

DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM UMA BOMBA CENTRÍFUGA

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL SETUP FOR TEACHING THE CAVITATION
PHENOMENON IN A CENTRIFUGAL PUMP

Sthefany Machado Sardinha¹, Bruno Muniz e Souza²,
Lívia Flavia Carletti Jatobá³, Jhonny Huertas⁴

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v44p555-569.2025

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a construção de uma bancada didática para o estudo de cavitação em uma bomba centrífuga, visando o seu uso nas aulas experimentais do curso de Engenharia Mecânica. O princípio adotado para o estudo do fenômeno de cavitação consistiu em aumentar a perda de carga na sucção por meio do fechamento parcial de um registro de gaveta. Para identificar o fenômeno de cavitação, foram obtidas curvas características da bomba em diferentes condições de perda de carga na sucção (registro parcialmente fechado), de modo a observar como a redução da pressão de sucção afeta o desempenho do equipamento. A cavitação foi identificada por meio da queda abrupta na altura manométrica nas curvas características. A bancada, equipada com instrumentação apropriada, permitiu obter dados hidráulicos da bomba coerentes com os valores teóricos. O sistema em escala de bancada permitiu a reprodução controlada do fenômeno da cavitação em uma bomba centrífuga.

PALAVRAS-CHAVE: cavitação; bomba centrífuga; curvas características.

ABSTRACT: This work aimed to build a teaching bench to study cavitation in a centrifugal pump, for use in experimental classes in the Mechanical Engineering course. The principle adopted to study the cavitation phenomenon consisted of increasing the suction pressure loss by partially closing a valve. To identify the cavitation phenomenon, pump characteristic curves were obtained under different suction pressure loss conditions (partially closed valve) to observe how reducing suction pressure affects equipment performance. Cavitation was identified by the abrupt drop in head on the characteristic curves. The bench, equipped with appropriate instrumentation, allowed for the collection of pump hydraulic data consistent with theoretical values. The bench-scale system allowed for the controlled reproduction of the cavitation phenomenon in a centrifugal pump.

KEYWORDS: cavitation; centrifugal pumps; characteristic curves.

¹ Engenheira Mecânica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, campus Nova Friburgo, sthefanymachados1@gmail.com

² Engenheiro Químico pela Universidade Rural do Rio de Janeiro, bolsista QUALITEC, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, campus Nova Friburgo, bmuniz87@gmail.com

³ Professora do Departamento de Engenharia Mecânica e Energia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, campus Nova Friburgo, liviajatoba@iprj.uerj.br

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Mecânica e Energia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, campus Nova Friburgo, jhonyhf@iprj.uerj.br

INTRODUÇÃO

Aulas práticas e o uso de bancadas didáticas são elementos cruciais nos cursos de Engenharia, especialmente na Mecânica dos Fluidos, em que a validação experimental é essencial para consolidar conceitos teóricos, introduzir o uso de instrumentação e o tratamento de dados. Nesse contexto, o estudo das bombas centrífugas é de extrema importância para a Engenharia Mecânica, dado o seu uso em diversas aplicações, desde o abastecimento de água até diferentes processos industriais (Pfleiderer e Petermann, 1979; Santos, 2007). Dentre os desafios operacionais e de projeto em sistemas de bombeamento, destaca-se a cavitação, um fenômeno hidráulico de grande relevância.

A cavitação é caracterizada pela formação e colapso de bolhas de vapor em um líquido, o que pode causar danos materiais, perdas de eficiência e instabilidade operacional. Seu estudo é fundamental em todas as etapas, desde a seleção e projeto de equipamentos até a sua operação (Meneses, 2018; Mattos, 1998; Macintyre, 1997). Apesar de sua relevância, a investigação experimental da cavitação em bombas muitas vezes é limitada nas instituições de ensino devido à escassez de sistemas didáticos dedicados, restringindo seu estudo ao domínio teórico.

A revisão da literatura sobre bancadas para estudo de cavitação em bombas centrífugas revela diferentes abordagens. Coelho (2006) descreve uma bancada em circuito fechado para obtenção das curvas características e da Altura de Sucção Positiva Líquida Requerida (Net Positive Suction Head, $NPSH_r$), induzindo a cavitação pela redução da área do escoamento na sucção usando um registro de gaveta. De forma similar, Berto *et al.* (2022) desenvolveram um sistema focado na determinação da curva de $NPSH_r$, operando a bancada em diferentes vazões. Em contraste, o trabalho de Siqueira *et al.* (2016) priorizou o estudo da cavitação em corpos de prova, utilizando um tubo Venturi para a indução do fenômeno. Outros projetos, como o de Costa (2021), focam no desenvolvimento de bancadas multifuncionais para Mecânica dos Fluidos, em que a análise de cavitação é um dos objetivos, mas não a função principal do sistema.

