

ESTUDO DE CURVAS ADIMENSIONAIS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS SUBMERSAS DE EIXO VERTICAL

*Leandro de Sousa Oliveira¹ ; Pedro Guido Mottes Bassegio²; Mauricio Dai Prá³; Marcelo
Giulian Marques⁴ ; Joice Cristine Kuritza⁵*

RESUMO – Estima-se que de 2 a 3% de toda a energia elétrica consumida no Brasil esteja relacionada aos sistemas de bombeamento de água, e que até 25% dessa energia poderia ser economizada caso esses sistemas fossem mais eficientes. Nesse contexto, estudos que visem generalizar as curvas de rendimento de bombas centrífugas podem ser bastante úteis para tornas os projetos e a operação desses sistemas mais eficientes. Portanto, realizou-se um estudo sobre as características adimensionais de bombas centrífugas submersas de eixo vertical, visando determinar equações e relações que descrevam seu comportamento, mesmo em situações onde a operação seja distinta das condições propostas pelos fabricantes. O trabalho consistiu em uma análise gráfica dos catálogos fornecidos por três fabricantes de bombas, onde foram retiradas informações importantes para o cálculo das curvas adimensionais. Obtiveram-se, como resultado, duas equações distintas: uma para estimar a altura manométrica adimensional em função da vazão adimensional, e outra para estimar o rendimento máximo em função da rotação específica da bomba. Os dados obtidos por esse estudo podem auxiliar em futuras pesquisas sobre eficiência energética em sistemas de bombeamento.

ABSTRACT– It is estimated that 2 to 3% of all electrical energy consumed in Brazil is related to water pumping systems, and that up to 25% of this energy could be saved if these systems were more efficient. In this context, studies that aim to generalize the efficiency curves of centrifugal pumps can be very useful to make the design and operation of these systems more efficient. Therefore, a study was carried out on the dimensionless characteristics of vertical axis submerged centrifugal pumps, aiming to determine equations and relationships that describe their behavior, even in situations where the operation is different from the conditions proposed by the manufacturers. The work consisted of

¹) Afiliação: Universidade federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto alegre – RS, (51) 33086114, le18.sousa@gmail.com

²) Afiliação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto alegre – RS, (51) 33086114, pedroguido33@hotmail.com

³) Afiliação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto alegre – RS, (51) 33086114, mauricio.daipra@ufrgs.br

⁴) Afiliação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto alegre – RS, (51) 33086114, mmarques@iph.ufrgs.br

⁵) Afiliação: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Laura Pacheco Bastos, 800. Bairro Industrial. Guarapuava, PR. (42) 3302 5010 joicekuritza@utfpr.edu.br

a graphic analysis of the catalogs provided by three pump manufacturers, where important information was taken for the calculation of dimensionless curves. As a result, two different equations were obtained: one to estimate the dimensionless head as a function of the dimensionless flow, and another to estimate the maximum efficiency as a function of the specific pump rotation. The data obtained by this study can help in future research on energy efficiency in pumping systems.

Palavras-Chave – bombas centrífugas submersas, eficiência hidroenergética, águas subterrâneas.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país majoritariamente urbano, 85% da população brasileira vive em regiões urbanizadas, sendo que 43% dos municípios brasileiros são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas (ANA, 2021). A principal forma de extração de águas subterrâneas é através de poços tubulares. Na maioria dos poços a extração de água é feita através de um conjunto moto bomba, que tem como função tanto a elevação de água dos poços até a superfície, bem como alcançar a pressão necessária para a distribuição de água nos sistemas de bombeamento.

O custo de energia elétrica associado ao conjunto moto bomba é elevado, e ao longo de sua vida útil poderá ultrapassar o custo de construção do próprio poço (Perroni, 2006). Estima-se que de 2 a 3% de toda a energia elétrica consumida no Brasil esteja relacionada aos sistemas de bombeamento de água até as residências, e que até 25% dessa energia poderia ser economizada caso os sistemas de bombeamento de água fossem mais eficientes (Sousa e Soares, 2021)

Diz-se que duas máquinas serão semelhantes quando houver igualdade entre os números de Reynolds, Mach, Froude, Weber, e Euler de cada uma. Segundo Henn (2012) outra utilidade que temos para os números adimensionais são as leis de similaridade de máquinas hidráulicas, que avaliam o desempenho de uma mesma máquina quando são modificados os diâmetros do rotor ou as rotações. A partir disso, se pode determinar a velocidade de rotação específica (Ns) que é um número obtido através das leis de semelhança e que se mantém constante para bombas semelhantes. A equação 1 apresenta como calcular a rotação específica (Ns).

