

# CONIC SEMESP

17º Congresso Nacional de Iniciação Científica

**TÍTULO:** COEFICIENTE EXPERIMENTAL DA LEI DA AFINIDADE PARA ROTOR DE DISCO

**CATEGORIA:** CONCLUÍDO

**ÁREA:** ENGENHARIAS E ARQUITETURA

**SUBÁREA:** ENGENHARIAS

**INSTITUIÇÃO:** UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

**AUTOR(ES):** WESLEY MARTINS DOMINGUES, ALLANA HELEN MACHADO, CAROLINA AYRES FERNANDES, FERNANDA VITÓRIA DOS SANTOS LEITE, JULIANA MARINA DE CAMPOS, MILLYAM CRISTYE VARGAS DE BARROS, PALOMA RODRIGUES INOCÊNCIO

**ORIENTADOR(ES):** ALDO RAMOS SANTOS, DEOVALDO DE MORAES JÚNIOR, MARLENE SILVA DE MORAES, VITOR DA SILVA ROSA

Realização:

SEMESP 

Apoio:

  
CENTRO UNIVERSITÁRIO ÍTALO BRASILEIRO

## 1. RESUMO

A bomba centrífuga com rotor de disco pode ser empregada para deslocar líquidos com partículas de dimensões de até metade do diâmetro interno do tubo de recalque. É comumente utilizada para transportar laranja inteira e carga viva como, por exemplo, peixes, com rotação de aproximadamente 5 rps.

As leis da afinidade ou da semelhança, são práticas para se prever a influência da rotação de uma bomba na sua vazão, altura manométrica e potência. Com o rendimento ( $\eta$ ) constante, de forma aproximada, a vazão varia proporcionalmente à rotação, à altura manométrica, ao quadrado da rotação e à potência do motor que aciona a bomba varia com o cubo da rotação. Essas relações são de emprego difundido para bombas centrífugas com rotor fechado. A literatura é carente de informações concernentes ao emprego da lei da afinidade para bomba centrífuga com rotor de disco.

O presente trabalho visou determinar experimentalmente os coeficientes da lei da afinidade de uma bomba com rotor de disco no transporte de água. A unidade experimental consistiu basicamente de tubos de PVC transparente com diâmetro de 16 mm, um tanque para reciclo da água de 33 litros, um rotâmetro, uma bomba centrífuga com rotor de disco com diâmetro de 50 mm, um manômetro de tubo em "U" para leitura da diferença de pressão, um tacômetro para quantificar a rotação, um motor com rotação variável em balanço com dinamômetro para se determinar a força e conseqüentemente a potência.

Os dados referentes à rotação, vazão, altura manométrica e potência foram tratados graficamente através de linearizações, permitindo obter pelas inclinações das retas os coeficientes de 1,15, 3,00 e 1,36 para a vazão, altura manométrica e potência, respectivamente.

Apesar do rotor em disco fornecer variações pequenas de potência com a mudança da rotação, devido ao baixo rendimento, é preferível usar rotores fechados em bombas centrífugas, com exceção apenas se o líquido possuir sólidos particulados com grandes dimensões.

**Palavras-chave:** Lei da afinidade, bomba centrífuga, rotor de disco, coeficientes, carga viva.

## 2. INTRODUÇÃO

O rotor de disco instalado na carcaça de uma bomba centrífuga permite, pela sua geometria, o transporte de líquidos contendo sólidos com dimensões de até 50% do diâmetro do duto de saída. A bomba com rotor de disco emite pouco ruído, é de baixo custo de aquisição, operação e manutenção, além de possibilitar o transporte de carga viva. Em contrapartida não é indicada para altas pressões, está sujeita à incorporação de ar, requer escorva e possui baixa eficiência. Há uma carência de dados na literatura referente à influência da rotação na vazão, pressão e potência consumida por essa máquina de fluxo.

