



## DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA O ESTUDO PRELIMINAR DE UM SISTEMA HIDRÁULICO BASEADO NAS PROPRIEDADES DA ÁGUA PARA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA

Daniel Vicente de Medeiros<sup>1</sup>

Richard de Medeiros Castro<sup>2</sup>

Luiz Fernando Inácio Feltrin<sup>3</sup>

Laís Marcos Lopes<sup>4</sup>

Elvys Isaías Mercado Curis<sup>5</sup>

Fábio José Souza<sup>6</sup>

**Resumo:** Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de demonstrar que em sistemas hidráulicos de potência, fontes de energias renováveis podem ser utilizadas. Neste caso utiliza-se água que se trata de um elemento que vem de uma fonte aparentemente inesgotável, e por meio dela, observa-se a possibilidade de gerar energia suficiente para mover grandes equipamentos. Esta pesquisa tem-se como objetivo comparar o funcionamento de um atuador hidráulico operando com água potável e também com o fluido hidráulico tradicional, o óleo mineral ISO VG HLP 68. Através da montagem de uma bancada de testes para ambos os fluídos, realizará medições de posicionamento e tempo, a fim de avaliar o comportamento dos cilindros hidráulicos, através das grandezas, velocidade e aceleração, demonstrando desta forma, se a movimentação do sistema de carregamento que utiliza água potável possui as mesmas características que o outro atuador, sendo este com as mesmas características, operando com óleo mineral. Os testes foram realizados mediante três níveis de pressão (2,5 MPa, 7,5 MPa e 12,5 MPa), com a vazão definida em 7,5 l/min para todos os testes, sendo a força utilizada no sistema de carregamento igual a 1,079 kN. Para todas as medições, utilizou-se um sistema de aquisição e monitoramento de dados. Os resultados preliminares mostraram que o sistema hidráulico submetido às condições de operação, utilizando a água como fonte de potência, obteve valores similares ao do óleo mineral e com algumas vantagens se comparando a estes dados. Entretanto, sabe-se que novos estudos devem ser realizados para ter melhores conclusões, principalmente sobre a degradação da água, onde levará a substituição deste fluido.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Faculdade SATC. E-mail: [numaq.terraplanagem@hotmail.com](mailto:numaq.terraplanagem@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia de Materiais/Metalurgia e Mecatrônica Industrial, Faculdade SATC. E-mail: [richard.castro@satc.edu.br](mailto:richard.castro@satc.edu.br)

<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade SATC. E-mail: [nfeltrin@hotmail.com](mailto:nfeltrin@hotmail.com)

<sup>4</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade SATC. E-mail: [laismarcoslopes@gmail.com](mailto:laismarcoslopes@gmail.com)

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Faculdade SATC. E-mail: [elvys.curi@satc.edu.br](mailto:elvys.curi@satc.edu.br)

<sup>6</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, UNESC. E-mail: [fabiojsouza01@gmail.com](mailto:fabiojsouza01@gmail.com)



**Palavras-chave:** Posicionamento, Tempo, Velocidade, Aceleração, Vazão, Pressão.

## 1 INTRODUÇÃO

Em um mundo onde os recursos naturais estão cada vez mais escassos e se fala com frequência em cuidados com o meio ambiente, necessita-se cada vez mais desenvolver fontes de energia renováveis. A necessidade da criação de novas fontes de energia, assim como o aprimoramento das que já estão em utilização, tornou-se fundamental em nossa sociedade. Fontes de energia eólica, solar entre outras, estão sendo cada vez mais caracterizadas pela sua necessidade. Desta forma, através desta filosofia vem-se estudando a necessidade de substituir o fluido mineral (óleo hidráulico) por fluido hidráulico água. Este novo sistema com transmissão à água pode substituir o óleo mineral em diferentes setores como equipamentos industriais, móbil, agrícola, entre outros.

O sistema hidráulico com transmissão à água possui algumas vantagens em relação ao convencional: não é um produto tóxico, não é explosivo, encontrado em abundância, não é nocivo ao meio ambiente, possui um custo baixo de transporte, manuseio e armazenamento entre outras vantagens.

Para tornar possível o estudo, foi desenvolvida uma bancada de testes na qual contém peças de um circuito hidráulico básico: reservatório, bomba hidráulica, reguladora de fluxo, reguladora de pressão e atuador cilíndrico. Alguns problemas foram encontrados para conseguir realizar a montagem desta bancada. O mais importante a citar é o fluido que será utilizado, neste caso, a água. Componentes de um circuito hidráulico são normalmente projetados utilizando-se para sua fabricação aço carbono e ferro fundido. Para os cilindros, as tubulações e os reservatórios utilizam-se o aço carbono, entretanto as carcaças das diversas válvulas do sistema são fabricadas em ferro fundido. A água em contato com esses materiais provoca a oxidação da superfície e posteriormente sua corrosão, tornando-a inutilizável neste sistema. Desta forma, para podermos trabalhar com fluido água é necessário utilizar outros tipos de materiais (aço inoxidável, cobre, alumínio entre outros), ou materiais de revestimento (tintas, borrachas, polímeros, entre outros). O reservatório hidráulico é fabricado de aço carbono, possuindo um revestimento interno de pintura epóxi. A



tubulação é confeccionada por mangueiras de alta pressão com revestimento inteiriço de borracha e o cilindro de atuação também confeccionado de aço carbono, porém com a haste externamente e a camisa internamente cromadas. Conseguiu-se assim, amenizar os efeitos de corrosão do material.

A bancada de testes foi desenvolvida com intuito de verificar o comportamento de um atuador hidráulico com transmissão a água em relação a um atuador hidráulico com transmissão a óleo mineral. O atuador hidráulico em ambos os casos é submetido a uma carga predeterminada, utilizada para o teste de ambos os atuadores. Uma régua potenciométrica montada à bancada é interligada a um sistema de aquisição de dados, e este informa os valores de posicionamento e tempo de acionamento do atuador.

O teste para a bancada é realizado em três níveis de pressão: mínimo, intermediário e crítico. Em cada nível os atuadores são submetidos a três medições e nestes níveis suas propriedades de pressão, vazão e temperatura do sistema são definidas. O objetivo final é medir as variações de posicionamento no tempo, calcular a velocidade e aceleração de ambos os atuadores e comparar os resultados.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

A necessidade de utilizar fontes de energias renováveis, como eólica e solar, está sendo muito considerada entre vários países no mundo. Entretanto, existe hoje uma tendência a utilizar-se de outras formas de geração de potência, e uma destas formas é a utilização de água em sistemas hidráulicos (RESENDE, 2015).

A utilização de água como fonte de energia em sistemas hidráulicos é muito antiga, porém, com o desenvolvimento tecnológico e a implantação, em 1906, do primeiro sistema que utilizava óleo mineral, deixou-se a água como fonte de potência no esquecimento. Utilizando água em sistemas hidráulicos pode-se verificar que várias características desta propriedade não agregam valor ao projeto, gerando desta forma transtornos e problemas.

Várias propriedades e fatores devem ser avaliados quando se considera a utilização de água em sistemas hidráulicos de potência, principalmente se compararmos ao óleo mineral, tradicionalmente utilizado, como: a viscosidade,



temperatura, densidade, calor específico, pressão de vapor, o material que compõe o sistema e a interferência do meio (agentes microbianos).

Uma das maiores diferenças da água para o óleo mineral é a viscosidade ( $\nu$ ). Esta é uma medida de resistência ao escoamento do fluido, e a baixa viscosidade possibilita a ocorrência de vazamentos e aumento do atrito entre as partes, além de necessitar de menor tolerância na fabricação (CONRAD, 2005). A água possui a 20°C uma viscosidade de 1 cSt. Esta característica pode ser considerada como um aspecto positivo, visto que, a baixa viscosidade para o escoamento tem como resultado pouco atrito do fluido nos componentes do sistema, provocando desta forma uma menor perda de energia. Por outro lado, aumenta a possibilidade de vazamentos internos e externos, considerando a mesma distância percorrida, além deste tipo de fluido ter baixa capacidade de lubrificação (ZHANG *et al*, 2012).