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q_{1/1}}}{H_{1/1}^{3/4}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: N_s é a velocidade de rotação específica da bomba (adimensional); N é rotação da bomba (rpm); $H_{1/1}$ é a altura manométrica no ponto de maior rendimento da bomba, $Q_{1/1}$ a vazão no ponto de maior rendimento.

Segundo Santos (2007), a rotação específica é uma ferramenta muito valiosa para escolher uma bomba adequada sabendo previamente a vazão (Q) e a altura manométrica (H) necessária para operar o sistema. Kuritza et al. (2017) relacionaram a velocidade de rotação específica com o rendimento de uma bomba hidráulica submersa de eixo horizontal visando estabelecer equações que pudessem ser utilizadas para estimar o rendimento em diferentes situações de projeto. Em seus resultados foi notada tendência do aumento do rendimento máximo conforme aumenta a rotação específica. Também foi determinado que as bombas centrífugas apresentam altura manométrica máxima média em torno de 1,25 vezes a altura nominal correspondente. A análise dos rendimentos adimensionalizados também apresentou um comportamento quadrático com a variação da vazão.

Conforme Santos (2001), os métodos de medição computacional são mais indicados para a análise de curvas de bombas em detrimento a medição direta, pelo fato deste último apresentar uma maior imprecisão devido a possíveis erros de digitalização e leitura de dados. Além disso, o método computacional é mais rápido do que a medição direta quando se analisa uma grande quantidade de dados.

METODOLOGIA

Seguindo as indicações apresentadas em Santos (2001) para obtenção de dados provenientes da curva característica, vazão e altura manométrica, utilizou-se de recursos computacionais para obtenção dos gráficos das curvas de bomba disponibilizados por três fabricantes distintos para determinar vazão, altura manométrica e o ponto de máximo rendimento.

Ao todo, foram selecionados para a análise 70 modelos de bombas hidráulicas submersas a partir dos catálogos de três fabricantes distintos, 18 do fabricante 1, 20 do fabricante 2 e 32 do fabricante 3.

Os valores obtidos graficamente a partir dos catálogos dos fabricantes são valores que dependem da geometria da bomba e de sua configuração. Portanto é importante uma análise adimensional para obterem-se informações que possam ser extrapoladas para outras situações além das previstas pelo fabricante.

Os valores adimensionais da altura manométrica (H_a), da vazão (Q_a) e do rendimento (η_a), são determinados pelas equações 2, 3 e 4 respectivamente.

$$H_a = \frac{H}{H_{1/1}} \quad (2)$$

$$Q_a = \frac{Q}{Q_{1/1}} \quad (3)$$

$$\eta_a = \frac{\eta}{\eta_{1/1}} \quad (4)$$

Onde: H_a é a altura manométrica adimensional, H é a altura manométrica, $H_{1/1}$ é a altura manométrica no ponto de maior rendimento da bomba, Q_a é a vazão adimensional, Q a vazão, $Q_{1/1}$ a vazão no ponto de maior rendimento, η é o rendimento e $\eta_{1/1}$ o maior valor de rendimento.

Com os dados obtidos nas equações 1 a 3, pode-se plotar gráficos que ajudam a entender o comportamento das bombas. Foram plotados os gráficos de H_a versus Q_a , de η_a versus Q_a e η_{\max} versus N_s . Os gráficos obtidos representam uma nuvem de pontos, e utilizando uma linha de tendência que melhor se adeque a esta nuvem foi possível obter uma equação que representa uma possível tendência de comportamento para os dados de cada uma das fabricantes.

RESULTADOS:

A Figura 2 apresenta os dados da altura manométrica adimensional pela vazão adimensional para as bombas dos três fabricantes.