## 3. OBJETIVO

O estudo objetivou obter de forma experimental os coeficientes da rotação relativos à vazão, altura manométrica e potência da lei da afinidade de uma bomba com rotor de disco no transporte de água.

## 4. METODOLOGIA

Apresenta-se nas Figuras 1, 2 e 3 a unidade experimental empregada no presente estudo, projetada e construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília.

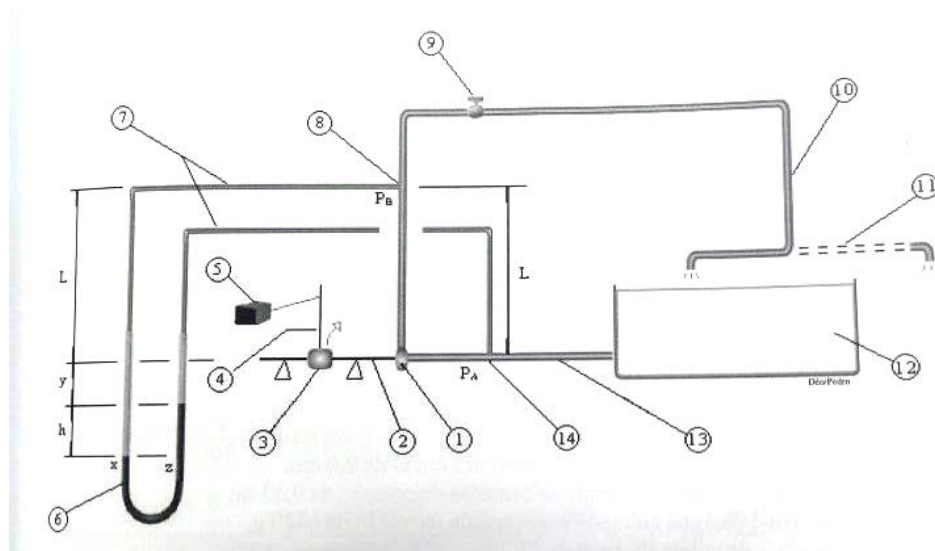


Figura 1 - Esboço da unidade experimental para estudo da influência da rotação nas curvas características de uma bomba centrífuga. 1) Bomba (Modelo: M30 BF); 2) Eixo; 3) Motor de rotação variável em balanço (suportado por dois rolamentos extra que permitem a rotação da carcaça); 4) Braço; 5) Dinamômetro; 6) Manômetro em "U" com mercúrio; 7) Tubo de polietileno flexível; 8) Tomada de pressão do recalque; 9) Válvula; 10) Duto de recalque  $1/2"$ ; 11) Braço flexível para coleta de água (medida da vazão); 12) Caixa com água; 13) Duto de sucção  $3/4"$  e 14) Tomada de pressão de sucção.

