

## BANCADA DIDÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA DE BOMBAS DE ENGRENAGENS COM AUXÍLIO DO SOFTWARE LABVIEW

**Laís Marcos Lopes<sup>1</sup>, Leandro Watekemper<sup>2</sup>, Richard de Medeiros Castro<sup>3</sup>, Luiz Fernando Inácio<sup>4</sup>, Irene Mercado Barrios<sup>5</sup>, Elvys Isaías Mercado Curi<sup>6</sup>**

<sup>(1,4,5)</sup> Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica e Elétrica da Faculdade SATC.

<sup>(2)</sup> Acadêmico de Tecnologia em Automação Industrial da Faculdade SATC.

<sup>(3)</sup> Mestre em Engenharia de Materiais e de Mecatrônica, Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos (LASPHI), Faculdade SATC. [richard.castro@satc.edu.br](mailto:richard.castro@satc.edu.br)

<sup>(6)</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, professor da Faculdade SATC; Criciúma-SC.

**Resumo:** Bombas de engrenagens externas são máquinas de deslocamento positivo de baixo custo e amplamente utilizadas em aplicações industrial e móbil. Hoje em dia, a eficiência global representa um aspecto muito importante a ser considerado na concepção de uma máquina hidráulica e muitas vezes esse conceito de eficiência é de difícil entendimento no meio acadêmico. Por esta razão, foi desenvolvida uma bancada didática de testes para correlacionar as variáveis de influência durante algumas condições de operação da bomba, facilitando assim a percepção deste conceito. A partir de modelos matemáticos da literatura científica, os resultados foram comparados com os dados experimentais. Esses dados foram obtidos através da instalação de sensores para medir determinadas grandezas físicas, tais como, temperatura, vazão instantânea e pressão, auxiliados por um sistema de aquisição de dados, onde se utilizou o software LabVIEW® e posteriormente o Excel® para tratamento dos dados. Ao final, com os dados provenientes da investigação experimental, foi possível identificar que a bancada de teste é um instrumento importante para a avaliação do conceito da eficiência volumétrica, entre outros parâmetros. Percebe-se que sensores de corrente possam ser ainda implementados em cada fase do motor elétrico, para a medição de indireta de torque do acionamento. Essa medição é importante, pois auxiliariam nos resultados da eficiência mecânica e global da unidade de potência hidráulica, gerando os pontos necessários para a elaboração das curvas características da bomba hidráulica.

**Palavras-Chave:** Bombas de engrenagem, eficiência volumétrica, software LabVIEW.

### 1 INTRODUÇÃO

Vários estudos sobre técnicas para efetuar a medição do rendimento de bombas hidrostáticas e/ou engrenagens têm sido apresentados. Contudo, a grande maioria deste comércio propõe equipamentos de medição com custo elevado, que dificulta sua aquisição para os laboratórios didáticos, trazendo consequentemente um prejuízo ao conhecimento dos acadêmicos que ali estão inseridos.

O desempenho de uma bomba hidráulica de engrenagens está diretamente relacionado com a exatidão de fabricação e fatores operacionais do sistema, como pressão de trabalho, temperatura do fluido e rotação de acionamento. Segundo Linsingen (2013), estes dois fatores estão relacionados de tal maneira, que para determinar as condições reais de funcionamento da bomba, é necessário preestabelecer os valores das variáveis operacionais do sistema.

Linsingen (2013) descreve que as perdas volumétricas de uma bomba hidráulica de engrenagens, ocorrem também devido à existência de folgas entre peças móveis, de diferenças de pressão e também da rotação. Alguns autores consideram ainda que o efeito de cavitação e aeração pode contribuir também na geração de perdas de fluxo hidráulico (WARRING, 1983)<sup>1</sup>.

Assim como qualquer outro equipamento hidráulico, as bombas de engrenagens também prescindem de uma série de cuidados, pois a contaminação do fluido hidráulico, a cavitação, a sobre pressão imposta ao componente e as falhas na sua fabricação deterioram prematuramente este componente (AMORIM, 2004).

As bombas de engrenagem externa, de certa forma, são simples quando comparadas a outros modelos de bombas, como de pistão e de palhetas. Logo, têm um custo menor de fabricação. Entretanto, o custo de máquinas paradas ou baixo rendimento de trabalho é normalmente superior ao da própria bomba. Por isso é importante o uso de ferramentas que permitam avaliar as características principais desse componente para uma correta seleção ou ainda, prever o fim da vida do componente (LANA, 2005).