Embora existam sistemas experimentais para a análise da cavitação, a literatura aponta para uma lacuna na disponibilidade de bancadas didáticas dedicadas que: i) permitam o estudo de forma direta e didática da relação entre a variação das condições de sucção ($NPSH_d$) e os efeitos no desempenho de uma bomba centrífuga; ii) tenham uma concepção acessível e de fácil operação para serem implementadas em laboratórios de ensino. Há, portanto, uma necessidade

de desenvolver um sistema didático dedicado que preencha essa lacuna e permita o estudo prático e detalhado do fenômeno da cavitação em um ambiente de formação de engenheiros.

O presente trabalho visa preencher essa lacuna e tem como contribuição principal o desenvolvimento, a construção e a corroboração teórica de uma bancada didática para o estudo da cavitação em bombas centrífugas. Este sistema fornece um recurso experimental para a consolidação dos conceitos de Mecânica dos Fluidos e Máquinas de Fluxo. O presente trabalho busca refinar metodologias didáticas existentes e priorizar o estudo da queda de desempenho da bomba centrífuga induzida pelo estrangulamento na sucção.

O objetivo geral deste trabalho é a construção de uma bancada didática para o estudo de cavitação de uma bomba centrífuga, visando o estudo do fenômeno da cavitação e seus efeitos no desempenho de uma bomba centrífuga. Para tal, o trabalho foi estruturado em três etapas: projeto detalhado do sistema, com foco em requisitos didáticos e operacionais; construção e montagem da bancada experimental; e análise de consistência do sistema via testes experimentais, incluindo a obtenção das curvas características da bomba sob condições de cavitação.

METODOLOGIA

A metodologia conduzida para o desenvolvimento da bancada foi dividida em três etapas sequenciais: i) projeto da bancada experimental, focada nas especificações de configurações e instrumentação; ii) construção da bancada, que abrangeu a montagem dos componentes e do circuito hidráulico; e iii) realização de testes experimentais, para a análise de consistência do sistema e estudo do fenômeno de cavitação.

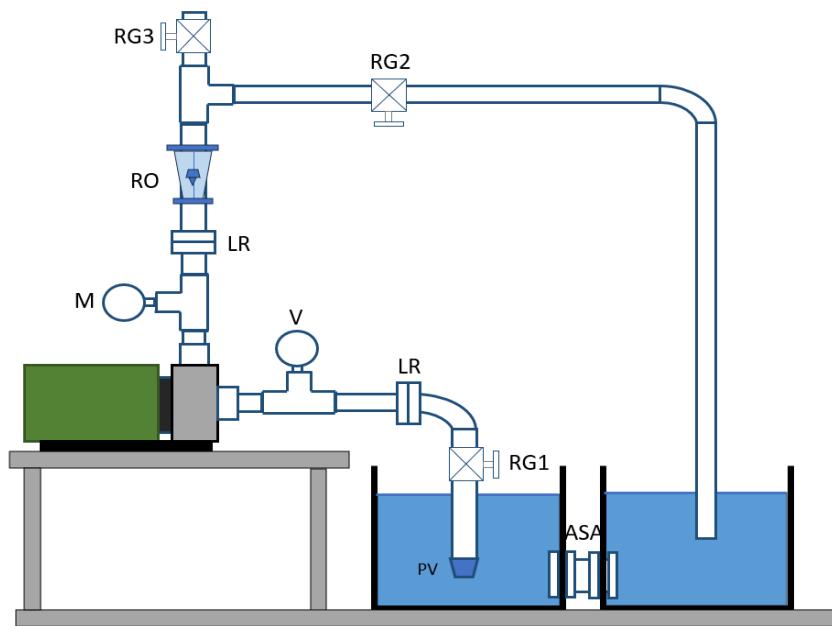
A bancada foi concebida como um sistema em circuito fechado para o estudo controlado da cavitação em uma bomba centrífuga, visando a análise dos efeitos desse fenômeno no desempenho da bomba, e servindo como instrumento didático para aulas experimentais. O princípio central para a indução da cavitação se baseia na redução controlada da Altura de Sucção Positiva Líquida Disponível ($NPSH_d$) da bomba. Este $NPSH_d$ é reduzido por meio do aumento da perda de carga na tubulação de sucção (aspiração). Esse aumento é obtido por meio do estrangulamento progressivo da linha de sucção, realizado pelo

fechamento parcial de um registro de gaveta. Ao reduzir a pressão na sucção, a cavitação é induzida quando a pressão dentro da bomba atinge níveis próximos ou inferiores à pressão de vapor do líquido para aquela temperatura. A detecção prática e a análise do fenômeno são realizadas pela queda abrupta na altura manométrica (H) da bomba em função da vazão (Q).

