

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE MOTO-BOMBAS CENTRÍFUGAS EM PARALELO

PÂMELA JOANA DE JESUS SILVA¹, LUIS FELIPE VELLOSO SANTOS², KEDMA TAVARES COSTA³ e MYLLENA SOUZA DE JESUS⁴

¹Graduanda em Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista, pamella.joana@gmail.com;

²Graduando em Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista, filipevellosote@gmail.com;

³Graduanda em Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista, kedmatc@outlook.com;

⁴Graduanda em Engenharia Civil, IFBA, Vitória da Conquista, myllena.souza.21232123@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 à 9 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo experimental sobre o funcionamento de um sistema hidráulico composto por moto-bombas centrífugas operando em paralelo. O objetivo principal foi analisar o comportamento do sistema e identificar o ponto de operação a partir da interseção entre a curva do sistema e as curvas características das bombas. Durante os ensaios em bancada, foram consideradas as perdas de carga linear e localizadas, esta última calculada com base no método do fator k. Também foram levadas em conta as perdas por reduções de diâmetro nas tubulações de sucção e recalque. As curvas características das bombas, tanto isoladas quanto em operação conjunta, foram determinadas por meio de medições de vazão e pressão através de fluxímetros instalados no sistema e manômetros. O estudo destacou vantagens importantes desta configuração, como maior flexibilidade de operação, maior confiabilidade do sistema e facilidade de manutenção. A proposta contribui para o aprofundamento do conhecimento em hidráulica aplicada, especialmente no que se refere ao dimensionamento e análise de sistemas com bombas em paralelo, sendo relevante para áreas como engenharia civil, saneamento e abastecimento de água.

Palavras-chave: Moto-bombas centrífugas, perdas de carga, bombas em paralelo, ponto de operação, sistemas hidráulicos.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE HYDRAULIC BEHAVIOR OF MOTORIZED CENTRIFUGAL PUMPS IN PARALLEL

ABSTRACT: This paper presents an experimental study on the operation of a hydraulic system composed of centrifugal motor pumps operating in parallel. The main objective was to analyze the behavior of the system and identify the operating point from the intersection between the system curve and the characteristic curves of the pumps. During bench testing, linear and localized pressure losses were considered, the latter calculated based on the k-factor method. Losses due to diameter reductions in the suction and discharge pipes were also taken into account. The characteristic curves of the pumps, both isolated and in joint operation, were determined by measuring flow and pressure using flow meters installed in the system and pressure gauges. The study highlighted important advantages of this configuration, such as greater operational flexibility, greater system reliability, and ease of maintenance. The proposal contributes to the advancement of knowledge in applied hydraulics, especially with regard to the design and analysis of systems with parallel pumps, and is relevant to areas such as civil engineering, sanitation, and water supply.

Keywords: Centrifugal motor pumps, pressure losses, parallel pumps, operating point, hydraulic systems.