Diante dessas informações, este trabalho tem como objetivo apresentar uma bancada didática de testes para analisar a eficiência volumétrica de bombas de engrenagens, dando ênfase na instrumentação onde o programa desenvolvido traz uma interface de fácil entendimento e operação, buscando trazer todas as informações desejadas para a interpretação dos resultados. Para a obtenção dos resultados, foi instalado na bancada sensores de temperatura, pressão e vazão.

As leituras dos sensores foram automatizadas através dos módulos didáticos National Instruments (NI), que possuem um ambiente de programação voltado ao desenvolvimento de aplicações, baseado em instrumentação virtual, que permite ao usuário um rápido avanço tecnológico (INSTRUMENTS, 2006a). Além disso, o *software* utilizado, denominado LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), possui uma estrutura de programação hierárquica e orientada pelo fluxo de dados, tornando simples a implementação de sistemas complexos, unindo todo sistema de aquisição de dados, instrumentação e o controle de equipamentos através de um PC (INSTRUMENTS, 2006; 2003a).

## 2 METODOLOGIA

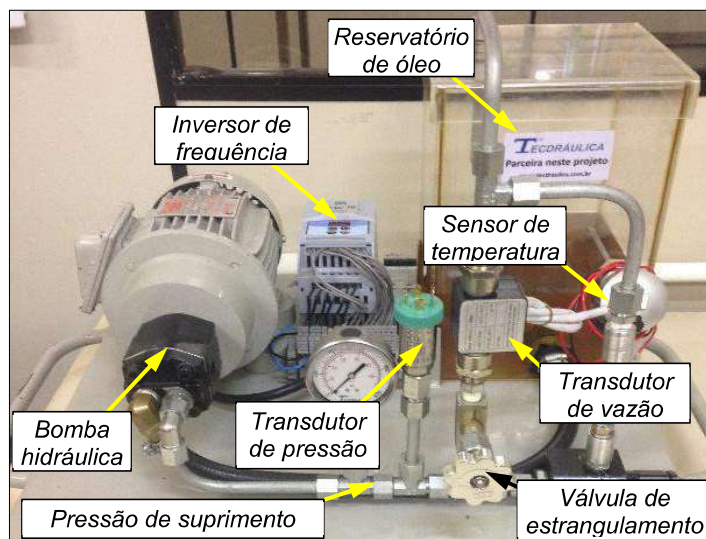
Para análise das variáveis sobre o comportamento da bomba, foi desenvolvida uma bancada didática de testes, constituída pelos principais componentes mecânicos: um motor elétrico, um reservatório para o alojamento do óleo e uma bomba de engrenagem, que é o principal componente deste estudo. A finalidade da bancada é realizar a aquisição de dados através de um *software* elaborado no ambiente do LabVIEW®, onde este adquire sinais com auxílio dos sensores e transdutores eletrônicos instalados na bancada.

---

*Cavitação: formação de cavidades (bolhas de vapor ou de gás) num líquido por efeito de uma redução da pressão total. Pode ocorrer no uso de bombas hidráulicas ou turbinas. Aeração: é o fenômeno relacionado com ar existente no fluido hidráulico.*

A Figura 1 apresenta a bancada didática desenvolvida para análise dos parâmetros mencionados.

**Figura 1:** Bancada didática



Fonte: do autor (2016)

A bancada tem como princípio a medição da vazão instantânea, feita por um transdutor de vazão, instalado na linha da pressão de suprimento do circuito. Esse transdutor tem seu princípio de funcionamento baseado na contagem de pulso, que logo é convertido em deslocamento por rotação de fluido e, posteriormente, em vazão. A bancada também é composta por um transdutor de pressão e um sensor de temperatura, além de um manômetro para um comparativo dos resultados de pressão.

A bomba hidráulica utilizada possui em projeto no seu rendimento máximo, uma vazão teórica de aproximadamente 2,1 LPM (litros por minuto). Com uma estrutura adaptada e preparada para a realização dos testes, a bomba é submetida à elevação de pressão, simulada através da válvula de estrangulamento. O objetivo deste teste é fazer com que a vazão instantânea possa ser medida na saída da bomba, permitindo obter o valor do rendimento volumétrico através da Equação 1, 2 e 3.

Durante os testes realizados é possível obter em tempo real na tela do computador, os valores das três grandezas citadas. De acordo com cada pressão aplicada, tem-se o rendimento volumétrico através do sinal adquirido pelo transdutor de vazão, onde este informa o fluxo de óleo instantâneo.