Projeto da bancada experimental

Inicialmente, foi definida a configuração da bancada partindo de um sistema formado por uma série de componentes que trabalhem com o bombeamento de água como fluido de trabalho em um circuito fechado. O sistema consistiu em dois reservatórios, uma bomba centrífuga, um sistema de tubulação, acessórios hidráulicos e medidores de pressão e vazão. Foi proposto o sistema apresentado na Figura 1. A nomenclatura apresentada no esquema é descrita a seguir: RG1, RG2, RG3 – registros de gaveta; V – vacuômetro; M – manômetro; RO – rotâmetro; PV – válvula de pé com crivo; ASA – adaptador soldável com anel.

Figura 1 – Esquema do sistema hidráulico proposto para o estudo de cavitação

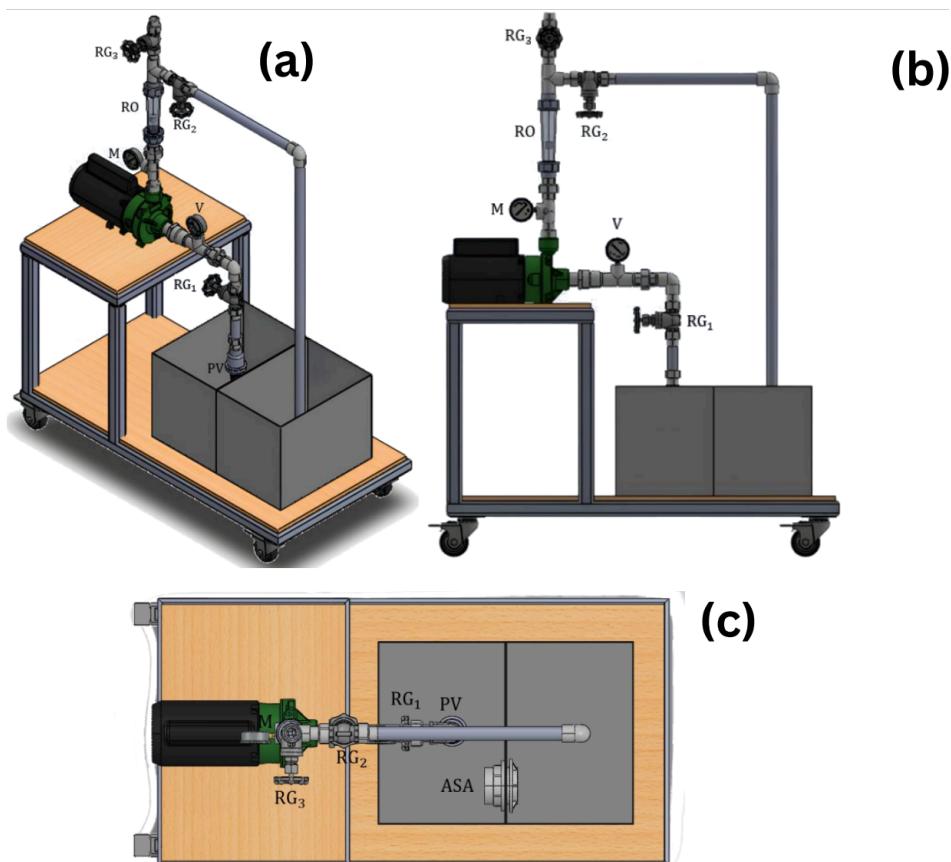


Fonte: elaborada pelos autores.

No sistema proposto, quando a bomba é ligada, a água do primeiro reservatório é succionada e recalcada para o segundo reservatório. Os dois reservatórios estão conectados por um adaptador soldável com anel. Isso foi feito para evitar que a turbulência da água que chega no segundo reservatório crie bolhas de ar que possam ser succionadas no primeiro reservatório e interferir no experimento.

Para um melhor detalhamento, o sistema proposto foi modelado em software CAD 3D, o SolidWorks. O desenho da Figura 2 apresenta uma vista isométrica e mostra como o sistema se suporta sobre uma base inferior formada por perfis de alumínio com rodízios em que se encontram os dois reservatórios. Também se tem uma base superior menor onde fica a bomba centrífuga. A nomenclatura dos componentes do sistema foi descrita anteriormente.

Figura 2 – Desenhos da bancada experimental feitos no SolidWorks: (a) vista isométrica, (b) vista frontal e (c) vista superior.



Fonte: elaborado pelos autores.