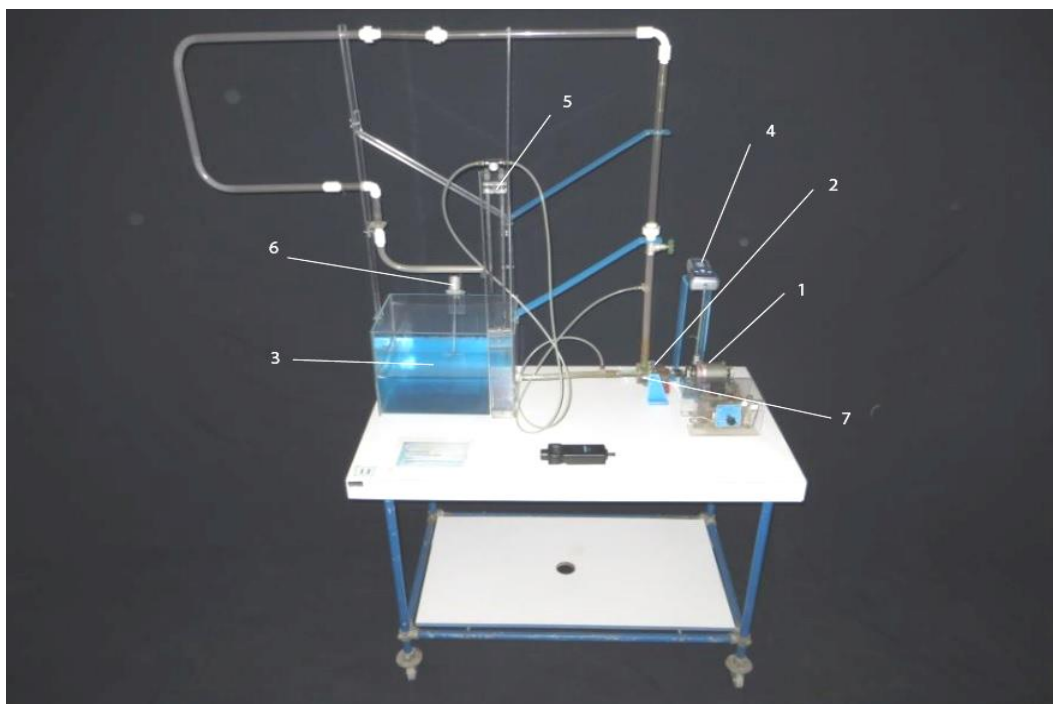


Figura 2 – Unidade experimental para análise da influência da rotação nas curvas características de uma bomba centrífuga. 1) Motor de rotação variável ao balanço; 2) Bomba centrífuga; 3) Caixa com água; 4) Dinamômetro; 5) Manômetro em “U” com mercúrio; 6) Braço flexível para coleta de água e 7) Rotor de disco.

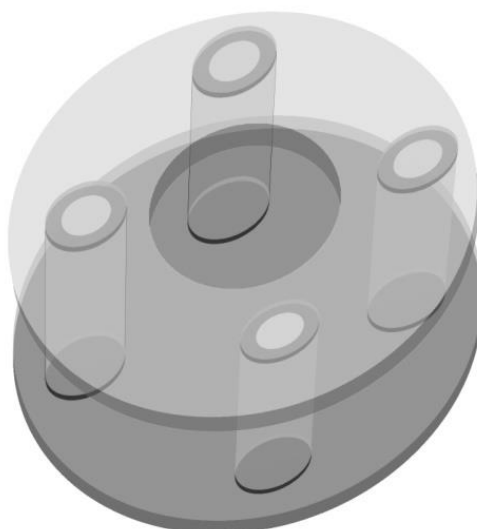


Figura 3 – Rotor de disco.

Os equipamentos empregados nas medidas foram um termômetro, um tacômetro, uma escala milimetrada, um dinamômetro, três cronômetros, um manômetro em “U”, dois becker’s e uma balança de precisão modelo BG-8000 da marca Gehaka.

## 5. DESENVOLVIMENTO

Foram realizados 17 ensaios com rotação variando entre 13,45 e 54,25 rps, visando obter os parâmetros relativos a vazão, altura manométrica e potência. Apresentam-se na Tabela 1 os dados experimentais dos ensaios 1, 9 (intermediário) e 17 (último).

Tabela 1 – Dados experimentais dos testes 1, 9 e 17.

| Testes                                      |                      | 1      | 9      | 17     |
|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Rotação                                     | (rps)                | 21,8   | 38,7   | 54,25  |
| Força pelo dinamômetro                      | (N)                  | 0,34   | 0,39   | 0,49   |
| Desnível do mercúrio no manômetro em “U”    | (m)                  | 0,028  | 0,088  | 0,165  |
| Massa da água coletada                      | (kg)                 | 3,976  | 3,840  | 3,731  |
| Tempo de coleta                             | (s)                  | 33,49  | 15,94  | 10,53  |
| Temperatura                                 | (°C)                 | 20     | 20     | 23     |
| Massa específica água (Moraes, Moraes 2017) | (kg/m <sup>3</sup> ) | 998,20 | 998,20 | 997,54 |

A vazão volumétrica (Q) em (m<sup>3</sup>/s) foi obtida pela relação entre a vazão mássica (W) em (kg/s) e a massa específica ( $\rho$ ) em (kg/m<sup>3</sup>), Equação 1.

$$Q = \frac{W}{\rho} \quad (1)$$

O balanço de energia mecânica entre os pontos 8 e 14 (Figura 1) fornece, considerando regime permanente, perda de carga e energia cinética desprezíveis, tem-se a Equação 2.