A temperatura em que ocorre a mudança do estado líquido da água para o estado sólido é de 0°C. Em alguns países as temperaturas ambientes chegam facilmente abaixo dos 0°C, tornando este meio fluídico inadequados para um sistema hidráulico, já que existe o risco de congelamento. Existem meios de neutralizar este problema, onde um deles trata da utilização de um aditivo anticongelante no sistema. Basta avaliar neste caso as propriedades químicas deste produto para atender as normas de proteção ambiental. Estes aditivos devem, de preferência, ser inofensivos em pequena quantidade ao meio ambiente e deve existir o monitoramento do percentual de anticongelante a fim de manter a proporcionalidade correta, visto que a água tende a evaporar (HITCHCOX, 2012). Em países tropicais a temperatura mínima normalmente não chega a um valor abaixo de 5°C, nestes países o sistema com fluido água pode ser utilizado sem a necessidade do aditivo.

O aquecimento em sistemas hidráulicos com fluido água não pode ultrapassar os 50°C. Acima deste valor a água estaria liberando vapores, prejudicando a linha de sucção e pressão do sistema. Contudo, o acréscimo de temperatura não passa a ser um grande problema, pois a água possui uma condutividade térmica aproximadamente de 4 a 5 vezes maior que a do óleo mineral. Desta forma a refrigeração do sistema hidráulico à água é facilmente controlada a 50°C exigidos pelos circuitos hidráulicos (CONRAD, 2005).



As perdas de energia em sistemas hidráulicos são afetadas pela sua densidade, e esta é diretamente afetada por variações na temperatura e pressão do sistema. É importante manter a densidade baixa a fim de diminuir as perdas por pressão. A densidade de massa da água é aproximadamente 10% mais elevado do que a do óleo mineral (LINSINGEN, 2016).

De acordo com Fox (2014), a densidade é a massa por unidade de volume é expressa pela seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(1)

Onde:

$m$  = [kg] massa do fluido

$V$  = [m<sup>3</sup>] volume do fluido

O calor específico ( $c$ ) de uma substância é a capacidade desta mudar a temperatura de 1 kg de uma substância em 1°C e não variar muito com a temperatura e pressão. O calor específico da água é alto, e a 40°C chega a ser mais de duas vezes maior que a do óleo. Isso significa que a água tem maior capacidade de absorver o calor.

O calor específico ( $c$ ) é calculado com a seguinte fórmula (BORGNAKKE, 2009):

$$c = \frac{C}{m}$$

(2)

Onde:

$m$  = [kg] massa

$C$  = [J/K] capacidade térmica

A água possui uma pressão de vapor aproximadamente igual a  $1,2 \times 10^6$  vezes a do óleo mineral. A pressão de vapor da água a 50°C corresponde a 0,12 bar e a do



óleo mineral  $10^{-6}$  bar. Desta forma a água é limitada a trabalhar com a temperatura máxima de  $50^{\circ}\text{C}$ , a fim de evitar cavitação e erosão do sistema (BORGNAKKE, 2013).

A energia utilizando água aplicada a sistemas hidráulicos fechados, que antes utilizavam óleo mineral, possuem algumas características próprias para projetos. Entre estas características, podemos destacar a escolha dos materiais de fabricação dos componentes do circuito hidráulico. Um exemplo, são as tubulações que sofrem com a utilização de água devido a corrosão causada pelos gases dissolvidos (oxigênio, cloro e dióxido de carbono) (KRUTZ *et al.*, 2004). Segundo Majdic *et al.*, (2008), vários ensaios comprobatórios foram realizados com diferentes materiais que poderiam ser utilizados em sistemas hidráulicos com fluído água. O material mais indicado para construção de componentes do sistema foi o aço inoxidável devido a sua característica de ser eficiente contra corrosão.

Outros materiais utilizados para a construção do sistema são a cerâmica, que apresenta a característica de ser um material muito frágil limitando a sua utilização e os polímeros e suas ligas, utilizados para a fabricação das vedações do sistema (KALIN *et al.*, 2006).

Segundo estudos realizados por Koskinen *et al.*, (2014), o crescimento microbiano dentro dos sistemas hidráulicos com transferência de potência por água, pode tornar-se um fator alarmante. A utilização de sistemas de filtragem (filtro hidráulico) é essencial nestes sistemas. Partículas ficam presas ao filtro concentrando nesta área o crescimento microbiano. O acúmulo e fixação das bactérias na água utilizada para sistemas hidráulicos ocorrem rapidamente, e uma forma de evitar este agravante é reduzir o número de nutrientes da água utilizada nos sistemas hidráulicos bem próximos ao da água potável. Nas pesquisas desenvolvidas em 2011 por Franco Majdic da Universidade de Ljvbljanu (Faculdade de Engenharia Mecânica da Eslovênia), eles utilizam nos sistemas hidráulicos água desmineralizada ou destilada a fim de diminuir este agravante. A água potável é um fluído que apresenta uma viscosidade em torno de 1 cSt, sendo 30 vezes menor que a do óleo. A baixa viscosidade aumenta a possibilidade de fugas de fluído no sistema, necessitando de vedações com melhor eficiência e ajustes entre partes cada vez menores. Quando o fluído é de baixa viscosidade possibilita-se a presença de vazamentos internos e externos. Vazamento interno significa a ocorrência de vazamentos dentro do próprio

circuito, e nos vazamentos externos o fluido é direcionado para o meio externo ao circuito. Este segundo tipo de vazamento é prejudicial nos circuitos hidráulicos a óleo mineral, no qual o fluido entra em contato com o meio ambiente. A ocorrência de vazamentos internos provoca atrito dos componentes e conseqüentemente, provocam aquecimento do sistema.

A utilização de água em sistemas hidráulicos não é um tema muito difundido, porém estudos e pesquisas relevantes em alguns países europeus estão caracterizando esta ideia como viável e já possuem equipamentos com esta tecnologia implantada Figura 1.



Figura 1: Empilhadeira com movimentos hidráulicos a água  
Fonte: Krutz (2004).

A Empilhadeira elétrica da Figura 1 está convertida para funcionamento a água para elevação e inclinação de materiais. Projeto da Danfoss Gratian de Milwaukee e da Universidade de Tecnologia de Dresden, na Alemanha.

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Com o objetivo de efetuar as medições comparativas com o sistema hidráulico tradicional foi desenvolvido uma bancada de testes no LASPHI (Laboratório de automação e simulação em sistemas pneumáticos e hidráulicos) onde a água foi utilizada como fluido de transferência. Na Figura 2, é apresentada a bancada de testes.