O projeto do sistema buscou refinar metodologias didáticas existentes, priorizando o estudo da queda de desempenho da bomba centrífuga induzida pelo estrangulamento na sucção. A configuração geral da bancada foi baseada no trabalho de Berto *et al.* (2022), mas incorporou modificações específicas para otimizar as condições de ensaio. A primeira modificação foi o uso de reservatórios duplos. Diferentemente de sistemas que utilizam um único reservatório dividido por uma placa metálica (Coelho, 2006), o sistema foi configurado com dois reservatórios (sucção e descarga), interligados por um adaptador. Essa configuração foi adotada para reduzir a turbulência na sucção, garantindo uma condição de escoamento mais estável para a bomba. A segunda modificação foi na instrumentação. Em comparação com o modelo original de Berto *et al.* (2022), a instrumentação foi simplificada didaticamente, utilizando-se apenas um vacuômetro (V) na sucção e um manômetro (M) no recalque, além de um rotâmetro (RO) para a medição da vazão (Q) (Sardinha, 2024).

Construção da bancada

Após o projeto do sistema foi conduzida a etapa de construção da bancada. Para a construção foram usados diversos materiais que foram classificados em: i) bomba e suporte; ii) instrumentos; e iii) tubulações e acessórios.

Bomba e suporte do sistema

Os materiais usados para esta parte do sistema foram: 2 Reservatórios de 30L de polipropileno, 30,5 x 42,5 cm, 1 bomba centrífuga monoestágio Schneider (BC – 91S 0,5 HP 60 Hz 220 V), 1 bancada de suporte em MDF de 1,5 cm de espessura, cor branca, base inferior 100 x 50 cm e base superior 50 x 35 cm, 4 m de perfis de alumínio, sendo 2 x 4 e 4 x 4, parafusos, 16 cantoneiras e 4 rodízios.

Instrumentos

Os instrumentos utilizados foram: 1 rotâmetro Lzs – 32 D (faixa de vazão de 1 a 10 m³/h), 1 manômetro (faixa de pressão de 0 a 30 psi, com escala de 5 psi) e 1 vacuômetro (faixa de pressão de 0 a -30 in Hg, com escala de -5 in Hg).

Tubulações e acessórios

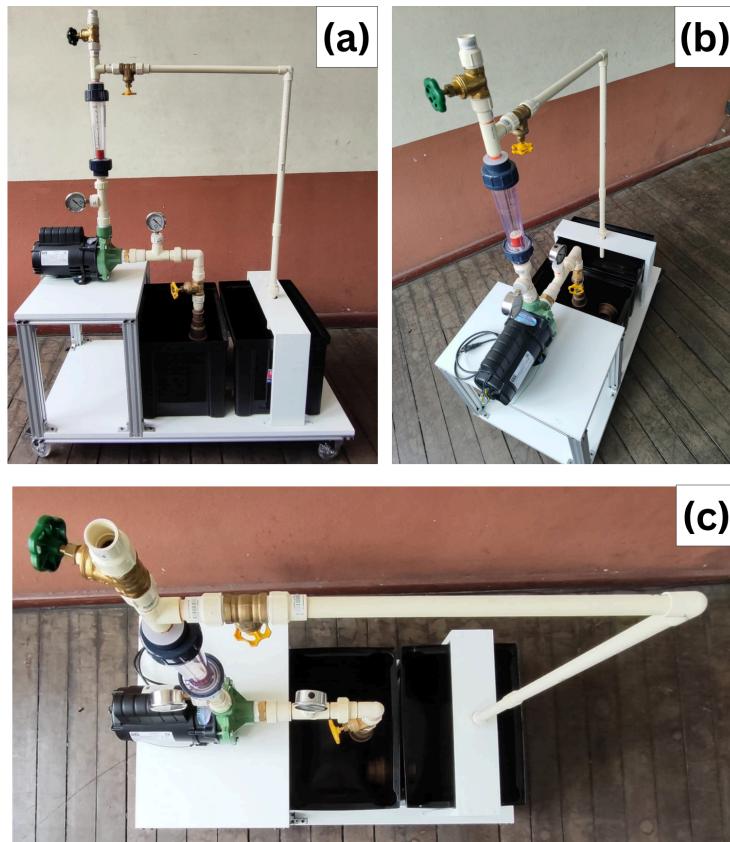
A parte de encanamento está formada por: tubulações de $\frac{3}{4}$ polegadas e 1 polegada, 2 joelhos 90° , 1 válvula de pé com crivo, 3 registros de gaveta, 2 "T" soldáveis, 1 "T" de transição, 1 adaptador soldável com anel para caixa d'água de 2 polegadas, 2 uniões soldáveis, 1 adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro, 7 luvas de transição, 1 bucha de redução de $1\frac{1}{4}$ para 1 polegada, 1 bucha de redução de 1 para $\frac{3}{4}$ polegadas, 1 conector macho, 1 adesivo bisnaga e 1 fita veda rosca.

A Figura 3 apresenta o sistema montado em diferentes vistas. O processo de montagem da bancada teve início pela parte inferior, composta por perfis de alumínio de 100 cm e duas de 42 cm, que foram fixados com parafusos. Após concluir essa etapa, avançou-se para a montagem da parte superior, formada por dois perfis de 46 cm e duas de 35 cm, também fixadas com parafusos.