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_a} \quad (2)$$

Sendo:

H a altura manométrica (m)

$\Delta P$  a diferença de pressão (kgf/m<sup>2</sup>) entre os pontos 8 e 14

$\gamma_a$  o peso específico da água (kgf/m<sup>3</sup>)

A potência consumida pelo motor elétrico foi calculada colocando o mesmo em balanço, conforme a Equação 3.

$$\text{Pot} = F \cdot b \cdot 2\pi n \quad (3)$$

Em que:

Pot é a potência no eixo fornecida pelo motor (W)

F é a força pelo dinamômetro (N)

b é o braço (m)

n rotação (rps)

Determinou-se o rendimento (Equação 4) para obter o BHP “Brake, Horse, Power”.

$$\eta = \frac{\text{whp}}{\text{BHP}} = \frac{\text{whp}}{\text{Pot}} \quad (4)$$

Sendo:

$\eta$  o rendimento da bomba

whp a potência útil (hp)

Pot a potência no eixo fornecida pelo motor (hp)

Apresentam-se na Tabela 2 os parâmetros necessários aos cálculos dos coeficientes da lei da afinidade para os ensaios 1, 9 e 17.

Tabela 2 – Resultados dos cálculos dos testes 1, 9 e 17.

| Testes              |                       | 1       | 9       | 17       |
|---------------------|-----------------------|---------|---------|----------|
| Vazão Mássica       | (kg/s)                | 0,11871 | 0,24089 | 0,35434  |
| Vazão Volumétrica   | (m <sup>3</sup> /s)   | 0,00012 | 0,00024 | 0,00036  |
| Pressão             | (kgf/m <sup>2</sup> ) | 21,91   | 774,75  | 1739,99  |
| Altura Manométrica  | (mca)                 | 0,02195 | 0,77614 | 1,74429  |
| Potência no eixo    | (hp)                  | 0,01579 | 0,03216 | 0,05664  |
| Potência útil       | (hp)                  | 0,00003 | 0,00246 | 0,00813  |
| Rendimento da bomba | (%)                   | 0,21700 | 7,64471 | 14,34925 |

Os coeficientes relativos à vazão volumétrica, altura manométrica e potência em função da rotação foram obtidos experimentalmente pelas Equações 5, 6 e 7, respectivamente. As relações apresentadas nas equações supracitadas foram

desenvolvidas de forma gráfica visando obter os coeficientes através de regressões lineares.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{x_1} \quad (5)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{x_2} \quad (6)$$

$$\frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{x_3} \quad (7)$$

## 6. RESULTADOS

O estudo teve como variáveis os coeficientes da rotação referentes à lei da afinidade em relação à vazão, altura manométrica e potência. Apresentam-se na Tabela 3 as relações entre rotação, vazão volumétrica, altura manométrica e potência entre os ensaios.

Tabela 3 – Relações dos dados experimentais.

