

ANÁLISE E READEQUAÇÃO DE UNIDADE DE POTÊNCIA E CONDICIONAMENTO HIDRÁULICO PARA BANCADA DE TESTES

Carlos Eduardo Angelo Stoco, du.stocco@gmail.com¹
Vinícius Vígolo, vinicius.vigolo@laship.ufsc.br¹
Felipe Micoski Luz, felipe.m.luz@ufsc.br¹
Marcos Paulo Nostrani, marcos.nostrani@gmail.com¹
Glenda de Melo Luz, glendaluz29@gmail.com¹
Victor Juliano De Negri, victor.de.negri@ufsc.br¹

¹UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitario EMC-CTC, Bairro Trindade, Caixa-postal: 476, 88040-900 - Florianópolis, SC – Brasil

Resumo. *O presente artigo trata a análise e readequação de uma unidade de potência e condicionamento hidráulico disponível no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos (LASHIP), a qual é destinada para a geração e controle de forças para atuadores lineares. Existem diversas vantagens no uso de sistemas hidráulicos, tais como elevada relação de potência/peso, boa flexibilidade associada com elevada robustez, fazendo com que esta tecnologia seja encontrada nos diversos setores industriais e também na academia e institutos de pesquisa. Assim, apresentam-se os requisitos da bancada de testes, os quais servirão de base para o dimensionamento dos componentes conforme a literatura. Com base nos resultados obtidos com o dimensionamento, é identificado que a Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH), presente no LASHIP, é capaz de atender os requisitos da bancada. Além do mais, os resultados deste trabalho incluem um diagrama hidráulico do sistema desenvolvido, simulações dinâmicas realizadas no software Hopsan, que servirão como base para aferição da capacidade do sistema desenvolvido em atender os requisitos de projeto, e também uma modelagem em SolidWorks das readequações realizadas, possibilitando uma maior assertividade durante a etapa de instalação e montagem.*

Palavras chave: *Sistemas Hidráulicos. Unidade Hidráulica. Readequação*

Abstract. *This paper presents the analysis and readjustment of a hydraulic power unit available at the Laboratory of Hydraulic and Pneumatic Systems (LASHIP), which is used for the generation and control of forces for linear actuators. There are several advantages by using hydraulic systems, such as high power/weight ratio, and good flexibility associated with high robustness, making this technology present in many industrial sectors, and also in academia, and research institutes. Therefore, the requirements of the test bench are presented, which will serve as a basis for the dimensioning of the components according to the literature. Based on the results obtained with the sizing, it is identified that the Conditioning Hydraulic Power Unit (UPCH), present in LASHIP, is capable of solving the bench's requirements. Furthermore, the results of this work include a hydraulic diagram of the developed system, dynamic simulations performed in the Hopsan software, which will serve as a basis for gauging the capacity of the developed system to meet the design requirements, and also a SolidWorks modeling of the developed readjustments, allowing greater assertiveness during the installation and assembly stage.*

Keywords: *hydraulic systems, hydraulic unit, readjustment*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a análise e readequação de uma unidade de potência e condicionamento hidráulico (UPCH) para uma bancada de testes destinada à geração e controle de forças de cargas para atuadores lineares. Sistemas hidráulicos são conhecidos por sua elevada relação de potência/peso e boa flexibilidade associada com elevada robustez (Andrade 2021, Achten 2010). Tais características fazem com que seu uso seja preferível em detrimento às demais tecnologias presentes no mercado, tais como os atuadores elétricos e pneumáticos. Desta forma, é comum que esta tecnologia seja amplamente utilizada no setor industrial, em aplicações como indústria do petróleo e gás (Mattos e Born, 2019), descarga de grãos (Figueiredo, 2018) e usinas fotovoltaicas (Andrade, 2021).