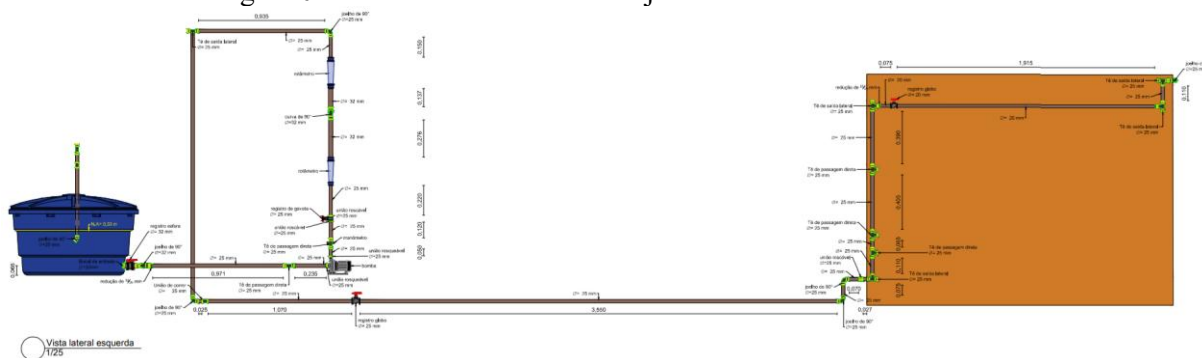
1. INTRODUÇÃO

Este estudo experimental avaliou o desempenho de duas bombas centrífugas operando em paralelo para determinar o ponto de operação do sistema. A pesquisa confirmou que a configuração em paralelo aumenta a vazão total e oferece maior confiabilidade e flexibilidade operacional. A análise de perdas de carga e o cálculo de NPSH garantiram a precisão dos resultados e a ausência de cavitação. O trabalho reforça a importância da análise experimental para a compreensão de sistemas hidráulicos, integrando teoria e prática.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido para avaliar o desempenho de duas bombas centrífugas operando em paralelo e determinar o ponto de operação do sistema. Para isso, o projeto levou em consideração as perdas de carga lineares e localizadas. O projeto do sistema foi representado no documento através da Figura 01, que detalha o conjunto motor-bomba e a estrutura de tubulação utilizada para o estudo experimental. O esquema mostra a configuração de um sistema hidráulico com duas bombas centrífugas operando em paralelo. A imagem ilustra o posicionamento das bombas, os reservatórios e a rede de tubulação, incluindo as conexões, válvulas e as diferentes seções com diâmetros de 20 mm, 25 mm e 32 mm.

Figura 01: Dimensionamento do conjunto motor- bomba e sistema



Autor: Autoria própria

A perda de carga linear, ou distribuída, é a redução de energia em um fluido devido ao atrito com as paredes internas da tubulação. Para quantificá-la, foi utilizada a equação de Darcy-Weisbach.

O procedimento iniciou com o cálculo da velocidade do fluido para seis vazões distintas, considerando as variações de diâmetro da tubulação (20 mm, 25 mm e 32 mm). Em seguida, o número de Reynolds foi calculado para cada ponto. O escoamento mostrou-se turbulento em todos os casos ($Re > 4000$), o que exigiu a utilização da fórmula de von Kármán para determinar o fator de atrito (f).

Com o fator de atrito e os comprimentos segmentados da tubulação (sucção, recalque e junção em paralelo), a perda de carga linear foi calculada para cada trecho. A soma desses valores resultou na perda de carga linear total do sistema.

Tabela 01: Perda de carga linear

Perda de carga linear				
Teste	Hf Sucção	Hf Recalque	Hf junção	Hf linear (total)
1	0	0	0	0
2	0,0280	0,0108	0,2974	0,3362
3	0,0912	0,0353	0,9773	1,1039
4	0,1865	0,0721	1,9923	2,2510
5	0,3074	0,1190	3,2871	3,7136
6	0,4571	0,1765	4,8858	5,5195

Fonte: Autoria própria

Já a perda de carga localizada ocorre em pontos específicos do sistema hidráulico, como conexões, válvulas e curvas. Para estimá-la, foi empregado o método dos coeficientes K, onde cada acessório possui um valor que representa sua resistência ao fluxo.

O cálculo foi realizado separadamente para a linha de sucção e a linha de recalque, considerando os diferentes diâmetros nominais (20 mm, 25 mm e 32 mm) para maior precisão. A perda de carga de cada componente foi calculada individualmente e, em seguida, somada para cada trecho.

Uma tabela resumo foi elaborada para organizar os dados, apresentando a perda de carga total localizada em cada linha e o somatório geral para o sistema completo

Tabela 02: Perda de carga total

Tabela 7: Soma das Perdas de Cargas - SUCCÃO E RECALQUE			
Teste	hf sucção	hf recalque	hf total
1	0,0002	0,0000	0,0002
2	0,0029	0,4104	0,4133
3	0,0122	1,6416	1,6538
4	0,0274	3,6936	3,7210
5	0,0476	6,5667	6,6143
6	0,0725	10,2608	10,3333

Fonte: Autoria própria

Com todos os cálculos acima foi possível dimensionar o conjunto motobomba. Para isso, foram coletadas informações de apenas uma bomba, e do conjunto em paralelo, com intuito de gerar um comparativo entre as duas possibilidades para o mesmo sistema, calculando potência da bomba, e do conjunto motor bomba, além do NPSH disponível e requerido.

Através dos resultados de NPSH, é possível dizer se há cavitação ou não na bomba, não havendo o projeto aprovado. Para que não haja cavitação o NPSH requerido deve ser menor ou igual ao disponível. Os resultados, estão na tabela a seguir:

Tabela 03: Potência e cavitação do conjunto

RPM	3500
RENDIMENTO	0,6
VAZÃO (m³/s)	0,000583333
ALTURA MONOMÉTRICA +10%	16,24882749
POTÊNCIA DA BOMBA	0,2106328285
MARGEM TABELADA	0,5
POTÊNCIA DO CONJUNTO MOTOR BOMBA	0,3159492428
PRESSÃO ATM	9,3207
PRESSÃO DE VAPOR	0,3042369645
NPSD (d)	6,074788884
NPSH (r)	0,4451943756
NPSH (r)*1,2	0,5342332508

Fonte: Autoria própria

Como o NPSH requerido é menor que o NPSH disponível, é possível afirmar que o conjunto motor bomba não irá cavitatar. A bomba terá pressão suficiente na sucção para operar sem problemas, sem que o líquido entre em ebulição e forme bolhas de vapor, o que causaria cavitação.