Em seguida, a união entre as partes inferior e superior foi realizada utilizando quatro vigas de 50 cm, fixadas com 16 cantoneiras de alumínio em ângulo de 90° . Foram utilizadas 8 cantoneiras na parte inferior e 8 na parte superior. Com a estrutura completa e devidamente fixada, os painéis de MDF foram instalados e fixados com cantoneiras de 90° . Para finalizar, foram acrescentados quatro rodízios giratórios, fixados com parafusos, garantindo a mobilidade da bancada.

A montagem do sistema hidráulico com a interligação dos reservatórios por um adaptador soldável com anel para caixa d'água. A bomba foi fixada no MDF através de parafusos. Na parte da sucção foi instalado um conector macho de $1\frac{1}{4}$ polegadas, seguido por uma bucha de redução de $1\frac{1}{4}$ para 1 polegada. Em seguida um "T" soldável foi fixado, com uma luva de transição conectada à parte superior do "T", onde foi conectado o vacuômetro. Na lateral do "T" foi conectada uma união soldável, seguida por um joelho 90° e mais uma união soldável. Depois, foram adicionados um registro de gaveta, seguido de mais uma união e um adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro e, por fim, uma válvula de pé com crivo.

Figura 3 – Bancada construída: (a) vista frontal e (b) vista isométrica do sistema e (c) vista superior



Fonte: elaborada pelos autores.

No recalque foi instalada uma luva de transição, seguida de um “T” de transição. Na parte superior do “T” foi adicionado um manômetro, enquanto na lateral se tem uma união soldável. Em seguida, tem-se o rotâmetro, seguido por um “T” soldável. Na lateral do “T”, mais um registro de gaveta e, por fim, uma luva de transição.

Na parte superior do “T”, tem-se mais uma luva de transição, outro registro de gaveta e mais uma luva de transição. Após isso, um pedaço de tubulação foi instalado, seguido de um joelho de 90° e mais um trecho de tubulação $\frac{3}{4}$ polegadas que vai até o segundo reservatório. Todos os materiais usados na construção da bancada tiveram um custo estimado de aproximadamente R\$ 2.000,00 (dois mil reais).

A operação da bancada deve ser conduzida por no mínimo duas pessoas devidamente treinadas. Para assegurar o funcionamento, devem ser previstos periodicamente testes de manutenção na bomba e nos instrumentos de medição.

Testes experimentais

A etapa final da metodologia consistiu na descrição dos testes da bancada construída. Os testes da bancada experimental de cavitação consistiram em: i) construção da curva característica da bomba, que consiste na obtenção da curva de desempenho da bomba em condições normais; e ii) levantamento das curvas características em condições de cavitação, que consiste no levantamento de curvas com diferentes níveis de estrangulamento da válvula de gaveta RG1.

Curva característica da bomba

A obtenção da curva característica da bomba requer a leitura das medidas de pressão no vacuômetro (P_v), pressão no manômetro (P_m) e vazão (Q) no rotâmetro e a determinação da altura manométrica (H) da bomba usando a Equação (1). Nessa equação, γ é o peso específico da água e m é a diferença de altura entre o manômetro e o vacuômetro. Como a bomba trabalha não afogada, as leituras das pressões se somam.

$$H = \frac{P_m + P_v}{\gamma} + m \quad \text{Eq. (1)}$$

O procedimento de obtenção da curva característica foi conduzido da seguinte forma: com as válvulas RG1 e RG3 (Figura 1) totalmente abertas, foi parcialmente aberta a válvula RG2. A primeira leitura foi obtida quando a vazão no rotâmetro marcou 1,0 m³/h. Diversas leituras foram feitas com diferentes aberturas de RG2. A última leitura foi feita com a válvula RG2 totalmente aberta, cuja vazão registrada foi de 4,5 m³/h.

A cada abertura do registro RG2 foram registrados os valores da pressão antes e depois da bomba, no vacuômetro e manômetro, respectivamente, e da vazão, no rotâmetro, para cada condição de abertura. Com esses dados e com a Equação (1), foi construída a curva característica da bomba de H versus Q .