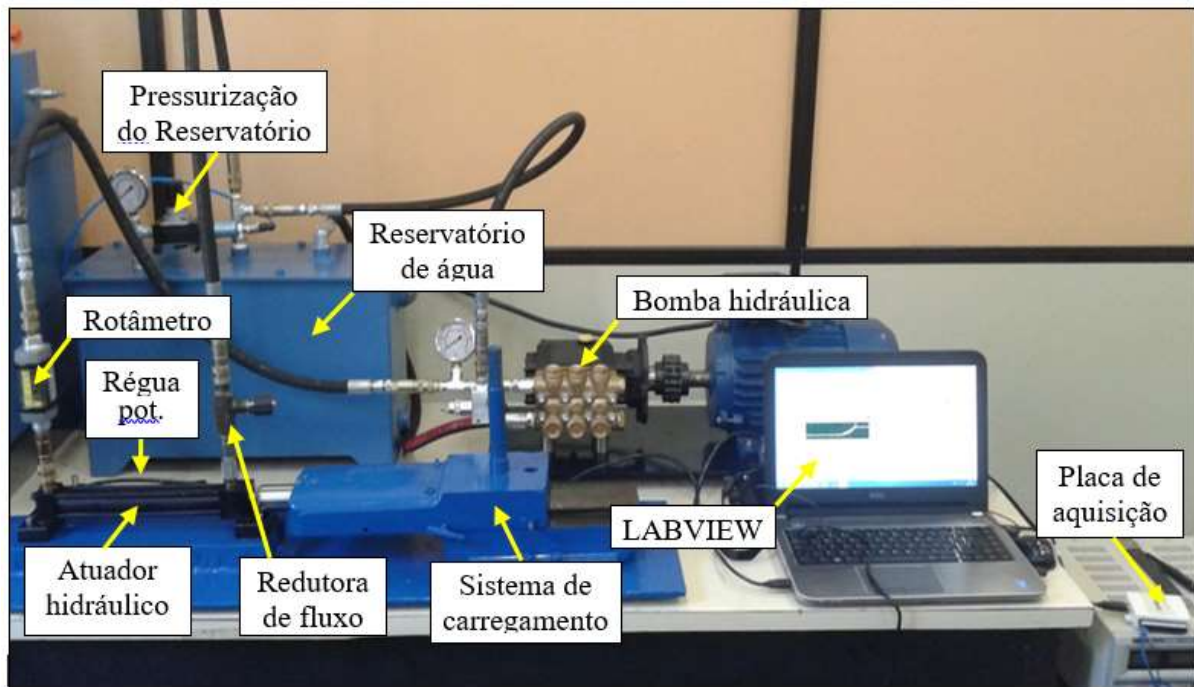


Figura 2: Bancada de testes hidráulicos de potência com utilização de fluido água.  
Fonte: O autor (2016).

Nesses ensaios foram comparadas variáveis físicas durante o carregamento de um atuador linear através de instrumentos de medição. Estes, capazes de identificar os valores de posição, tempo, pressão e vazão. A comparação foi realizada mediante com mesmos carregamentos nos sistemas hidráulicos, utilizando óleo mineral ISO VG HLP 68 e água potável.

Para determinar a carga que foi utilizada no sistema de carregamento, foi ajustado a válvula limitadora de pressão em 2,5 MPa e em seguida travado o sistema. Na sequência foi ligado a bancada, soltando as travas do sistema de carregamento até que este começou a se movimentar, obtendo-se indiretamente o valor da força mínima (1,079 kN), através do produto da pressão e área do atuador, e tendo isso de referência para todos os ensaios realizados. Os ensaios subsequentes foram realizados com pressões de 7,5 MPa e 12,5 MPa para ambos os fluidos e repetido três vezes para cada pressão. O teste compreende acionar um atuador (cilindro hidráulico) linearmente, movimentando uma carga de 1079,76 N em um determinado tempo. Os dados desta movimentação foram adquiridos através de um *software* desenvolvido em LABVIEW *Student Edition*.



### 3.1 COMPONENTES DA BANCADA

A bancada de teste utilizada para ambos os fluidos (água e óleo), basicamente foram compostas pelos componentes descritos no circuito hidráulico, representados na Figura 3.

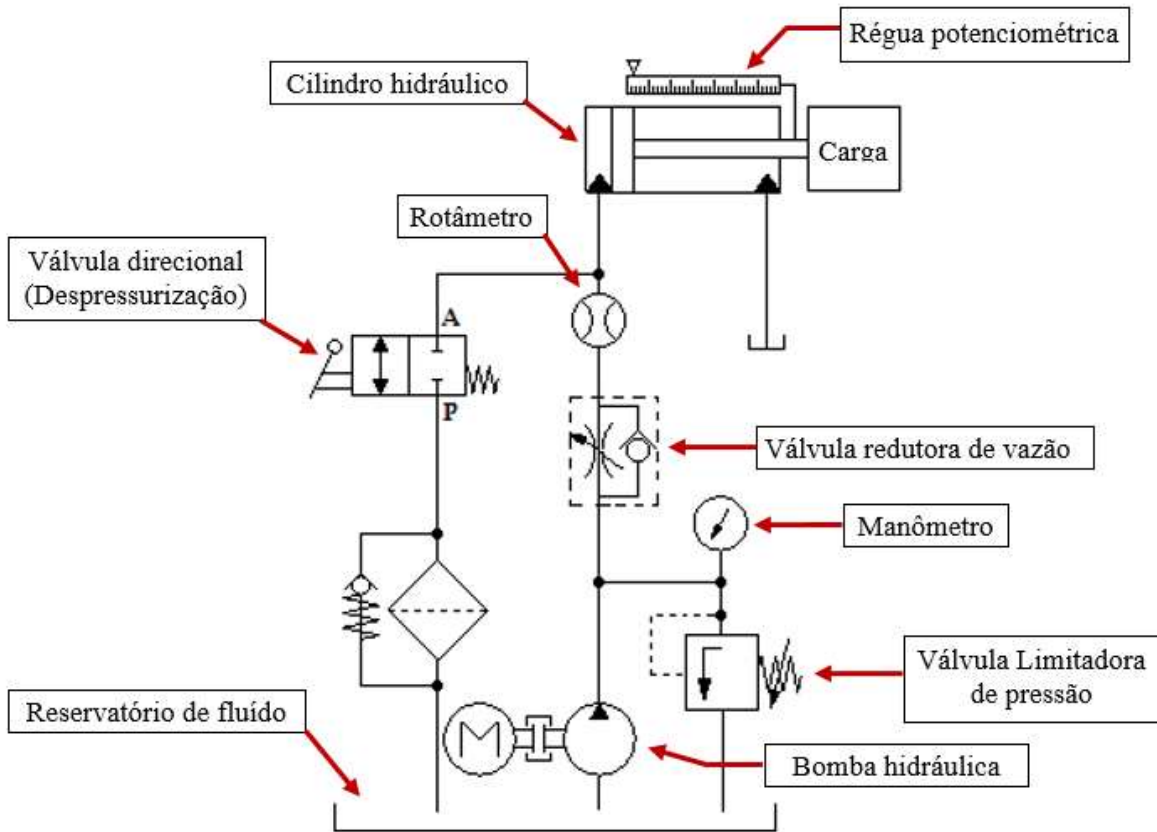


Figura 3: Esquema hidráulico da bancada de teste para água e para óleo.  
Fonte: O autor (2016).

#### 3.1.1 Bomba de Alta Pressão

Nos testes a água foi empregada uma bomba de pistões radiais modelo W140B, fabricada pela INTERPUMP GROUP. Essa bomba disponibiliza uma vazão de 14 LPM, quando no eixo é produzido uma rotação de 1450 RPM (60 Hz), além do que, permite trabalhar com pressões até 14 MPa, gerando uma potência de 2,94 kW.

Estas bombas são adequadas ao funcionamento com água limpa, com temperatura máxima de 40°C, e apenas por períodos breves até 60°C.



Sua linha de alimentação deve possuir um diâmetro interno na tubulação igual ao da linha de pressão ou maior, evitando desta forma o risco de cavitação no sistema. Segundo dados do fabricante, esse tipo de bomba deve possuir também uma pressão hidrostática positiva mínima de 0,20 m (0,02 bar) e máxima de 80 m (8 bar) medida na linha de alimentação da bomba. O valor mínimo é considerado para temperaturas de até 20°C. Para sua movimentação foi utilizado um motor elétrico de indução trifásico, de quatro pólos, com potência nominal de 3,7 kW, capaz de manter a rotação constante mesmo em pressões elevadas como as que foram utilizadas em alguns ensaios.

### **3.1.2 Reservatório do Fluido**

Dispositivo onde fica armazenado o fluido (água ou óleo) para que este seja succionado pela bomba para o circuito hidráulico. Confeccionado de chapas de aço carbono SAE 1020 e soldado. Suas superfícies foram pintadas externas e internamente a fim de evitar os efeitos contaminação por oxidação. Possui cinco pórticos de conexões, sendo estes utilizados para: drenagem do líquido do reservatório, montagem do visor de nível, mangueira de sucção, mangueira de retorno do cilindro, sistema de pressurização do próprio reservatório e drenagem da válvula limitadora de pressão. Sua capacidade é de 30 litros e sua tampa possui sistema de vedação para que não ocorram vazamentos e seja possível sua pressurização.