Para obter de forma quantitativa o desempenho da bomba hidráulica, foram inseridos no *software* alguns modelos matemáticos da literatura científica, onde estes foram fundamentais para a análise e a interpretação dos resultados. Contudo, esses modelos desconsideram perdas por vazamentos devido à cavitação e aeração.

Como os dados do deslocamento da bomba e a rotação do motor elétrico, foram utilizadas as equações 1 e 2 para obter a vazão teórica e efetiva da bomba.

$$Q_{Ve} = Q_{Vtc} - Q_f \quad (1) \quad \text{e} \quad Q_{Vtc} = 2\pi D_{tc} \cdot n \quad (2)$$

Sendo,  $(Q_{Ve})$  a vazão efetiva na saída da bomba [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $(Q_{Vtc})$  a vazão teórica [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $(Q_f)$  a vazão de fuga interna da bomba [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $(n)$  a frequência de rotação da bomba [rps] e  $(\omega = 2\pi D_{tc})$  é a velocidade angular da bomba [rad/s], em que  $D_{tc}$  é o volume geométrico da bomba ( $\text{m}^3/\text{rot.}$ ).

A partir destas definições, o rendimento volumétrico da bomba hidráulica de engrenagem foi determinado através da relação entre a vazão calculada e a vazão efetiva da bomba, conforme Equação (3).

$$\eta_v = \frac{Q_{Ve}}{Q_{Vtc}} = 1 - \frac{Q_f}{Q_{tb}} \quad (3)$$

Sendo,  $(Q_f)$  e  $(Q_{tb})$  a definição da vazão de fuga e a teórica obtida para a bomba hidráulica, respectivamente.

Segundo Lana (2005), o fluido hidráulico utilizado em uma bomba hidráulica é portador de informações térmicas relacionadas à operação desta e, sendo assim, é coerente pensar em relacionar a medição da temperatura do fluido ao rendimento da bomba hidráulica. Ainda segundo o autor, com o aumento da pressão e da temperatura, o rendimento volumétrico diminui devido ao vazamento interno, comumente denominado pela literatura de vazão de fuga.

Na Equação (4), é possível verificar que quanto maior a diferença de pressão do sistema, maior é a vazão de fuga  $(Q_f)$  e, logo, menor será o rendimento volumétrico.

$$Q_f = \frac{\pi D f_r^3}{12 \mu l} (p_1 - p_2) \quad (4)$$

Sendo,  $(\mu)$  a viscosidade dinâmica do óleo [ $\text{kg}/\text{m.s}$ ],  $(p_1)$  a pressão da câmara de saída [ $\text{N}/\text{m}^2$ ],  $(p_2)$  a pressão da câmara de entrada [ $\text{N}/\text{m}^2$ ],  $(l)$  a largura da engrenagem [m] e  $(f_r)$  é a folga entre a lateral das engrenagens e as placas de compensação [m].

## 2.1 Desenvolvimento do sistema de aquisição e supervisão dos dados

O aparato experimental utilizado para realizar todo o processo de medição e que serviu para integrar ao sistema de supervisão e aquisição de dados foi desenvolvido, integrando a este os componentes apresentados conforme Figura 2.

**Figura 2:** Diagrama de blocos do sistema de supervisão e aquisição de dados

Fonte: do autor (2016)

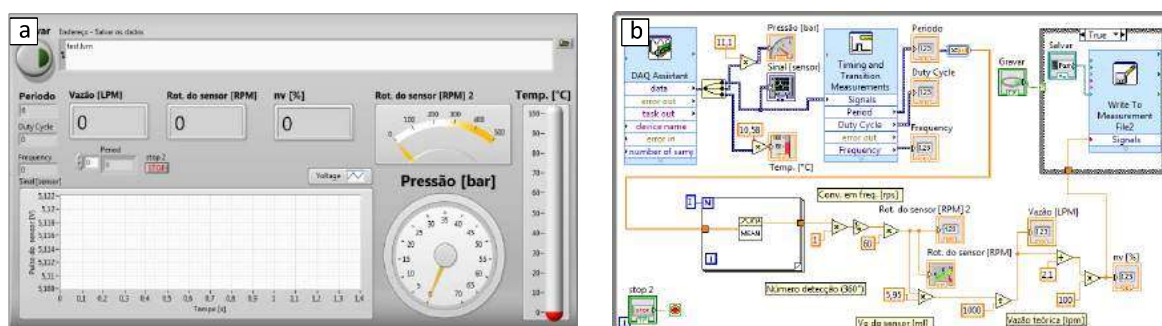
Através da Figura 2, são apresentados os principais componentes empregados no sistema de aquisição, onde se utilizou de uma placa de aquisição de dados portátil modelo USB-6002, fabricada pela National Instruments (NI). As características dos transdutores utilizados na bancada são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Características gerais dos transdutores