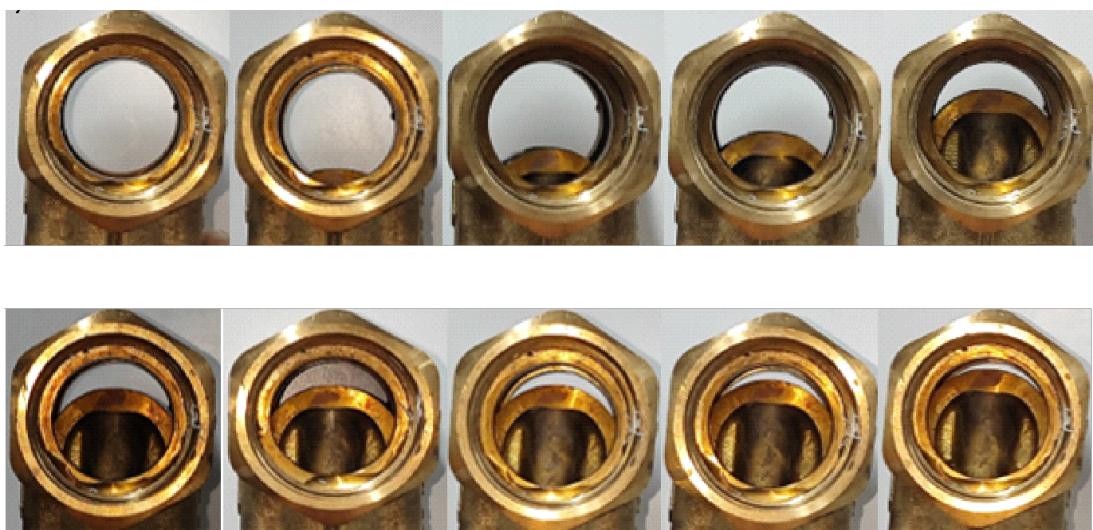
Curvas em condição de cavitação

A operação da bancada em condição de cavitação envolve a manipulação das válvulas RG1 e RG2, inicialmente totalmente abertas. O registro RG2 foi utilizado para a construção da curva característica, enquanto o RG1 foi fechado

gradualmente, sendo monitorado por meio do número de giros ou voltas do registro, para induzir estrangulamento no fluxo da tubulação de sucção.

A cada estágio (ou a cada volta no registro RG1), foram construídas curvas características da bomba, anotando-se os valores de pressão do vacuômetro (P_v) e do manômetro (P_m). Com os valores da vazão e a Equação (1), foram obtidos os valores da altura (H). Essa etapa foi repetida para diversas configurações de fechamento do registro RG1 (de totalmente aberto a 6 voltas). A Figura 4 mostra as diversas configurações de fechamento do registro de gaveta RG1.

Figura 4 – Registro de gaveta RG1 com diferentes configurações de fechamento



Fonte: elaborada pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são divididos da seguinte forma: i) resultados da curva de caracterização da bomba em condições normais de operação; e ii) resultados das curvas características em condições de cavitação.

Curva característica da bomba

A Tabela 1 apresenta os dados de vazão e pressões do vacuômetro e manômetro, incluindo as incertezas dos instrumentos de medição. Na Tabela 1, também é apresentado o resultado calculado da altura manométrica (H), com erro propagado de 0,53 m. Os resultados da curva característica obtida

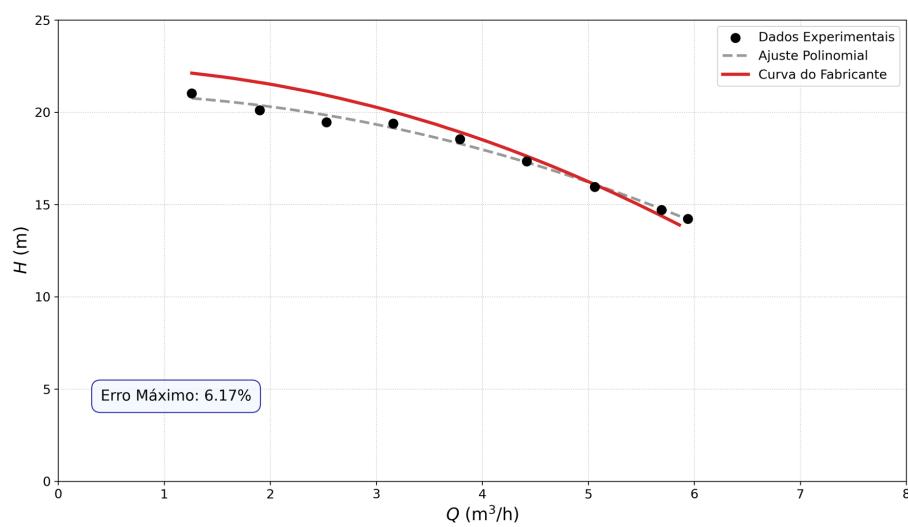
experimentalmente são apresentados na Figura 5, juntamente com a curva do fabricante, onde se observa um erro percentual máximo de 6,17%. Apesar das diferenças quantitativas, a boa concordância qualitativa entre as curvas valida o sistema de medição e confirma que a bancada reproduz adequadamente o comportamento hidráulico típico de bombas centrífugas, em que a carga diminui à medida que a vazão aumenta (Germer, 2015).