Baseado no trabalho de Fialho (2003) e Palmieri (1997), circuitos hidráulicos são divididos em três partes (geração, distribuição e controle e aplicação de energia). O sistema de geração inclui reservatório, filtro, bombas, motores e

acumuladores. O sistema de distribuição e controle inclui válvulas direcionais, controladores de vazão e pressão. O sistema de aplicação de energia inclui cilindros, motores hidráulicos e osciladores. Os sistemas hidráulicos podem ainda ser classificados de acordo com o tipo de aplicação (sistemas de pressão contínua ou intermitente), quanto ao tipo de bomba (sistemas de vazão constante ou variável) e quanto ao controle de direção.

O uso de sistemas hidráulicos é, também, bastante difundido nos setores acadêmicos e de pesquisa e desenvolvimento. Nestes casos, têm aplicações voltadas para a geração de forças de cargas em ambientes controlados frequentemente utilizam a tecnologia hidráulica, como em Ledezma (2018), onde foi desenvolvido um sistema de controle de forças utilizando um atuador hidráulico que se beneficia da complacência das mangueiras hidráulicas. Já em Nostrani (2020), foi utilizado um sistema hidráulico para emular os esforços produzidos pela ação do vento em aerogeradores.

Durante o projeto de P&D ANEEL PD-00387-0117, foi desenvolvida uma de bancada testes denominada de Plataforma de Carregamento Dinâmico (PCD), ilustrada na Figura. 1, a qual possibilita a execução de testes experimentais, com cargas controladas, em atuadores hidráulicos e pneumáticos. A força de carga é gerada por meio de um atuador hidráulico conectado à uma válvula proporcional redutora de pressão, permitindo o valor da força de carga seja ajustado por meio de um controlador digital.



Figura 1. Bancada de testes denominada de Plataforma de Carregamento Dinâmico (Dos autores)

Dentro deste contexto, este artigo tem o objetivo de apresentar o processo de dimensionamento dos componentes de uma unidade de potência e condicionamento hidráulico para a bancada PCD. Além disso, resultados de simulações dinâmicas são apresentadas de modo a verificar a capacidade da unidade hidráulica de atender os requisitos da aplicação resistentes. Assim, a Seção 2 apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento desse trabalho, a Seção 3 apresenta os resultados obtidos a partir de cálculos, e por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões do presente trabalho.

2. METODOLOGIA

O processo de dimensionamento da unidade de potência e condicionamento hidráulico foi conduzido baseado nos métodos de Fialho (2003). Inicialmente, serão apresentados os requisitos da bancada de testes, os quais servirão de base para o dimensionamento dos componentes.

Tabela 1. Requisitos da bancada de testes

Requisitos
Fornecer uma pressão adequada para uma força de 250 kN
Velocidade de deslocamento do atuador de 35 mm/s
Tempo de operação contínua de 5 horas
Possibilidade de <i>shut off</i> (fechamento) das pressões de suprimento do atuador hidráulico
Perda de carga nas válvulas de controle de 5 bar com vazão de 60 Lpm

Os requisitos apresentados na Tabela 1 devem ser atendidos para o atuador hidráulico presente na bancada PCD, este atuador possui diâmetro de êmbolo de 200 mm, a haste com diâmetro 90 mm e curso total de 400 mm.

Conforme Fialho (2003), sabendo-se a pressão com qual o fluido encontra-se confinado nas câmaras do atuador, é possível encontrar a força necessária para manter o sistema em equilíbrio. Para isso será utilizada a Equação 1, onde p é a pressão na câmara em Pa, F é a força exercida pela carga em N e A é a área do pistão em m^2 . Calcula-se também a vazão máxima Q_a requerida pelo atuador, em que v_a é a velocidade de deslocamento do mesmo e Aa é a área do êmbolo.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{250000}{0,031416 - 0,006362} = 9978366,34 \text{ N/m}^2 = 99,78 \text{ bar} \quad (1)$$

$$Q_a = v_a \cdot Aa = 0,035 \cdot 0,031416 = 0,0011 \text{ m}^3/\text{s} = 65,97 \text{ Lpm} \quad (2)$$

Tendo em vista que a vazão requerida pelo atuador é de 65,97 Lpm, foi assumido um valor de 50 Lpm (Q_b) para a bomba hidráulica, pois está previsto a utilização de um acumulador hidráulico como uma fonte de energia auxiliar e amortecedor de picos de pressão. Neste caso, o acumulador será dimensionado de modo a compensar essa diferença de vazão entre requerido pelo atuador e a fornecida pela bomba.