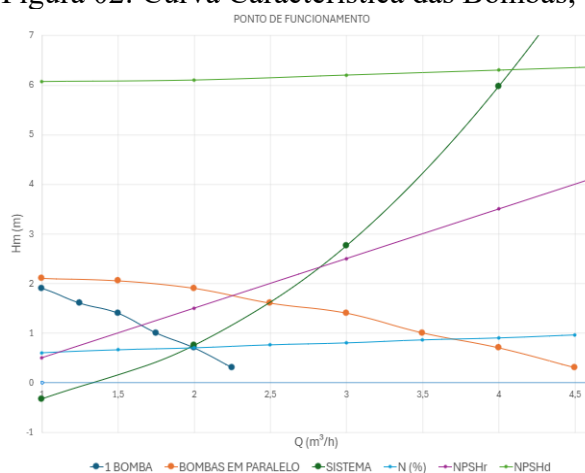
Tabela 04: Potência com margem de segurança

ALTITUDE	923
TEMPERATURA DA ÁGUA	24
COMPRIMENTO LINEAR DE SUCÇÃO	2,412
PERDA DE CARGA LOCALIZADA + LINEAR (SUCÇÃO)	0,5296741514
POTÊNCIA DO MOTOR COM RENDIMENTO DO 96%	0,2194091964
POTÊNCIA COM MARGEM DE SEGURANÇA	0,241350116

Fonte: Autoria própria

Dando sequência ao dimensionamento, o processo de seleção da bomba, é também uma etapa importante, desde a escolha até manutenções após sua instalação. A bomba garante o fornecimento de energia para o funcionamento do sistema. A curva da bomba, sistema, NPSH disponível e requerido e eficiência da bomba encontram - se reunidos abaixo:

Figura 02: Curva Característica das Bombas; Sistema;



Autor: Autoria própria

Quanto à posição do Eixo da Bomba em Relação ao Nível da Água (N.A.), o conjunto motor bomba está afogado, ou seja, o eixo da bomba situa-se abaixo do N.A. do reservatório de

sucção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sobreposição da curva das bombas em paralelo com a curva do sistema permitiu a identificação do ponto de operação, confirmando a precisão da metodologia experimental. Os cálculos de NPSH validaram que o NPSH disponível foi superior ao requerido, garantindo a ausência de cavitação e a integridade dos equipamentos. A operação em paralelo demonstrou vantagens notáveis, como maior confiabilidade e flexibilidade. Em caso de falha de uma das bombas, a outra pode manter o sistema em funcionamento, ainda que em regime reduzido. Além disso, a capacidade de adaptação à demanda do escoamento foi um ponto forte.

4. CONCLUSÃO

A análise experimental de um sistema de bombeamento em paralelo demonstrou sua eficácia na validação de conceitos teóricos de hidráulica aplicada. O estudo permitiu determinar o ponto de operação real ao considerar as perdas de carga localizadas e distribuídas, consolidando o entendimento sobre o desempenho de bombas em conjunto. As principais vantagens da configuração em paralelo foram a maior confiabilidade e flexibilidade operacional. Este arranjo permite a manutenção de uma bomba sem a parada total do sistema, um benefício crucial para operações contínuas e com demanda variável. Em suma, a abordagem experimental não apenas reforçou os princípios de engenharia abordados em sala de aula, mas também forneceu um conhecimento prático e robusto, essencial para futuras decisões de projeto em sistemas de bombeamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal da Bahia – Campus Vitória da Conquista, pela infraestrutura e apoio oferecidos durante a realização deste trabalho. Estendemos nossos agradecimentos ao professor e aos colegas da disciplina de Hidráulica, cujo espírito colaborativo contribuiu para a construção de um ambiente de aprendizado coletivo e enriquecedor. Por fim, agradecemos às nossas famílias e amigos pelo incentivo contínuo ao longo da jornada acadêmica.

6. REFERÊNCIAS

AKUTSU, J.. Hidráulica Geral e Aplicada, Engenharia Ambiental, Coleção UAB-UFSCAR, 2012. 193p.

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. Fundamentos de engenharia hidráulica. 3. ed. rev. e ampl. 2ª reimp. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 471 p.

FERREIRA, T.B.; MARQUES, J.C.G. Fundamentos de hidráulica e hidrometria. Londrina: Editora e distribuidora educacional S.A. 2017. 200p.

PRITCHARD, Philip J.; LEYLEGIAN, John C. Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. 899p.