### **3.1.3 Válvula Limitadora de Pressão e Válvula de Fluxo**

A válvula reguladora de pressão é responsável por regular a pressão do sistema, e a reguladora de fluxo regular a vazão para a atuação do cilindro hidráulico. Regula-se a pressão para os três níveis de verificação e a vazão para somente um nível (Tabela1). Foi utilizada uma válvula limitadora de pressão marca CBF, modelo VLP 40L 3802, possuindo uma variação de pressão entre 2,5 MPa e 35 MPa. Esta válvula permite uma vazão máxima de 35 l/min e pode trabalhar com temperaturas entre -20 °C e 90 °C. Calibrações devem ser realizadas utilizando óleo hidráulico com 30 cSt de viscosidade a 50 °C.



### 3.1.4 Instrumentos de Medição e Aquisição de Dados

Dispositivos utilizados para verificação dos parâmetros de testes da bancada: manômetros para a verificação da pressão de trabalho dos atuadores e de pressurização do reservatório hidráulico, rotâmetro para controle da vazão do sistema, régua potenciométrica para aquisição dos parâmetros físicos, termômetro externo para controle da temperatura do fluido e software Excel® para computação gráfica da aquisição dos dados, adquirida pela régua potenciométrica.

### 3.1.6 Cilindro Hidráulico

Fabricado em aço carbono, e posteriormente cromado, é responsável pela movimentação da carga do sistema. Utilizou-se cromo duro para o revestimento da haste e para a camisa internamente, evitando desta forma a aceleração do processo de corrosão causado pelos sais contidos na água. O cilindro hidráulico possui as seguintes dimensões: diâmetro externo da camisa 35 mm, diâmetro interno da camisa 25 mm, diâmetro da haste 18 mm e comprimento da haste (curso do cilindro) 200 mm. Este é fixado por quatro parafusos em sua base e alinhado com o sistema de carregamento.

Neste dispositivo será medido sua posição em relação ao tempo até o final do curso da haste, utilizando para estas pressões de trabalho definidas em 2,5 MPa, 7,5 MPa e 12,5 MPa.

## 3.2 PROCEDIMENTOS PARA O TESTE NA BANCADA HIDRÁULICA

Verifica-se na Figura 4 a configuração da bancada que utiliza óleo mineral. A ligação correspondente à parte de aquisição de dados segue os mesmos passos da Figura 2 onde estão representados o software LABVIEW e a placa de aquisição de dados.

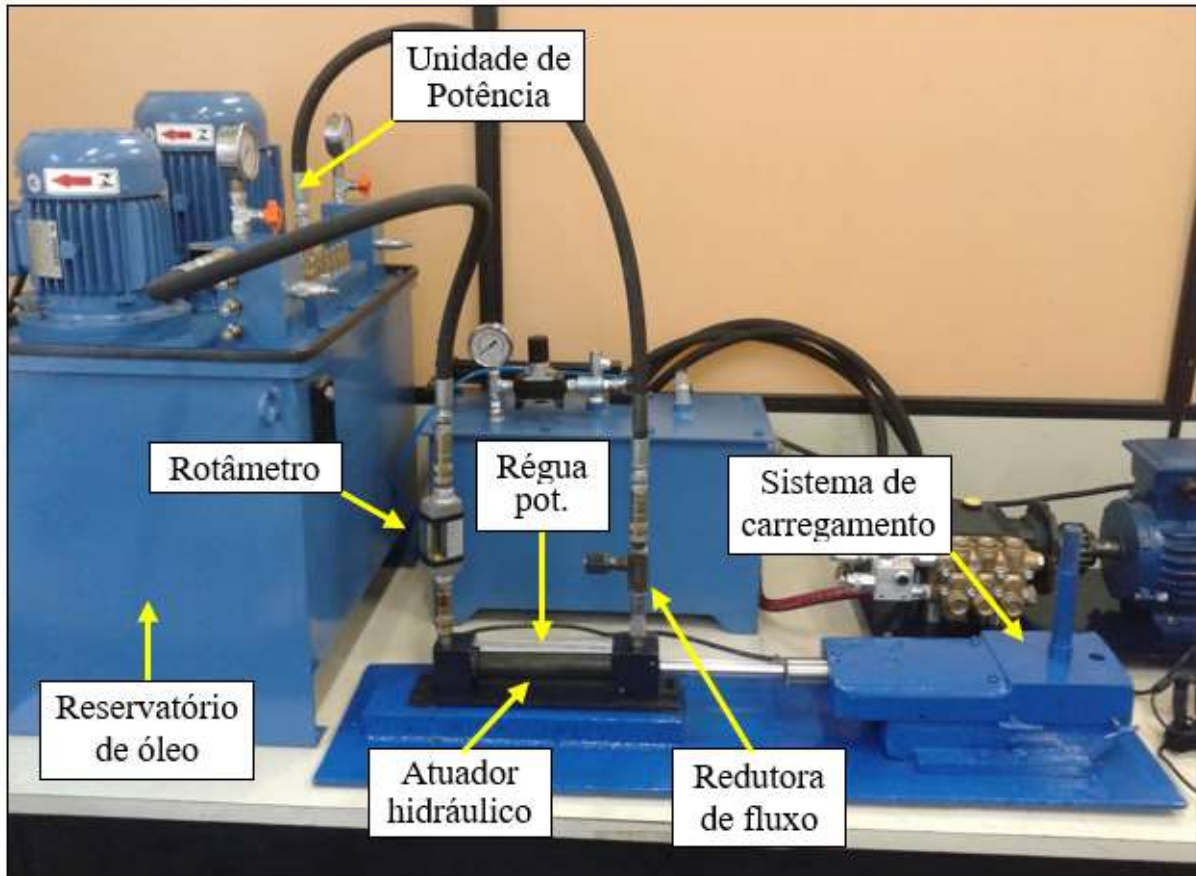


Figura 4: Bancada de testes empregando óleo mineral.  
Fonte: O autor (2016).

A unidade de potência hidráulica com fluido a óleo possui os seus componentes integrados juntamente ao reservatório hidráulico, são eles: Motor elétrico, bomba de engrenagem, válvula limitadora de pressão, manômetro, filtro de retorno, e conexões de pressão e retorno. O atuador hidráulico utilizado nesta bancada é próprio para trabalhar com óleo mineral. Os componentes classificados como sistema de carregamento, rotâmetro e válvula de fluxo são os mesmos utilizados na bancada de potência que utiliza água.

Para ambas as bancadas têm-se as leituras dos dados de posicionamento em um determinado tempo. Foi colocada uma carga sobre o atuador para que ele a movimentasse. Esta carga foi determinada em 1079,76 N, e as pressões do acionamento dos cilindros foram modificadas para cada leitura de dados.

A bomba hidráulica para água é de vazão fixa (12 l/min), a uma rotação de 1450 RPM, e uma pressão máxima de 14 MPa, segundo manual do fabricante. Como a bomba possui vazão fixa e não se pode alterar a rotação do sistema, foi trabalhada



alterando a pressão. Com a mesma carga aplicada ao cilindro, regulam-se as pressões diferentes, verificando-se as características do sistema para padrões de capacidade mínima, intermediária e máxima. As capacidades e valores de referência estão dispostos na Tabela 1. Serão comparadas suas características com a de um circuito hidráulico com a mesma quantidade de componentes, mesmas dimensões e com os mesmos parâmetros, utilizando óleo mineral ISO VG HLP 68.

Tabela 1: Considerações para execução do experimental

<b>Características de Pressão - Sistema Água e Óleo</b>	<b>Valor de Pressão Admitido</b>	<b>Valores de Vazões Reguladas</b>	<b>Valores de Temperatura</b>
Crítico (Crt)	12,5 MPa	7,5 l/min	18-23 °C
Intermediário (Int)	7,5 MPa	7,5 l/min	18-23 °C
Mínimo (Min)	2,5 MPa	7,5 l/min	18-23 °C

O circuito hidráulico é regulado com as mesmas pressões e vazões do sistema a água (Tabela 1). Será realizado três ensaios para cada nível de pressão a fim de gerar uma média para cada sistema: crítico, intermediário e mínimo. É necessário controlar a temperatura para que ela não ultrapasse os 50°C, diminuindo desta forma a presença de cavitação. A bomba hidráulica que foi utilizada no sistema a água (INTERPUMPGROUP W140B) deve trabalhar em regime constante com temperaturas até 40°C, e por curtos períodos até 60°C. Dependendo da temperatura de trabalho é necessária a pressurização do reservatório para que não ocorra cavitação na bomba, os valores padrões de acordo com o fabricante do componente estão na Figura 5.

