumento ou decréscimo da corrente, no eixo das coordenadas na vertical, há uma resposta proporcional da pressão, no eixo de coordenadas na horizontal.

Na figura 25 mostra uma válvula de controle proporcional da Rudick utilizada para o controle da pressão, apresentando as características gerais com o gráfico de pressão *versus* corrente estabelecidos, apresentando a histerese e linearidade de duas variações de modelo da mesma válvula.



CARACTERÍSTICAS GERAIS

VAZÃO RECOMENDADA	1,0 lpm
MÁXIMA	3,0 lpm
PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO PÓRTICO P	250 bar
FÓRTICO T	210 bar
RESISTÊNCIA DA BOBINA À 20 °C	25 Ω
Faixa de corrente	0 à 800 mA
REPRODUTIBILIDADE	±0,5% POR VÁLVULA
REPRODUTIBILIDADE	±5% POR LOTE DE DEZ VÁLVULAS
HISTERESE MÁXIMA	±1,5%



CURVA DE HISTERESE E LINEARIDADE

VAZÃO	1 lpm
TEMPERATURA	45 À 50°C
VISCOSIDADE	46 cst À 40°C
PESO	1,3 kg

OBS : AS CURVAS INDEPENDEM DA TEMPERATURA DA BOBINA.
 O AMPLIFICADOR RECOMENDADO ATOS(591 .00) DUPLO OU, (591.00) SIMPLES, MANTÉM A CORRENTE CONSTANTE PARA CADA VALOR AJUSTADO.

Figura 25: Válvula Proporcional de Pressão

Fonte: Rudick VMEI-CETOP 03

6- CONCLUSÃO

Foram implementados e rearranjados componentes e experimentos denotando aspectos relevantes da tecnologia proporcional, possibilitando mais

recursos para auxiliar o ensino de hidráulica proporcional nos cursos de Tecnologias na UTFPR.

O sistema obtido atendeu os objetivos específicos formulados na proposta deste projeto.

- a) -Projetar um ciclo de experimentos que demonstre a tecnologia hidráulica proporcional de pressão/vazão e desenvolver um sistema de controle:

Projetado um ciclo de experimentos.

- b) -Implementar o equipamento/ experimento:

Experimentos implementados através de rearranjos e ou alterações dos equipamentos existentes.

- c) -Testar o funcionamento dos equipamentos e ou subsistemas:

Foram testadas todas as funcionalidades do sistema.

- d) -Fazer uma analogia entre o sistema de comutação (*on/off*) e proporcional:

Os dois sistemas podem ser experimentados e comparados quanto suas possibilidades de aplicação e flexibilidade de controle.

- e) -Demonstrar representações gráficas do sinal de saída, em relação ao sinal de entrada.

Com um multímetro como apresentado na figura 20 verifica o sinal de comando que comparado à saída de pressão/vazão pode ser evidenciada a relação entre o comando e o sinal de saída.

No caso da pressão, os valores verificados (entrada/saída), foram similares ao encontrado no catalogo do fornecedor de válvulas.

- f) -Desenvolver um Controle Proporcional, cujo sinal de comando manual, possua um amplo range de operação.

O potenciômetro apresentado na Figura 20 permite variar manualmente o sinal de comando da válvula em estudo, permitindo a medição deste e a verificação do sinal hidráulico de saída proporcional ao comando.

- g) -Metodologia de experimentação

A sequência de experimentos apresentadas sugere uma metodologia para abordar o assunto.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, para trabalhos futuros, a instalação de equipamentos fixos de medição para a verificação da tensão de comando, e verificação para o sinal de corrente de saída sobre o solenoide. Estes equipamentos instalados no painel de controle permitiriam melhor visualização da relação do sinal de comando (0 - 10 V) e do sinal de saída do amplificador (corrente, mA), relacionando com o sinal hidráulico no equipamento.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, Márcio; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica. 3. ed., rev. e ampl.** Belo Horizonte: UFMG, 2010.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos.** Florianópolis UFSC, 2001.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**, 4ª edição. São Paulo 2006.

GILES, Ranald, V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica.** São Paulo, 1975.

Hemus - PARKER HANNIFIN CO., Tecnologia hidráulica industrial, Centro Didático de Automação Parker Hannifin – Divisão Schrader Bellows. [6]- Sampaio, Calçada. Física, volume único – 2ª edição. São Paulo, 2005.

<http://www.wrm.com.br/download/wrm-rudick.pdf> (baixado em 01/05/2014)

http://www.boschrexroth.com/country_units/south_america/brasil/pt/doc_downloads/catalogs/a_downloads_09/valvulas_proporcionais/RP_29115.pdf (baixado em 07/05/2014)

Hidráulica. Teoria e aplicações da bosh. Werner Gotz 1991. Editor Robert Bosh GmbH

<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/electronica/cursos/tectelecom/tcc> (Baixado em 10/11/2015)

http://www.utfpr.edu.br/dibib/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas_trabalhos_utfpr.pdf (Baixado em 10/11/2015)

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfYR8Al/hidraulica-proporcional-senai-mg> (Baixado em 07/05/2014)