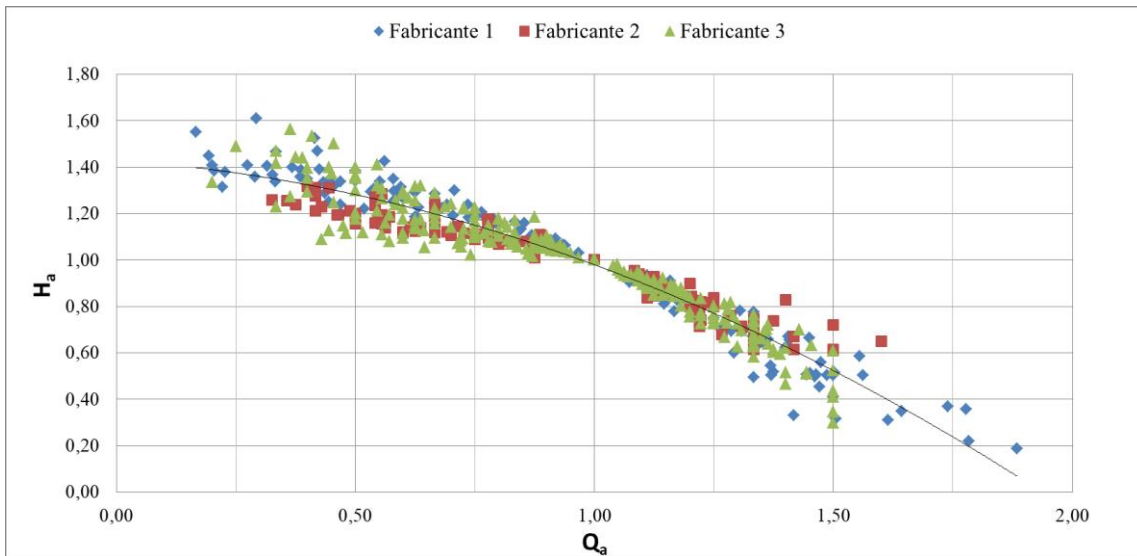


Figura 2 – Curva da bomba adimensional para as bombas estudadas.

A partir dos dados da Figura 2 foi obtida a equação 5 que representa o melhor ajuste dos dados, com coeficiente de determinação igual a 0,9311.

$$H_a = -0,3071Q_a^2 - 0,1443Q_a + 1,4307 \quad (5)$$

A Figura 3 apresenta os dados de η_a versus Q_a .

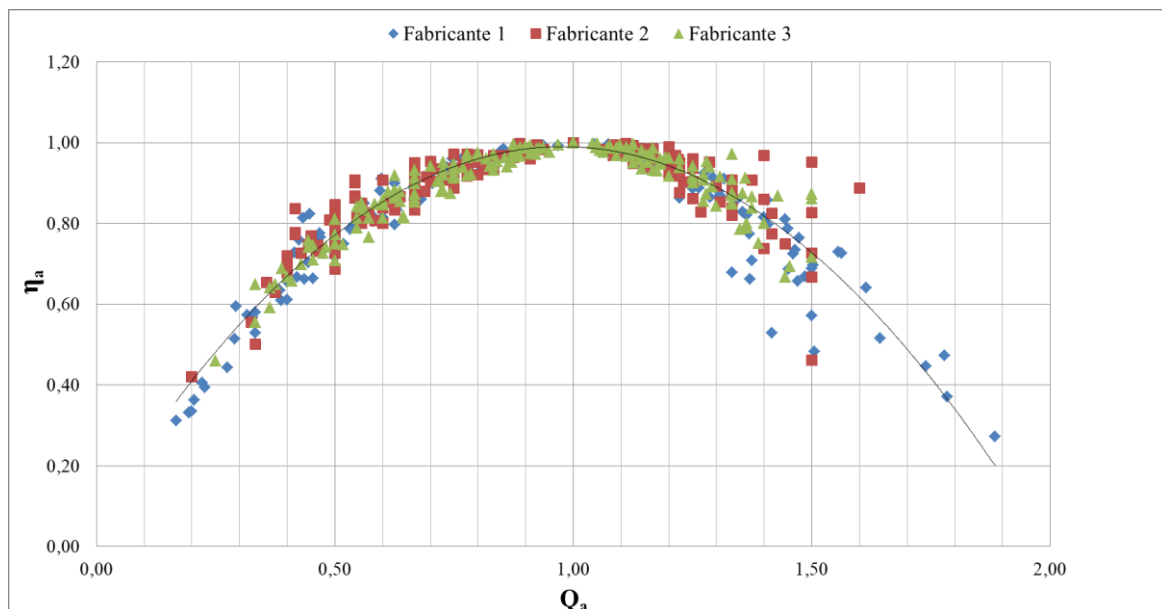


Figura 3 – Rendimento em função da vazão adimensional.

A partir dos dados da Figura 3, foi obtida a equação 6, que representa uma função quadrática cujo coeficiente de determinação é de 0,8929.

$$\eta_a = -0,9602Q_a^2 + 1,8766Q_a + 0,0731 \quad (6)$$

A equação 6 representa a relação entre o rendimento máximo e a vazão (ambos na forma adimensionalizada). Nota-se, que conforme a vazão de operação afasta-se do ponto Q_a igual a 1 observa-se uma redução do rendimento em ambos os sentidos. Essa equação está de acordo com o comportamento esperado para curvas de bombas, como verificado por Santos (2007).