No sistema hidráulico com óleo mineral não existem grandes problemas para conseguir atingir as medidas de pressões, visto que este é próprio para trabalhar até 15 MPa.

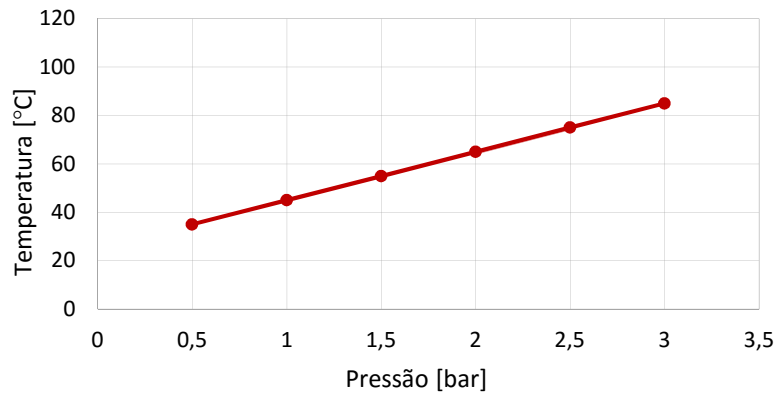


Figura 5: Relação para pressurização do reservatório na utilização de água como fluido hidráulico. Fonte: O autor (2016).

A Figura 5 mostra a necessidade de pressurização do reservatório hidráulico com ar comprimido levando em consideração a temperatura de trabalho do fluido.

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Utilizando para os ensaios um valor de carga definida em 1,079 kN, foi coletado os valores de posicionamento em um determinado tempo do sistema, através do sistema de medição. Derivando estes dados de posição no tempo, foram encontradas as demais grandezas, como velocidade e a aceleração. A Tabela 2 apresenta esses valores.

Tabela 2: Valores físicos das médias encontrados com os ensaios de bancada.

Ensaio	Fluído	Pressão [MPa]	Deslocamento [mm]	Tempo [s]	Velocidade [mm/s]	Aceleração [mm/s <sup>2</sup> ]
1	Água	2,5	185,08	0,41	454,79	Aprox. zero
2		7,5	184,26	0,38	486,14	Aprox. zero
3		12,5	186,12	0,38	478,84	Aprox. zero
4	Óleo HLP 68	2,5	188,19	0,80	232,62	Aprox. zero
5		7,5	188,94	0,62	296,31	Aprox. zero
6		12,5	187,06	0,65	288,15	Aprox. zero

A Tabela 2 mostra os valores derivados da velocidade e da aceleração em relação ao deslocamento e ao tempo. Através destes dados, se pode visualizar em gráficos as tendências de cada curva característica dos parâmetros com relação ao

tempo e ao fluido utilizado. A pequena variação no deslocamento deve-se a flexão do suporte que fixa o sistema de carregamento e o atuador hidráulico.

#### 4.1 ENSAIO COM PRESSÃO de 2,5 MPa E VAZÃO 7,5 l/min

Foi utilizado no ensaio de 2,5 MPa uma força de 1,079 kN. Esta força foi regulada no sistema de carregamento, sendo a força máxima que esta pressão pode movimentar. Este valor de carga foi fixado em todos os outros ensaios. Dados coletados pelo *software* forneceram valores de posição no tempo. Como característica da curva tem-se a Figura 6.

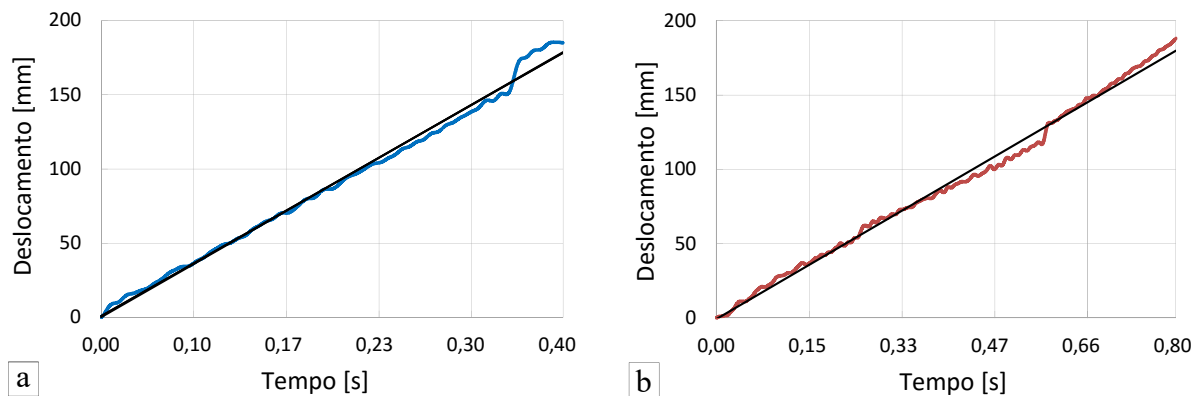


Figura 6: Média das curvas características (deslocamento x tempo) utilizando o cilindro hidráulico em 2,5 MPa. (a) transmissão à água e (b) transmissão a óleo.  
Fonte: O autor (2016).

Derivando os dados da Figura 6 conseguiu-se obter os valores de velocidade e aceleração dos atuadores hidráulicos como apresentado na Tabela 2. Para melhor representação qualitativa e comparativa, os resultados são demonstrados através das curvas características ilustradas na Figura 7, velocidade (a) e aceleração (b), respectivamente.

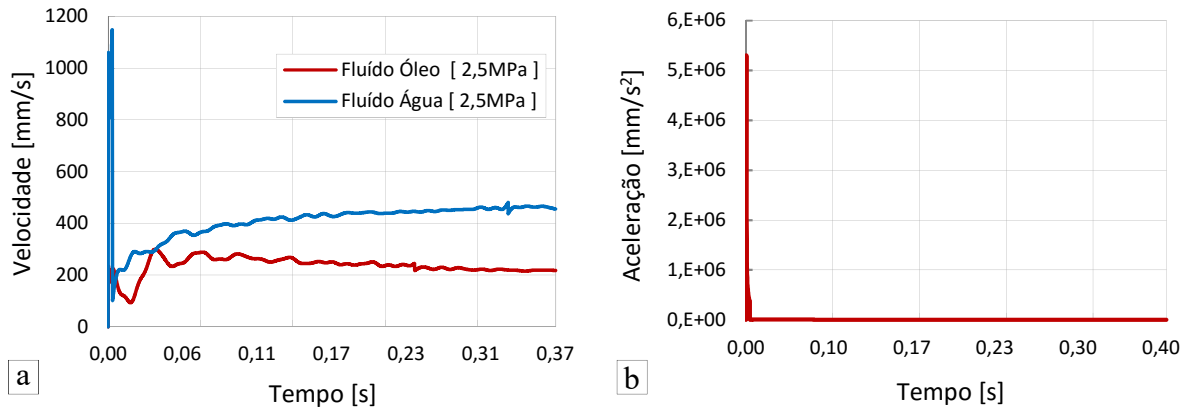


Figura 7: Curvas características (velocidade x tempo) e (aceleração x tempo) utilizando o cilindro hidráulico em 2,5 MPa. (a) transmissão água e óleo (b) transmissão a óleo. Fonte: O autor (2016).

Para os dois fluídos foi encontrado velocidades diferentes para a pressão de 2,5MPa. O cilindro hidráulico movimentado a água obteve uma velocidade média de 454,79 mm/s, enquanto o fluído óleo uma velocidade de 232,62 mm/s. Observando a Figura 7(a), foi verificado claramente através das retas de velocidade formada, que o acionamento do atuador utilizando fluído água, teve certa vantagem em relação à velocidade de atuação.