Considerando que os motores elétricos de 4 polos possuem rotação nominal de 1760 rpm, calcula-se o deslocamento volumétrico da bomba hidráulica. A eficiência volumétrica pode ser estimada em 92% (Fialho, 2003). Em sequência, são calculados o volume de absorção V_g e a potência absorvida N , em que η é a rotação nominal, η_v é o rendimento volumétrico e η_t é o rendimento total.

$$V_g = \frac{1000 \cdot Q_b}{\eta \cdot \eta_v} = \frac{1000 \cdot 50}{1760 \cdot 0,92} = 30,88 \text{ cm}^3/\text{rot} \quad (3)$$

$$N = \frac{Q_b \cdot \Delta p}{600 \cdot \eta_t} = \frac{50 \cdot 99,78}{600 \cdot 0,736} = 11,30 \text{ kW} \quad (4)$$

Além disso, para o dimensionamento das tubulações é necessário encontrar a velocidade recomendada através da Equação 5. Dessa forma, encontra-se o diâmetro mínimo d_t necessário para a tubulação.

$$v = 121,65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} = 491,10 \text{ cm/s} \quad (5)$$

$$d_t = \sqrt{\frac{Q_b}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{50}{0,015 \cdot \pi \cdot 491,10}} = 1,69 \text{ cm} \quad (6)$$

Como uma solução para o armazenamento de fluidos considerados como incompressíveis sob pressão, foram desenvolvidos os acumuladores. Nesse sentido, realiza-se o dimensionamento deste item para o projeto. A vazão necessária para o sistema é 65.97 Lpm, entretanto, foi considerado uma bomba comercial com vazão máxima de 50 Lpm. Como o curso total do atuador é de 400mm e a expectativa é que ele se mova com 35 mm/s. Logo, o tempo de duração de um curso completo é 11.42 segundos (0.19 minutos), ou seja, o sistema irá demandar durante 0.19 minutos uma vazão de 65.97 Lpm. Porém, a bomba só consegue suprir 50 Lpm, faltando 3.04 L que devem ser supridos pelo acumulador. Para determinar o tempo de descarga do acumulador, considera-se um movimento de avanço completo do cilindro, logo, o tempo de descarga estimado é 11,42 segundos. Para o tempo de carregamento do acumulador, considera-se que após o cilindro chegar no final de curso, a bomba realiza o carregamento do mesmo, sem a movimentação do cilindro. Nesse caso, é necessário carregar 3,04 litros (ΔV) e a bomba opera com 50 Lpm, então, o tempo de carga é 3,64 segundos.

$$K = \frac{\left(\frac{p_3}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} - 1}{\left(\frac{p_3}{p_2}\right)^{\frac{1}{m}}} = \frac{(1,05)^{\frac{1}{1,55}} - 1}{(1,05)^{\frac{1}{1,60}}} = 0,03258 \quad (7)$$

$$V_1 = \frac{\Delta V}{Z \cdot \eta \cdot K} = \frac{3,04}{0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,03258} = 115,54 \text{ L} \quad (8)$$

Com isso, chega-se ao volume necessário para que o acumulador consiga manter a pressão de operação dentro dos limites estabelecidos de variação de pressão p_3 e p_2 (100 e 95 bar). Ademais, K é o coeficiente da descarga do acumulador, η é a eficiência do acumulador n é o coeficiente politrópico para descarga, m para coeficiente politrópico para carga e Z é a razão entre as pressões. Neste caso, o volume necessário será de 115,54 L e será utilizado um acumulador de bexiga, visto que ele é mais utilizado para este tipo de aplicação (Fialho, 2003)