Kuritzza et al. (2017) confeccionou gráficos semelhantes aos desse estudo. A Figura 5 compara os dados deste trabalho (em cores) com aqueles pelos autores (em escala de cinza).

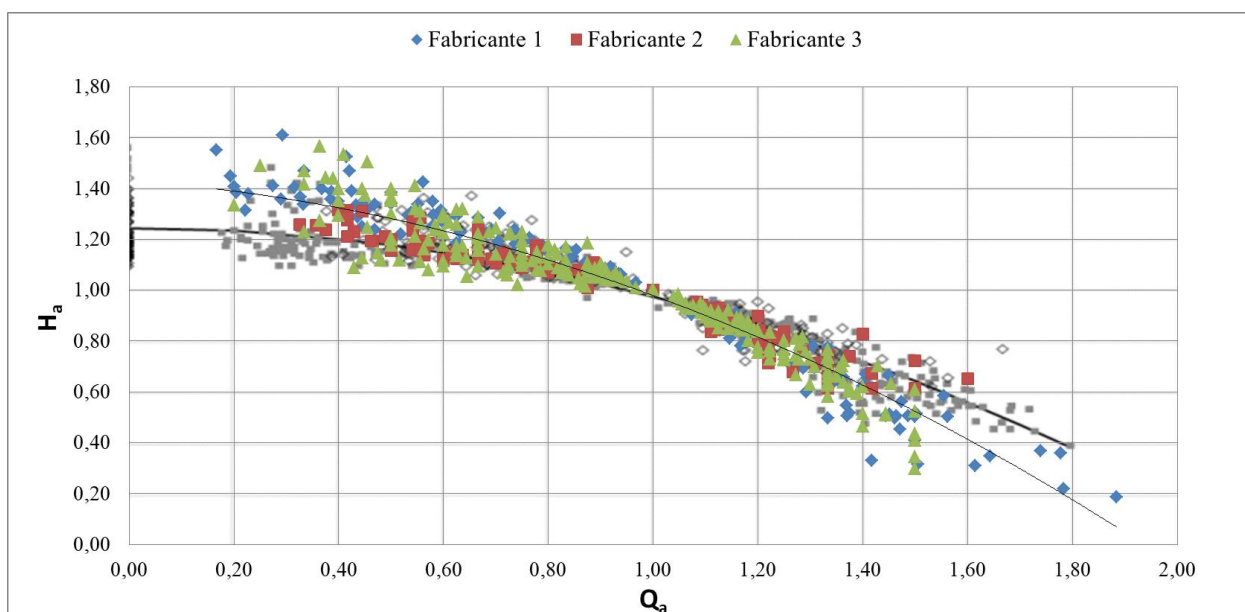


Figura 5 – Comparação entre os resultados deste trabalho com os de Kuritzza et al. (2017) .

As bombas avaliadas por Kuritzza et al. (2017) são de eixo horizontal, estágio único, e com rotor radial fechado. Os dados do presente trabalho são de bombas submersas de eixo vertical, multiestágios, com diferentes tipos de rotores. Apesar da diferença de construção das bombas centrífugas nota-se um comportamento semelhante quando se analisa o gráfico de altura manométrica adimensional em função da vazão adimensional. Enquanto os autores determinaram que a altura manométrica máxima do seu grupo de bombas era aproximadamente 1,25 vezes a altura nominal, o conjunto de bombas estudadas nesse artigo teve a altura manométrica máxima de aproximadamente 1,4 vezes a altura nominal, como pode ser observado na Figura 5.

A Figura 6 apresenta uma comparação entre o rendimento e a vazão adimensional de Kuritza et al. (2017) e os do presente trabalho.