Isto pode ser explicado pelo fato de que o sistema à água possui uma viscosidade menor que a do óleo. A baixa viscosidade representa para o escoamento do fluído uma baixa perda de energia nas tubulações do sistema. Desta forma, a água possui maior facilidade de escoamento tornando o sistema mais rápido à resposta de atuação. Devemos considerar que a baixa viscosidade também aumenta os riscos de vazamentos, e estes podem ser internos com perda de potência ou externos com perda de fluído para o meio externo (LINSINGEN, 2016).

Na Figura 7b pode ser observado à curva de aceleração, e que está tende à zero. Tem-se esta configuração por estar trabalhando com um sistema em MRU (Movimento Retilíneo Uniforme), ou seja, como a velocidade é constante (Figura 7a), a aceleração é igual à zero. Apenas são observados alguns picos iniciais, que é justificado pela instabilidade inercial do sistema de carregamento. Após a estabilização da velocidade, pode ser observado na Figura 6 a linearização do movimento, e ainda foi verificado para todos os outros deslocamentos que serão citados neste trabalho, esta mesma configuração de aceleração.



#### 4.2 ENSAIO COM PRESSÃO DE 7,5 MPa e VAZÃO 7,5 l/min

A força regulada no sistema de carregamento deste ensaio é a mesma empregada no ensaio anterior, 1,079 kN no acionamento do atuador para ambos os fluídos. Os pontos coletados pelo *software* estão representados na Figuras 8 e 9.

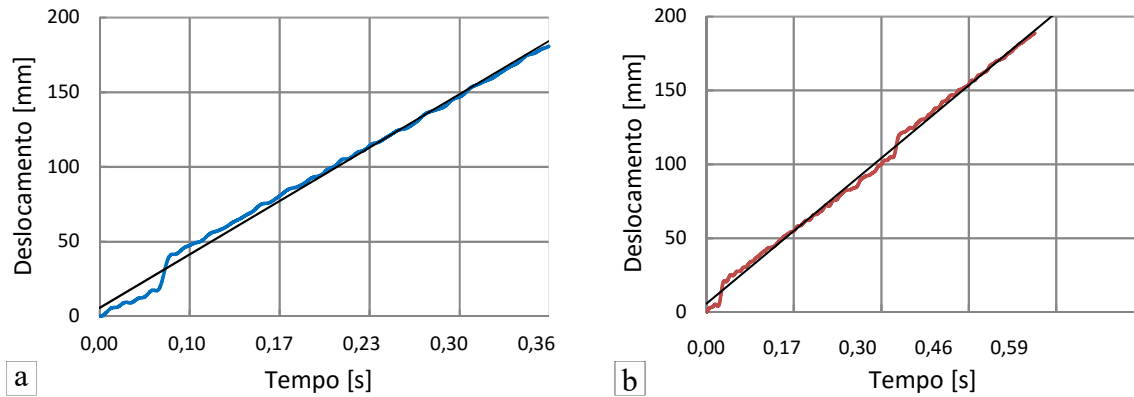


Figura 8: Média das curvas características (deslocamento x tempo) utilizando o cilindro hidráulico em 7,5 MPa. (a) transmissão à água e (b) transmissão a óleo.  
Fonte: O autor (2016).

Derivando os valores da Figura 8 conseguiu-se obter os valores de velocidade dos atuadores hidráulicos descritos na Tabela 2. Os resultados são as curvas características da velocidade de atuação do cilindro ilustradas na Figura 9. Observa-se novamente uma pequena variação de carga sobre o atuador, para ambos os fluídos. Neste momento a velocidade é máxima.

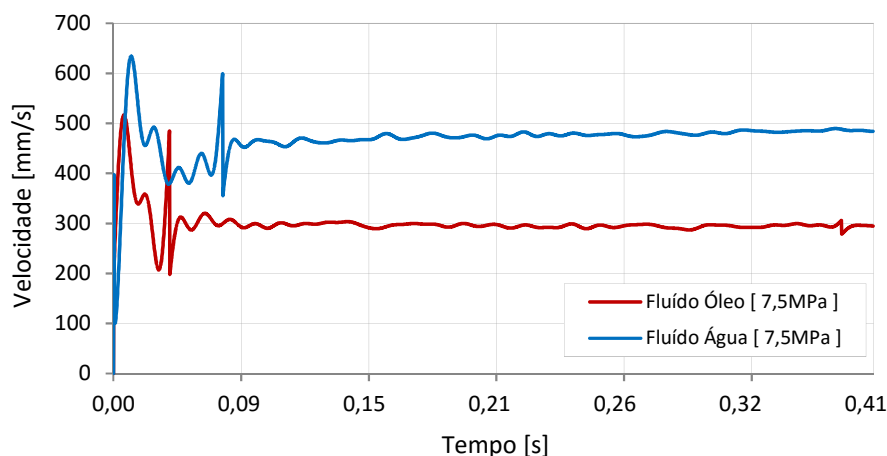


Figura 9: Curva da velocidade do atuador hidráulico em função do tempo utilizando uma pressão de 7,5 MPa.  
Fonte: O autor (2016).



Pode-se verificar novamente que a velocidade do atuador com utilização do fluido água foi superior. Levando em consideração as mesmas características, pode citar novamente a questão da perda de carga pela viscosidade. Porém, pode-se classificar outra característica peculiar à utilização do fluido água. Nos dias dos testes a temperatura ambiente inclusive dentro do laboratório estava aproximadamente em 19°C, sendo assim o fluido utilizado também se encontrava nas mesmas condições de temperatura. Desta forma, segundo Linsingen (2016), quando possuímos uma baixa temperatura mantemos o fluido a uma baixa densidade. Com a densidade mais baixa a água atingiu novamente um padrão de velocidade superior ao do óleo. A densidade também é afetada diretamente pela variação da pressão e da temperatura no sistema.

Diferentemente do óleo, a água possui uma alta condutividade térmica e essa característica foi verificada mesmo com o teste continuado, pois esse fluido permanecia em baixa temperatura (19°C). Esta característica é comum à água porque quanto maior a condutividade térmica, maior a facilidade de troca térmica com o meio (Conrad, 2005). Este foi verificado em nosso sistema mesmo sem a utilização de um sistema de resfriamento, ou seja, somente pelo reservatório hidráulico.

#### **4.3 ENSAIO COM PRESSÃO DE 12,5 MPa E VAZÃO 7,5 l/min**

Novamente utilizou-se para este sistema a mesma carga aplicada aos ensaios anteriores, que foi aproximadamente de 1,049 kN para o acionamento do atuador para ambos os fluidos. Os pontos coletados estão representados na Figura 10(a) para água e na Figura 10(b) para o óleo.

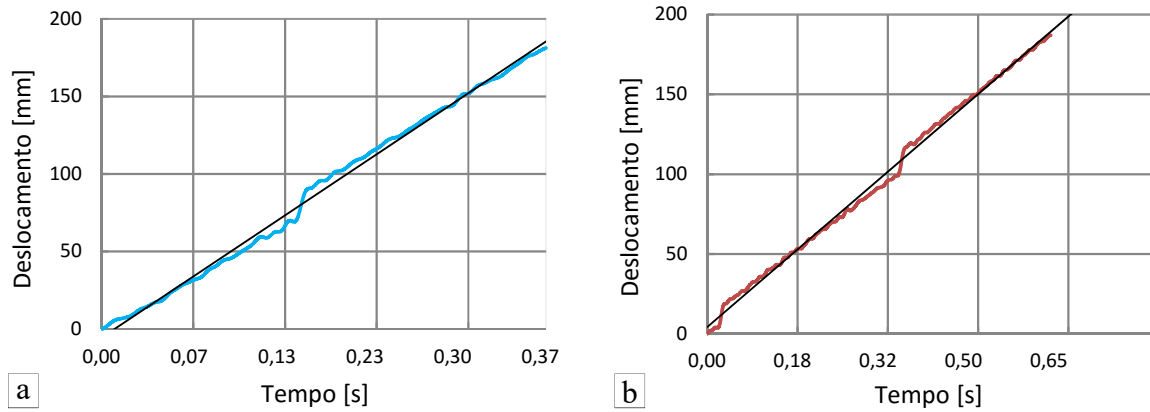


Figura 10: Média das curvas características (deslocamento x tempo) utilizando o cilindro hidráulico em 12,5 MPa. (a) transmissão à água e (b) transmissão a óleo.  
Fonte: O autor (2016).