Tendo em vista que o sistema hidráulico trabalha com forças muito elevadas e com um sistema ativo de controle de forças, é primordial incluir a capacidade de parar esse sistema de forma instantânea em condições de emergência. Com base nisso, são projetadas válvulas *Shut off* em um mecanismo de parada de emergência sem que haja necessidade de energia elétrica. Ao suspender a alimentação, as válvulas voltam para seu estado natural, com isso cessa a fonte de pressão do atuador hidráulico. Elas são posicionadas entre as câmaras do atuador e a linha de suprimento, e o dimensionamento

das mesmas foi realizado com base na máxima variação de pressão assumida no sistema. Com isso, observou-se que válvulas do tipo TN10, de 5 vias 3 posições, com centro fechado (curva 1), possuem perda de carga da ordem de 2,5 bar para vazões de 65 Lpm, sendo este, um modelo adequado para ser utilizado como válvula de segurança, ver Figura 2.

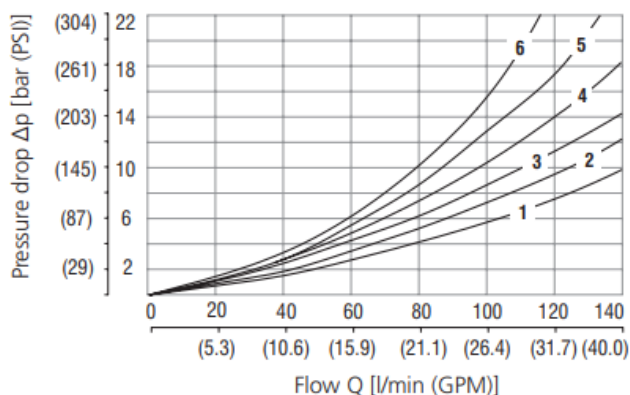


Figura 2. Queda de pressão relacionada à taxa de fluxo (Argohtys, 2021)

3. RESULTADOS

Com base nas equações descritas na metodologia e seus resultados, foi identificado que a Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH), presente no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos (LASHIP) da UFSC é capaz de atender os requisitos da bancada PCD. Porém, de modo a garantir o correto funcionamento do sistema, faz-se necessária a readequação da UPCH, incluindo a instalação de tubulações e das válvulas de emergência.

Desta forma, é realizado um diagrama hidráulico (Figura 3) que representa as soluções para os requisitos apresentados. Além disso, realizou-se modelagens no software SolidWorks para auxiliar na montagem dos itens comprados para a readequação (Figura 4). Foram realizadas simulações computacionais no software Hopsan (Figura 5), as quais ilustram a variação de pressão no acumulador e velocidade e posição do atuador. Ademais, simulam-se as pressões nas vias da válvula 1V1 e 1V2 (Figura 7).