| Transdutores | Descrição técnica dos transdutores                                    |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Vazão        | Tipo engrenagem oval – saída digital em pulso, mod. OF05ZAT (AICHI)   |
| Pressão      | Princípio resistivo. Saída analógica (0 a 10 VCC) modelo. TK (GEFRAN) |
| Temperatura  | Tipo PT100 (faixa de -15 a 150 °C) modelo                             |

Fonte: do autor (2016)

A partir do conhecimento dos blocos funcionais do LabVIEW e do seu método de programação, além dos dados que permitem correlacionar as grandezas físicas (pressão, vazão e temperatura), foi possível elaborar um algoritmo que atendesse a necessidade em questão, apresentado conforme Figura 3 (a).

**Figura 3:** Programa desenvolvido. a) Interface gráfica e b) algoritmo de controle - plataforma LabVIEW.

Fonte: do autor (2016)

Por intermédio desse programa (algoritmo de controle), todo processo de aquisição de dados é ativado, em que os dados são adquiridos e armazenados por uma

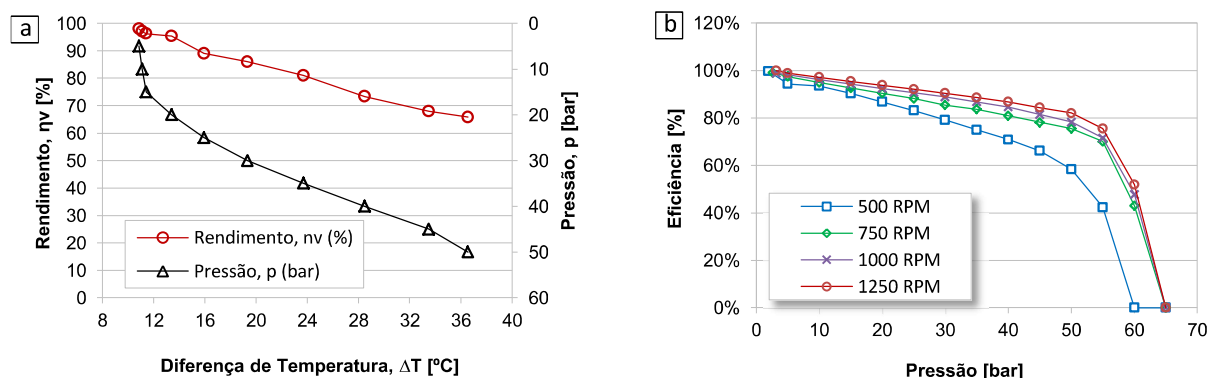
taxa de aquisição que pode ser alterado pelo usuário. O processo é realizado continuamente, sendo as variáveis enviadas para uma interface gráfica e visualizada em tempo real no painel frontal da interface, conforme apresentado na Figura 3 (b).

Para validar o sistema desenvolvido de supervisão e aquisição de dados, e também avaliar o desempenho frente à bancada, foram realizados alguns ensaios para obter as curvas da bomba hidráulica submetida aos testes. Foram realizados testes variando os níveis de pressão a cada 5 bar (5 a 50 bar), além de trabalhar com 4 níveis de rotação do motor elétrico, sendo esses de 500, 750, 1000 e 1250 rpm. Essas variações de pressão e rotação foram realizadas, mediante a recomendação citada por Silva et al. (2011), onde o autor afirma que a eficiência volumétrica também é afetada por essas duas grandezas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aquisição dos dados experimentais, alguns gráficos foram gerados com intuito de validar a bancada de testes, bem como o algoritmo desenvolvido. A seguir são apresentados através da Figura 5, os resultados das variáveis de influência ao rendimento.