Derivando os valores da Figura 10 conseguiu-se obter os valores de velocidade e aceleração dos atuadores hidráulicos demonstrados na Tabela 2. Para ter uma representatividade de forma qualitativa e comparativa, novamente os dados obtidos a partir dos ensaios são apresentados na Figura 11, só que agora para 12,5 Mpa.

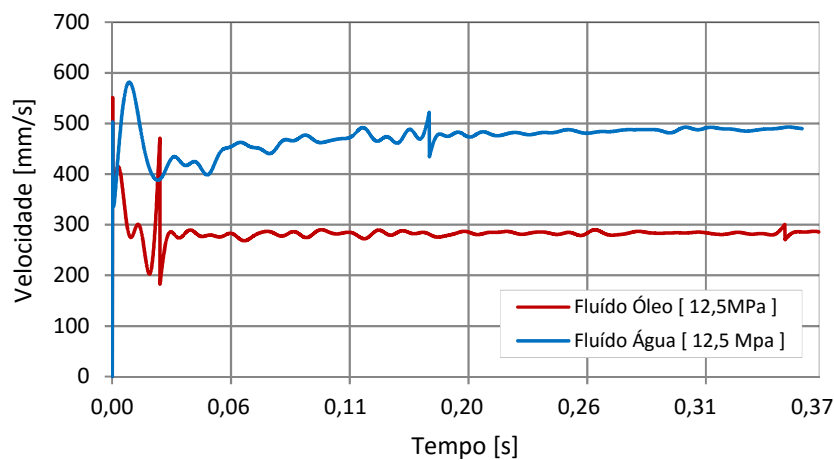


Figura 11: Curva característica da velocidade do atuador hidráulico em função do tempo utilizando uma pressão de 12,5 MPa.  
Fonte: O autor (2016).

Como verificado nos últimos dois ensaios com pressão de 2,5 MPa e 7,5 MPa, a velocidade do cilindro hidráulico movido com fluido água foi novamente superior. Foi visto anteriormente que as mesmas características que levaram o fluido que utiliza água terem maior velocidade e aceleração aproximadamente igual a zero continuam sendo válidas.



Além das comparações já realizadas podemos ressaltar ainda algumas características importantes, como a utilização para o teste com fluido água uma válvula reguladora de vazão que é projetada para trabalhar com óleo hidráulico. Ao fazer esta alteração de fluido se está substituindo um fluido de viscosidade 30 cSt projetado para tal componente, para outro com uma viscosidade de 1 cSt, ou seja, um fluido que possui uma resistência ao escoamento muito menor. Esta alteração pode provocar vazamentos internos, ou ainda pequenas alterações no comportamento laminar do fluido, e isso pode ter uma leve influência nas características comportamentais do atuador hidráulico (LINSINGEN, 2016).

Outro fator importante para se levar em consideração é o fato de estar utilizando uma bancada nova para os testes, com uma bomba de alta pressão de pistões e de alta eficiência. Além disso, esta bomba instalada com um circuito pressurizado, evitando assim que esta forme cavitação em seu sistema de sucção, permitindo uma melhor condição de regime para o fluido. Assim, conseguiu-se o máximo de rendimento na bancada de potência que utiliza água como fluido. Em contrapartida, quando se utiliza a bancada com óleo hidráulico, está utilizando um sistema que já possui algumas horas trabalhadas e provavelmente algum tipo de desgaste, gerando fugas no sistema. Portanto, quanto maior a pressão de trabalho, neste caso 12,5 MPa, maior a possibilidade de fugas e perda de rendimento volumétrico. Mas a diferença para os dois fluidos é bastante significativa, mesmo com todas as considerações feitas anteriormente.

#### **4.4 COMPARATIVO DE VELOCIDADES PARA VARIAÇÕES DE PRESSÃO**

Cada fluido possui suas características próprias, ou seja, propriedades físicas e químicas que dependendo do tempo de utilização podem afetar diretamente as condições funcionais do circuito.

A Figura 12 apresenta as três retas de velocidade para o atuador hidráulico movimentado com fluido água, nas três pressões ajustadas. Percebe-se através das retas que em todos os testes, a velocidade tende-se a ser constante. O movimento do atuador para as pressões de 7,5 MPa e 12,5 MPa são praticamente contínuas, e obedecem a relação de velocidade para cada pressão, visto que, quanto maior a

pressão maior será a velocidade de atuação. Em contrapartida para a pressão de 2,5 MPa foi possível observar uma grande variação da velocidade na partida do atuador hidráulico e também uma necessidade de maior tempo para estabilização em relação ao seu deslocamento total, que foi na região de 0,28 a 0,33 s. Isso pode ser justificado pela diferença de pressão em relação ao valor de seu carregamento, ou seja, o valor da pressão ajustada é muito próxima da necessária para o deslocamento da carga em 1,049 kN, lembrando que esse valor de pressão inicialmente ajustado foi o mínimo para o deslocamento.

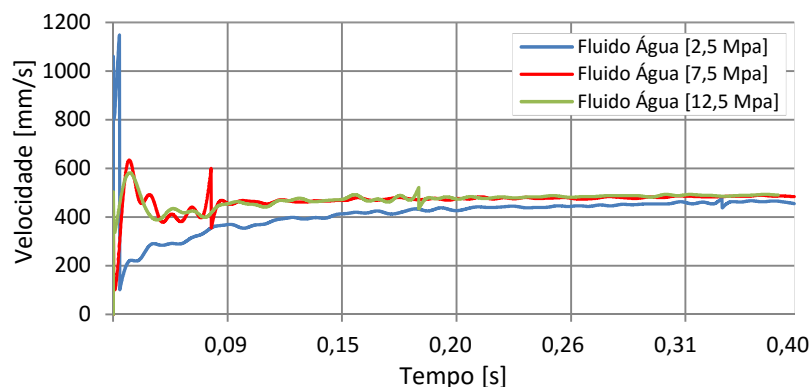


Figura 12: Curva (velocidade x tempo) utilizando o atuador hidráulico em todas as pressões com fluido água.

Fonte: O autor (2016).

Outro ponto importante também a ser justificado em relação à curva característica da velocidade em 2,5 MPa (Figura 12) é a facilidade que a válvula de alívio tem de permitir sua abertura em baixas pressões, ou seja, pequena variação da carga ocorre mudanças significativas da vazão de fuga pela válvula de alívio, e com isso mudanças significativas da velocidade são percebidas. Em seguida são apresentados os perfis de velocidade do atuador hidráulico com transmissão de potência com fluido a óleo (Figura 13).

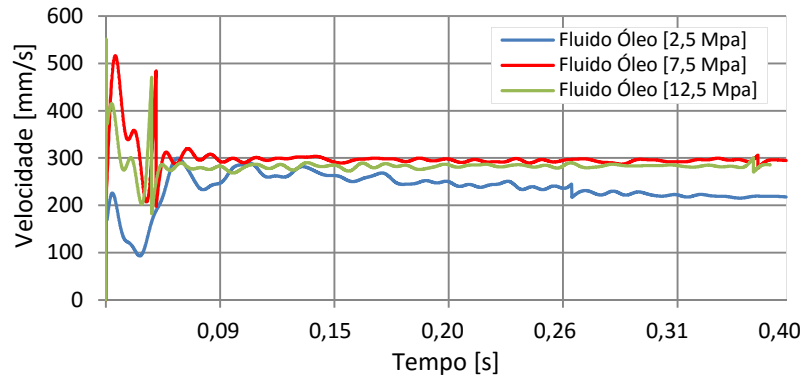


Figura 13: Curva (velocidade x tempo) utilizando o atuador hidráulico em todas as pressões com fluido óleo.  
Fonte: O autor (2016).