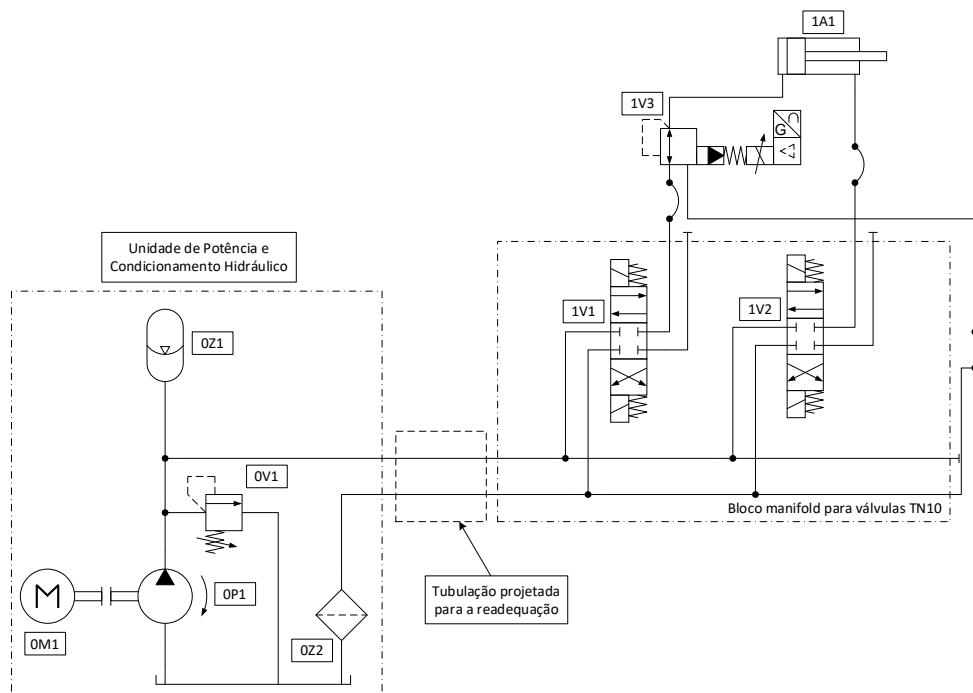


Figura 3. Diagrama hidráulico para os requisitos apresentados (Dos autores)

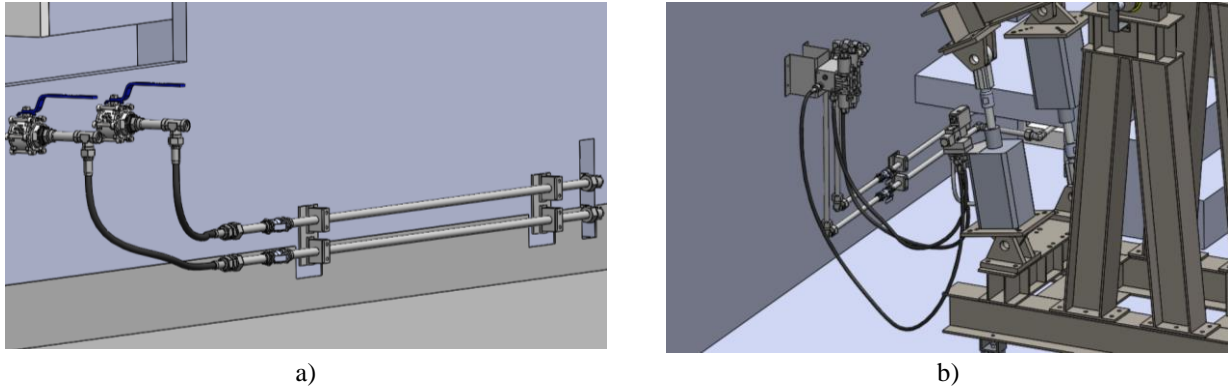


Figura 4. a) Montagem das linhas de suprimento e retorno b) Montagem do atuador e válvulas (Dos autores)

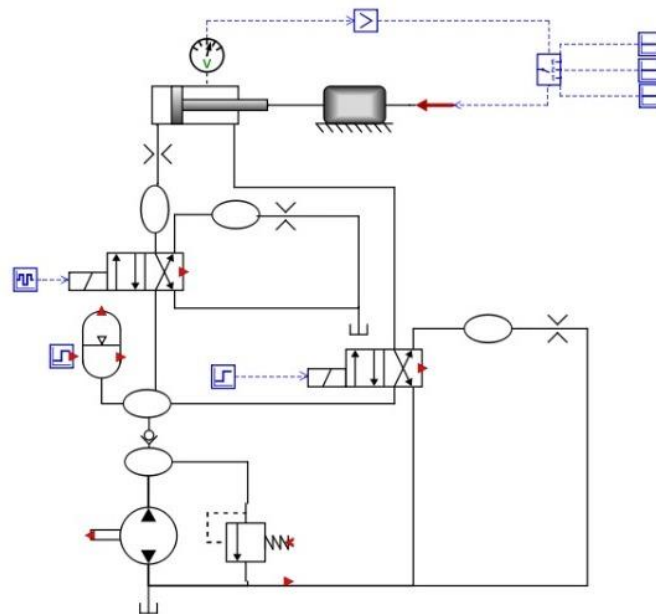


Figura 5. Diagrama do circuito hidráulico no software Hopsan (Dos autores)