**Figura 5:** Sinais adquiridos do rendimento volumétrico por diferentes rotações



Fonte: do autor (2016)

Através da Figura 5(a), percebe-se uma elevação não linear do  $\Delta T$  (°C) para cada aumento de pressão. Segundo Lana (2005), para a maioria dos sistemas hidráulicos, o aumento da temperatura do fluido é determinado principalmente pela transformação de energia em válvulas do circuito, e isso é justificado pelo fato de ter utilizada uma válvula de estrangulamento para simular a elevação da pressão (carregamento) do circuito hidráulico (Figura 1). Ainda através da Figura 5(a), percebe-se

que quanto maior a diferença de pressão, maior será a diferença de temperatura e consequentemente menor será o rendimento, levando-se em consideração que com o aquecimento do óleo, a viscosidade do fluido irá diminuir. Segundo Linsingen (2013), esse aumento de temperatura é justificado pela Equação (5), através da dedução da 1ª lei da termodinâmica, considerando fluidos incompressíveis e corpos rígidos.

$$\Delta T = \frac{p_1 - p_2}{\rho c} \quad (5)$$

Sendo,  $(p_1)$  a pressão de entrada na válvula  $[\text{N/m}^2]$ ,  $(p_2)$  a pressão de saída na válvula  $[\text{N/m}^2]$ ,  $(\rho)$  a massa específica do fluido  $[\text{kg/m}^3]$  e  $(c)$  o calor específico  $\text{J/kg.K}$ .

Na Figura 5(b), identificam-se modificações significativas no rendimento volumétrico, quando a velocidade angular do motor elétrico e as pressões são modificadas. Também se percebe uma tendência de queda do rendimento volumétrico  $(\eta_v)$  para menores rotações. Acredita-se que com menores rotações, não ocorre o efetivo trabalho dos elementos de vedação e mecânicos da bomba, como os mancais flutuantes, ocasionando esse efeito de baixo rendimento.

Ainda na Figura 5(b), é possível identificar que nos níveis de pressão acima de 60 bar, os rendimentos e a vazão instantânea, medida pelo transdutor, praticamente se anulam. Esse fato pode ser explicado pelo fato da abertura da válvula limitadora de pressão ajustada nessa pressão, a fim de garantir a integridade dos componentes da bancada de testes e agir como segurança num todo, considerando que se trata de uma bancada didática de ensino a engenharia.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da bancada didática, conseguiu-se chegar a bons resultados, perceptível pela coerência dos valores experimentais, obtidos estes a partir dos conceitos da metrologia científica e comparados posteriormente à literatura científica da área de sistemas hidráulicos. Também, o desenvolvimento de instrumentação da bancada, bem como todo conjunto utilizado para a aquisição de dados, foi de extrema importância para a obtenção destes resultados. Através deste conceito, juntamente com o *software* Excel®, pode-se identificar algumas variáveis de influência no funcionamento da bomba hidráulica. Além disso, fica como proposta para trabalhos futuros a implantação de sensores de corrente que auxiliariam nos resultados da eficiência mecânica e global da bomba hidráulica, por meio da medição indireta de torque do motor utilizado no acionamento. Por fim, essa concepção de bancada auxiliará os acadêmicos na contextualização das

disciplinas de mecânica dos fluidos, sistemas hidráulicos, bem como de instrumentação, além de servir como ferramenta para a construção do conhecimento nas áreas de tecnologia e formação dos futuros engenheiros.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, J. L. S. **Seminário Técnico Sobre Manutenção Preditiva e Proativa de Equipamentos Hidráulicos**. TCT – Treinamento e consultoria técnica, 2004. 178p. (Apostila do seminário)

LANA, Eduardo Dalla. **Avaliação do Rendimento de Bombas Hidráulicas de Engrenagens Externas Através de Medição de Temperatura**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Ed. UFSC, 2005.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 1º. Ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 2013.

INSTRUMENTS, N., 2007a. **National Instruments Brasil: Sobre a National Instruments**. Disponível em: <http://www.ni.com/brazil>. Acesso em: 05 mai. 2016.

INSTRUMENTS, N., 2003a. **LabVIEW: User Manual**. Disponível em: <http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2016.

INSTRUMENTS, N., 2003b. **LabVIEW: Getting Started with LabVIEW**. Disponível em: [http://www.sfu.ca/phys/231/063/data\\_sheets/LabView%20tutorial.pdf](http://www.sfu.ca/phys/231/063/data_sheets/LabView%20tutorial.pdf). Acesso em: 26 abr. 2016.

WARRING, Ronald Horace. **Hydraulic Handbook**, 8ª ed. Morden / Surrey – England, 1983.