Para o acionamento do atuador com fluido óleo, é possível verificar através da Figura 13 que os perfis de velocidade utilizando as pressões de 7,5 e 12,5 MPa, estão com valores praticamente estabilizados. No entanto, a velocidade do atuador para pressão de 2,5 MPa é menor, podendo ser explicado pela resistência do escoamento do fluido na tubulação. Quando se trata de uma pressão muito baixa, a variação da resistência ao escoamento retarda o fluxo do líquido (óleo) diminuindo a velocidade do atuador durante o seu deslocamento (FOX, 2014).

Pode-se verificar que as retas formadas pelas velocidades dos dois fluidos são bem similares (Figura 14), a principal diferença está na média das velocidades produzida quando se trabalhou com a água como fluido. Essas foram bem maiores e mais estáveis para os três níveis de pressões testadas.

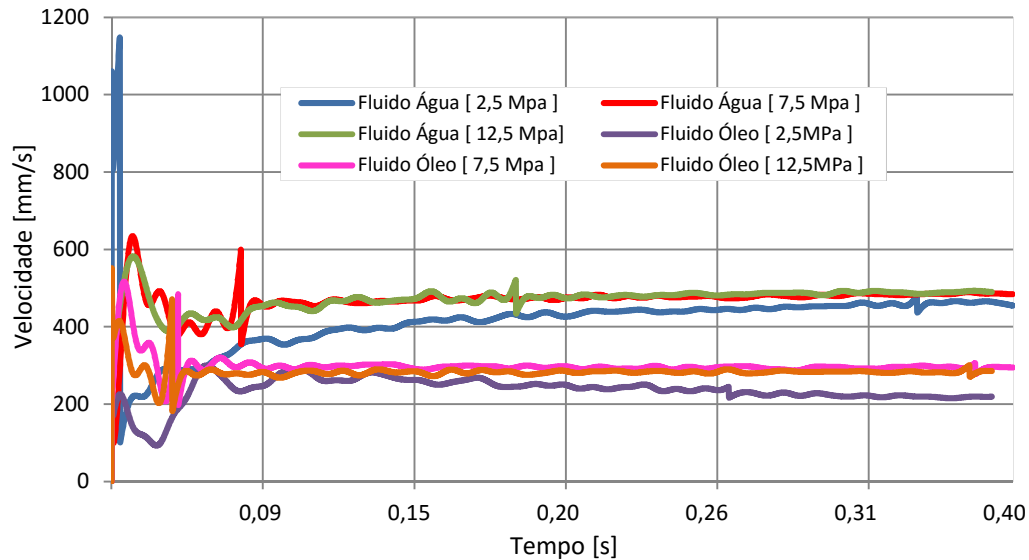


Figura 14: Curva (velocidade x tempo) utilizando o atuador hidráulico em todas as pressões com fluidos água e óleo.

Fonte: O autor (2016).

Verifica-se que é extremamente possível substituir óleo hidráulico por água em unidades de potência, mas é necessário atentar-se aos parâmetros de cada sistema e às necessidades específicas de cada projeto. Vários estudos ainda são necessários para se aplicar a substituição de óleo mineral por água. No entanto, este foi um grande passo para o começo de uma grande mudança. Acredita-se que para pequenos circuitos hidráulicos, onde são necessários pequenos valores para vazões, os sistemas com transmissão a água poderiam ser aplicados, pois não seria necessário um grande investimento para os sistemas de troca térmica, lembrando que a pressão influenciaria na temperatura de trabalho desse circuito.

## 5 CONCLUSÃO

Com a realização e a finalização deste trabalho chegam-se as seguintes conclusões:

- As velocidades da água são maiores que do óleo para os três níveis de pressão que foram ensaiados (2,5 MPa, 7,5 MPa e 12,5 MPa). Esta diferença na velocidade inicialmente pode ser justificada pela variação de viscosidade existente entre os fluidos, que chega a ser 30 vezes em condições normais de temperatura e pressão (20°C e 1 atm). Desta forma a água possui uma menor resistência ao escoamento



dentro dos componentes hidráulicos, gerando velocidades de acionamento maiores.

- Pode-se constatar na Fig. 7(b) que a aceleração do sistema utilizado tende a zero. Esta característica é observada porque descrevemos uma trajetória (Fig. 10(b)) em MRU (Movimento Retilíneo Uniforme), onde velocidade para este é constante.
- A densidade e a temperatura também influenciaram na velocidade do atuador que utilizou água como fluido. Mantendo a temperatura entre (18°C - 23°C) conseguiu-se controlar a densidade, evitando perdas por pressão no sistema.
- O sistema hidráulico com água utilizou uma bomba de pistões enquanto o de óleo uma bomba de engrenagens. Existe diferença entre esses componentes, uma bomba de pistões produz uma eficiência maior que a de engrenagens, podendo talvez explicar uma maior velocidade no atuador movido com fluido água.
- A substituição de óleo hidráulico por água é factível, mas ainda necessita que algumas características do sistema à água sejam consideradas, tais como: material de fabricação dos componentes do sistema (válvulas, atuadores, vedações, reservatórios entre outros), utilização de água desmineralizada (retirando os sais responsáveis pelo aceleramento do processo de corrosão), lubrificação entre as partes dos componentes hidráulicos (evitando o aquecimento gerado pelo uso contínuo do sistema), entre outros.
- Fica como sugestão para pesquisas futuras a utilização de água desmineralizada, pois desta forma é retirado os sais responsáveis pelo aceleramento do processo de corrosão, e também realizar a lubrificação entre as partes dos componentes hidráulicos, evitando assim o aquecimento gerado pelo uso contínuo do sistema.

## REFERENCIAS

BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2013. v. 1, 730p.

CONRAD, F. Trends in Design of Water Hydraulics – Motion Control and Open-Ended Solutions. International Symposium on Fluid Power. Tsukuba, Japão. p.420-431, 2005.

FOX, R. W. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2014. v 1, 884p.





HITCHCOX, A. Water Hydraulics: Benefits and Limitations. Magazine Hydraulics & Pneumatics. p.1-5, 2012.

KALIN, M. and VIZINTIN, J. A Comparison of the Tribological Behaviour of Steel/Steel, Steel/DLC and DLC/DLC Contacts when Lubricated with Mineral and Biodegradable Oils. Wear Series, Elsevier Science Publishers, Vol. 261, p. 22-31, 2006.

KOSKINEN, T. K., LEINO, T., and RIIPINEN, H. Sustainable Development with Water Hydraulics – Possibilities and Challenges, International Symposium on Fluid Power. Toyama, Japão. p.11-18, 2008.

KOSKINEN, T. K and AALTONEN, J. Water Hydraulics Pushes Into High-Pressure Systems – Hydraulics e Pneumatics. Finland, 2014.

KRUTZ, G.W. and CHUA, P. S. K., Water Hydraulics – Theory and Applications, Water Hydraulics – Theory and Applications, Agricultural Equipment Technology Conference (AEIC), Louisville, Kentucky. p.1-33, 2004.

LINSINGEN I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 5. ed. Ed. Florianópolis: Ufsc, 2016. V. 1, 398p.

MAJDIC, F., PEZDIRNIK, J. and KALIN, M. An Analytical Comparison of Hydraulics Systems Based on Water and on Oil, International Symposium on Fluid Power. Toyama, Japão. p.679-684, 2008.

MAJDIC, F., PEZDIRNIK, J. and KALIN, M. K. Experimental Validation of a Lifetime Performance of a Proportional 4/3 Hydraulic Valve Operating in Water, Tribology International, Elsevier Science Publishers, Vol. 44, Vol. 12. p. 2013-20121, 2011.

REZENDE, L. C. É preciso diversificar a matriz energética no Brasil. Canal Jornal da Bioenergia, 2015.

ZHANG, X. WANG, X. LI X. and CHU, X. Study on influence factors of bearing capacity of water-lubricated thrust bearing and its improving methods. Jiamusi, China, 2012.