Na sequência, serão apresentados os resultados das simulações realizadas. Foi aplicado uma força constante de 250 kN para os movimentos de avanço e 60 kN para os movimentos de retorno. Durante as simulações, a válvula 1V2 permaneceu em sua posição “cruzada”, ou seja, sempre conectando a câmara B do atuador com a reservatório da UPCH. Já a válvula 1V1 foi utilizada para realizar o controle de avanço e retorno do atuador, conectando a pressão de suprimento para a câmara A (avanço) ou então, o reservatório com a câmara A (retorno). Destaca-se que neste caso, o retorno do atuador só foi possível devido à força atuante na haste do cilindro, sendo esta, uma condição prevista durante os experimentos a serem realizados com a bancada de teste.

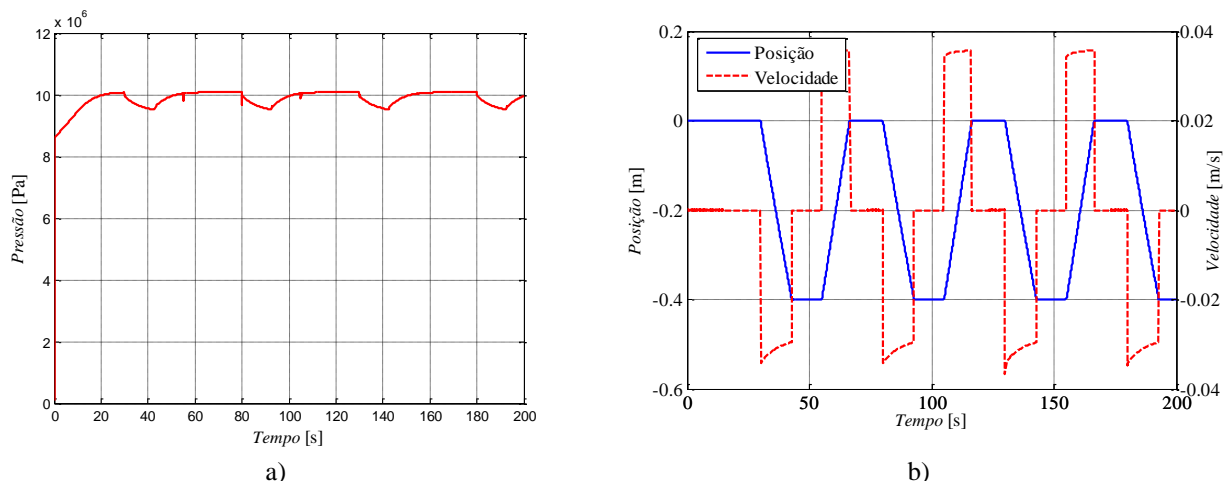


Figura 6. a) Variação da pressão no acumulador; b) Posição e velocidade do atuador (Dos autores)