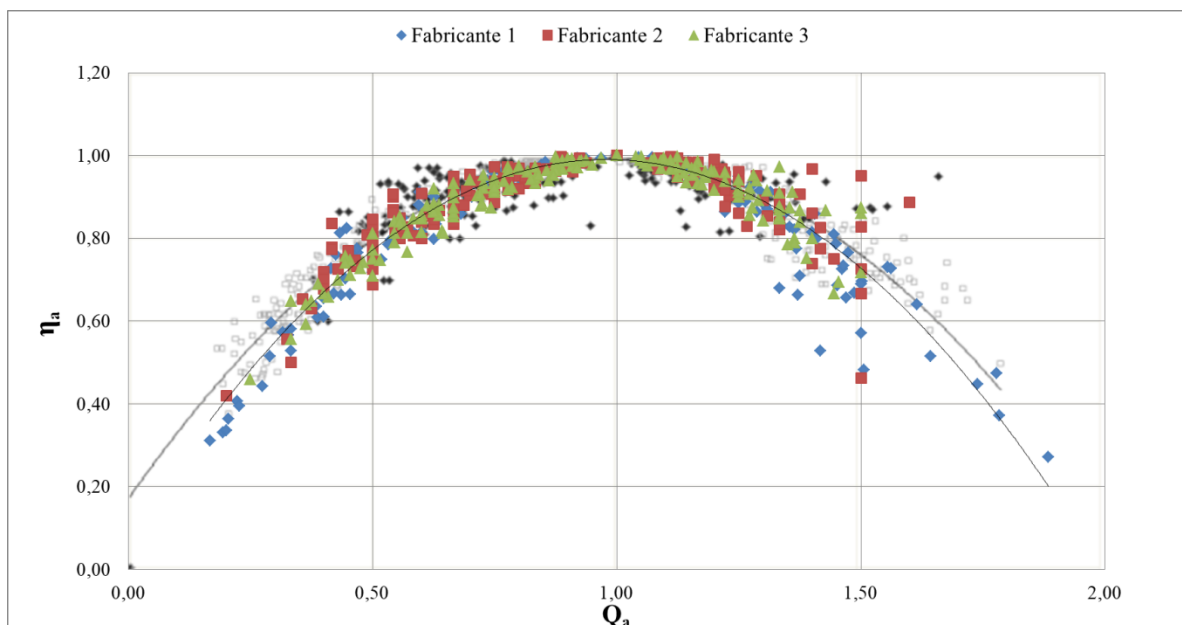


Figura 6 – Comparação entre os resultados deste trabalho com os de Kuritza et al. (2017).

Ambas as curvas apresentam o comportamento quadrático característico a curvas de rendimento de bombas centrífugas, onde o ponto de maior rendimento é associado à vazão nominal do sistema. Isso demonstra que, mesmo bombas de diferentes tipos, tendem a perder eficiência conforme a vazão de operação se afasta da vazão nominal.

CONCLUSÕES

Conforme aumenta a demanda global por água, se faz cada vez mais necessário procurar por sistemas de bombeamento mais eficientes. A partir da pesquisa desenvolvida conclui-se que a equação 5 apresenta um bom ajuste nos dados de altura manométrica adimensional e vazão adimensional em bombas centrífugas submersas de eixo vertical. A equação 6 apresenta uma boa correlação nos dados de rendimento e vazão adimensional em bombas centrífugas submersas de eixo vertical, e ambas as equações podem ser utilizadas para futuros estudos sobre a eficiência de conjuntos motobombas desse tipo. O comportamento das alturas manométricas e do rendimento obtidos nesse estudo se mostraram coerentes e com comportamento semelhante ao das bombas centrífugas de eixo horizontal apresentados por Kuritza et al. (2017).

Como continuidade desse trabalho sugere-se avaliar o comportamento das rotações específicas frente aos rendimentos máximos dos conjuntos motobombas estudados.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2021. Informe Anual. ANA. Brasília, 2021. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acessado em 26 de mai. de 2022.

HENN E. A. L. *Máquinas de fluido*. 3 ed. Santa Maria, Rs: UFSM, 2012.

KURITZA, Jóice Cristini et al. Curvas adimensionais de bombas centrífugas para sistemas de abastecimento de água: desenvolvimento e estudo de caso. **RBRH**, v. 22, 2017.

PERRONI, Julio Cesar Arantes; WENDLAND, Edson. Avaliação da eficiência energética em poços profundos utilizados para abastecimento público. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre**, v. 11, n. 3, p. 123-134, 2006.

SANTOS, Wellington Lima dos. Desenvolvimento de uma Metodologia para Representação Analítica de Curvas Características de Bombas Hidráulicas, visando sua Seleção, seu Dimensionamento e a Simulação de sua Operação. 2001.

SANTOS, Sérgio Lopes dos. *Bombas & instalações hidráulicas*. **São Paulo: LCTE**, 2007.

SOUSA, Anselmo Claudino de; SOARES, Alexandre Kepler. Modelo para otimização hidroenergética da operação de bombeamento em sistemas de distribuição de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 429-440, 2021.