Tabela 1 – Dados de vazão, pressão e altura manométrica do sistema experimental com RG1 e RG2 totalmente abertos

Q (L/h) ± 500	P_m (psi) ± 0,5	P_v (in Hg) ± 1,0	Q (m³/h)	P_m (Pa)	P_v (Pa)	H (m) ± 0,53
4700	16,0	8,4	5,94	110316	28446	14,22
4500	16,9	8,0	5,69	116521	27091	14,71
4000	19,4	6,5	5,06	133758	22012	15,95
3500	22,3	4,7	4,42	153408	15916	17,34
3000	24,7	3,2	3,79	170301	10836	18,54
2500	26,4	2,2	3,16	182022	7450	19,39
2000	26,9	1,4	2,53	185469	4741	19,46
1500	28,5	0,0	1,9	196501	0	20,11
1000	29,8	0,0	1,26	205464	0	21,02

Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 5 – Comparação da curva característica da bomba centrífuga obtida experimentalmente com a do fabricante a 3460 rpm



Fonte: elaborada pelos autores.

Curvas características operando em condição de cavitação

Os resultados que demonstram a capacidade do sistema em induzir e identificar o fenômeno de cavitação são apresentados na Figura 6, que mostra as curvas características obtidas para diferentes graus de fechamento da válvula RG1, quantificados em número de voltas do registro de gaveta.

A análise da Figura 6 mostra comportamentos que podem ser divididos em dois grupos principais. O primeiro grupo, formado pelas curvas com o registro totalmente aberto (0 voltas) até 5 voltas de fechamento, apresenta comportamento semelhante, mantendo o perfil típico de operação normal, com a altura manométrica variando conforme a curva característica da Figura 5. A sobreposição dessas curvas indica que, mesmo com o fechamento parcial do registro na sucção, o NPSH disponível ($NPSH_d$) ainda permanece suficientemente elevado para evitar a vaporização do líquido no interior da bomba, não havendo, portanto, indícios de cavitação nessas condições operacionais. O segundo grupo de resultados, formado pelas curvas com fechamentos de 5,50; 5,75 e 6,0 voltas do registro RG1, apresenta comportamento diferente, caracterizado por quedas abruptas na altura manométrica. Esse comportamento se acentua progressivamente com o aumento da restrição. Essas quedas abruptas nas curvas características são indicadores da ocorrência de cavitação.

Segundo a literatura, a cavitação acontece quando a pressão no fluido alcança níveis semelhantes ou inferiores à pressão de vapor (P_v) do líquido (Yedidiah, 1996). Nesse instante, o líquido vaporiza, originando bolhas de cavitação. Essas bolhas são transportadas pela bomba e colapsam em áreas de maior pressão, o que explica as reduções abruptas nas curvas de altura manométrica (H) ilustradas na Figura 6.

A progressão da intensidade da cavitação com o aumento do fechamento do registro RG1 pode ser explicada pela redução sistemática do $NPSH_d$. Quanto maior o fechamento do registro, maior a perda de carga na linha de sucção e, consequentemente, menor a pressão disponível na entrada da bomba. Com o fechamento de 6 voltas, o sistema opera em condições críticas de cavitação, em que a pressão de sucção já se encontra substancialmente abaixo da pressão de vapor da água, intensificando significativamente o efeito do fenômeno e comprometendo severamente o desempenho do equipamento.

O sistema experimental desenvolvido em laboratório demonstrou sua eficácia em nível de bancada na indução e estudo da cavitação, conforme evidenciado

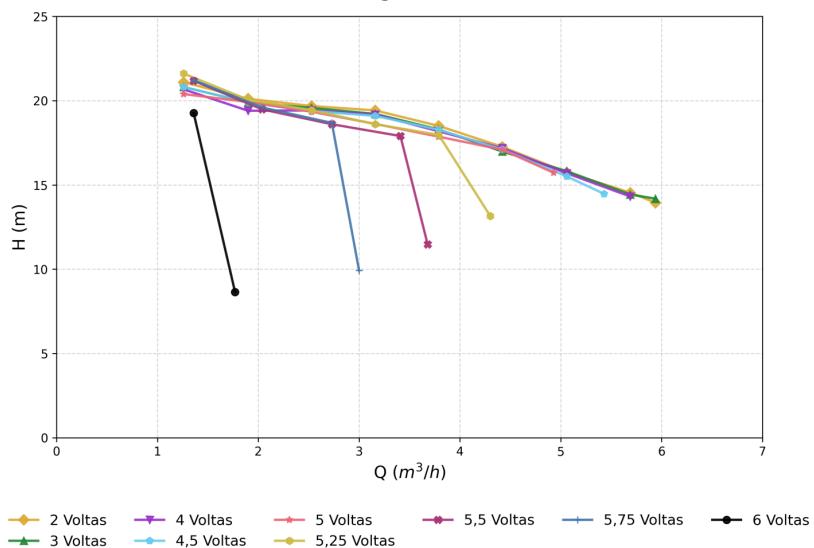
pelo aumento controlado da perda de pressão de sucção devido ao estrangulamento da válvula gaveta. O fechamento gradual da válvula produziu maior perda de pressão, resultando em redução significativa na pressão de sucção e queda brusca na curva característica da bomba, confirmando a ocorrência de cavitação. Dessa forma, o projeto atingiu com sucesso o seu objetivo de fornecer um método prático para estudar o fenômeno de cavitação em um sistema hidráulico baseado em uma bomba centrífuga radial pura.