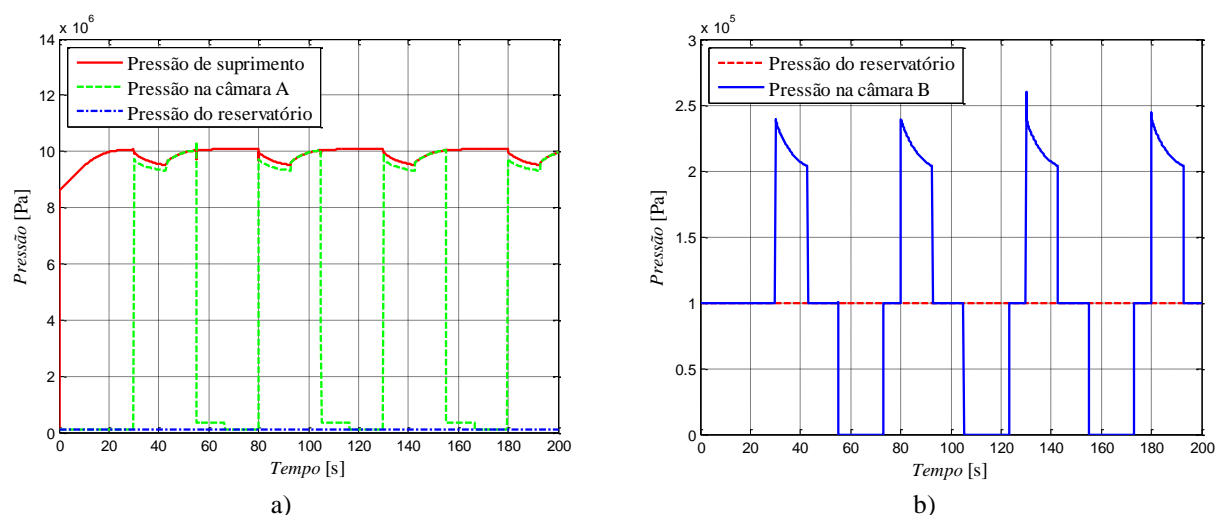


Figura 7. a) Pressões nas vias da válvula 1V1; b) Pressão nas vias da válvula 1V2 (Dos autores)

Como pode ser observado na Figura 6-b, os movimentos de avanço e recuo ocorreram em velocidades médias de, aproximadamente, 35 mm/s, de acordo com o estabelecido na lista de requisitos de projeto (Tabela 1). Além disso, a pressão do acumulador (Figura 6-a) apresentou uma variação menor que 5 bar durante os ciclos de operação, demonstrando que o dimensionamento realizado para o acumulador está coerente. Por fim, a análise das pressões a montante e jusante das válvulas direcionais 1V1 (Figuras 6-c) e 1V2 (Figuras 6-d) demonstrou que a queda de pressão esperada em cada válvula será, aproximadamente, 2,4 bar, atendendo ao requisito estabelecido pela Tabela 1 e confirmando a correta seleção destes componentes.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que a UPOCH presente no LASHIP possui capacidade para atender as condições de operação da bancada de testes PCD, uma vez que a readequação é realizada. As análises por meio de simulações computacionais garantem que a variação de pressão no acumulador não ultrapasse 5 bar. Do mesmo modo, as pressões nas vias das válvulas estão de acordo com os requisitos de projeto e o atuador desloca-se conforme o esperado. Estas simulações são efetuadas de modo a fornecer uma validação dos resultados obtidos pelos dimensionamentos dos componentes do sistema hidráulico. Outrossim, ao escolher os itens para compra, o software Solidworks torna-se uma ferramenta útil para a montagem dos itens e a manipulação do espaço disponível no laboratório. Dessa forma, garante-se a execução de testes experimentais, com cargas controladas, em atuadores hidráulicos e pneumáticos.

5. REFERÊNCIAS

- Achten, P., 2010. “Convicted to Innovation in Fluid Power”.; Vol. 224, n. 6, p. 619–621.
- Argohyos, 2021. “Catálogo de Produtos”. 18 Feb. 2022 <https://www.argohyos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_RPE4-10_ha4039_EN.pdf>.
- Andrade, R. B., 2021. “Estudo de viabilidade de utilização de um sistema hidráulico para controlar a posição de um conjunto de placas fotovoltaicas”.
- Fialho, A. B., 2003. “Automação hidráulica – Projetos, dimensionamento e análise de circuitos”.
- Figueiredo, J. L. F. DE.; 2018. “Avaliação da eficiência energética de uma bomba hidráulica utilizada em uma plataforma de descarga de grãos”.
- Ledezma Perez, J. A., De Pieri, E. R. e De Negri, V. J., 2018. “Force Control of Hydraulic Actuators using Additional Hydraulic Compliance”. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 64(10).
- Mattos, C. F.; Born, R. M., 2019. “Projeto Bloco Manofolf 15 mil psi”. *Revista Dissertar*, v. 1, n. 33, 4 dez.
- Nostrani, M. P., Gonzalez, F. E. e De Negri, V. J., 2020. “Analysis and emulation of pitch control forces in wind turbines”. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(5), 1-15.
- Palmieri, A. C., 1997. “Manual de hidráulica básica. Porto Alegre: Albarus sistemas hidráulicos Ltda”.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.