Entretanto, cabe mencionar que a bancada apresenta limitações identificadas como: i) os instrumentos de medição de pressão e vazão são analógicos; ii) só opera com água à temperatura ambiente; e iii) não possui mecanismo de automação para acionar os registros RG1 e RG2. Considera-se que a bancada pode ser melhorada com o uso de sensores de pressão do tipo pressostato e de um sensor de vazão eletromagnético. Sugere-se também que, para operar em outras temperaturas, seria interessante adaptar uma resistência elétrica no reservatório de recalque, considerando que a tubulação utilizada pode suportar temperaturas de até 80 °C.

A partir dos resultados obtidos, considera-se que a bancada é uma ferramenta poderosa para complementar, por meio de aulas experimentais, os conceitos lecionados em sala de aula, respeitando dois aspectos muito importantes: i) a construção experimental de uma curva característica de uma bomba centrífuga; e ii) o estudo do fenômeno de cavitação provocado por perda de carga.

Finalmente, considera-se que o fenômeno de cavitação para o qual foi construída a bancada pode ser estudado também usando um tubo de Venturi a partir da adaptação de uma prolongação do encanamento depois do registro de gaveta RG3, permitindo dessa forma ampliar a funcionalidade da bancada.

Figura 6 – Curvas características para diferentes fechamentos registrados como número de voltas do registro RG1



Fonte: elaborada pelos autores.

CONCLUSÃO

A partir do trabalho apresentado foi possível concluir que é viável desenvolver uma bancada didática para o estudo de cavitação de uma bomba centrífuga, pois os resultados obtidos confirmaram que o sistema construído foi robusto, sem vazamentos, e que os instrumentos de medição de pressão e vazão se mostraram eficientes. A curva característica apresentou o perfil tipo *drooping*. Assim, foi construído um sistema de bombeamento em nível de bancada que permite, usando a instrumentação apropriada, obter informações hidráulicas da bomba.

Considerando o princípio do aumento da perda de carga produzida pelo estrangulamento da tubulação na sucção usando um registro de gaveta, foi observado que, com o fechamento do registro após um determinado número de voltas, ocorreu uma queda abrupta na altura manométrica, evidenciando o efeito da cavitação no sistema. Foi verificado que a perda de energia produzida pelo aumento da perda de carga aconteceu com o fechamento do registro de 5,50 até 6 voltas. Esse comportamento confirma a eficácia do sistema em reproduzir as condições para o estudo da cavitação.

REFERÊNCIAS

- ACHTERBERG, C. A perspective on nutrition education research and practice. **J Nutr Educ.**, 1988.
- BERTO, A. H. E. et al. **Construção de bancada para ensaio de cavitação e determinação de curva de NPSHr de bombas hidráulicas.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de Mauá, Centro Universitário do Instituto de Tecnologia, São Caetano do Sul – São Paulo, 2022.
- COELHO, W. R. **Análise do fenômeno de cavitação em bomba centrífuga.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.
- COSTA, R. M. F. **Projeto de bancada para experimentos em mecânica dos fluidos e desenvolvimento de ferramenta para auxílio na seleção de bombas.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- GERMER, E. **Máquinas de Fluxo.** Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. 109p. Notas de aula.
- MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
- MATTOS, E. E.; FALCO R. **Bombas Industriais,** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciênciac, 1998.
- MENESES, C. C. S.; SANTOS, R. L. **Comparação entre os efeitos da cavitação em alumínio e bronze.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Industrial Mecânica - Universidade Santa Cecília, Santos, 2018.
- PFLEIDERER, C.; PETERMANN, H. **Máquinas de fluxo.** 1. ed. Rio de Janeiro: E. LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- SARDINHA, S. M. **Desenvolvimento de um sistema de bancada para o estudo de cavitação de uma bomba centrífuga.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica e Energia) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.
- SIQUEIRA, B. V. et al. **Desenvolvimento de um módulo para ensaio de resistência à cavitação.** 2016. Tese (Conclusão de curso em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília, Santos, 2016.
- YEDIDIAH, S. **Centrifugal Pump User's Guidebook: Problems and Solutions.** 1. ed. Nova York: Chapman & Hall, 1996.