| <b>Relação de ensaios</b> | <b>N1/N2</b> | <b>Q1/Q2</b> | <b>H1/H2</b> | <b>Pot1/Pot2</b> |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| Ensaio 1/ Ensaio 2        | 0,87668      | 0,84855      | 0,16252      | 0,90324          |
| Ensaio 1/ Ensaio 3        | 0,81293      | 0,75756      | 0,09842      | 0,83756          |
| Ensaio 1/ Ensaio 4        | 0,74743      | 0,69683      | 0,06530      | 0,81976          |
| Ensaio 1/ Ensaio 5        | 0,69723      | 0,63542      | 0,04886      | 0,76470          |
| Ensaio 1/ Ensaio 6        | 0,65828      | 0,58617      | 0,04394      | 0,62171          |
| Ensaio 1/ Ensaio 7        | 0,62824      | 0,55021      | 0,03511      | 0,54770          |
| Ensaio 1/ Ensaio 8        | 0,59079      | 0,52500      | 0,03078      | 0,54288          |
| Ensaio 1/ Ensaio 9        | 0,56331      | 0,49281      | 0,02829      | 0,49109          |
| Ensaio 1/ Ensaio 10       | 0,54364      | 0,47585      | 0,02578      | 0,47394          |
| Ensaio 1/ Ensaio 11       | 0,52091      | 0,45659      | 0,02275      | 0,46608          |
| Ensaio 1/ Ensaio 12       | 0,48643      | 0,41791      | 0,01968      | 0,42406          |
| Ensaio 1/ Ensaio 13       | 0,46781      | 0,40845      | 0,01768      | 0,40784          |
| Ensaio 1/ Ensaio 14       | 0,44995      | 0,38045      | 0,01522      | 0,40259          |
| Ensaio 1/ Ensaio 15       | 0,42468      | 0,36567      | 0,01389      | 0,37997          |
| Ensaio 1/ Ensaio 16       | 0,41119      | 0,34763      | 0,01277      | 0,35847          |
| Ensaio 1/ Ensaio 17       | 0,40184      | 0,33479      | 0,01259      | 0,27883          |

Na Figura 4 está apresentado a relação de vazões ( $Q_1/Q_2$ ) pela relação de rotações ( $N_1/N_2$ ). Analogamente, as Figuras 5 e 6 estão plotadas as relações de altura manométrica e potência.

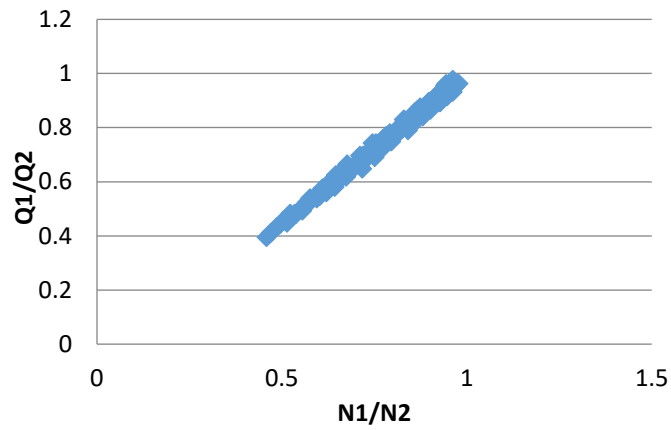


Figura 4 – Relação entre a vazão e rotação.

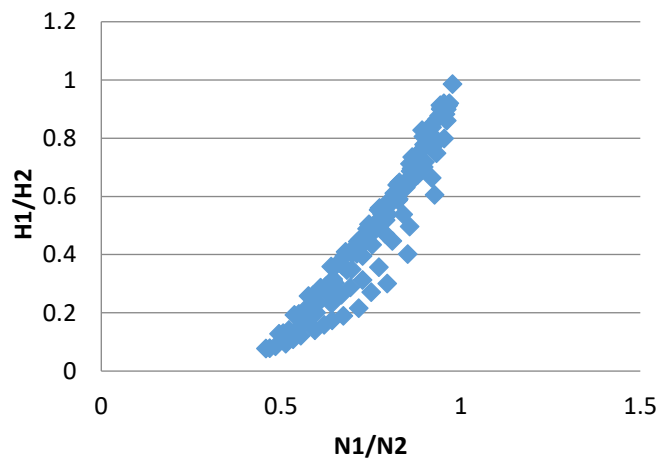


Figura 5 – Relação entre altura manométrica e rotação.

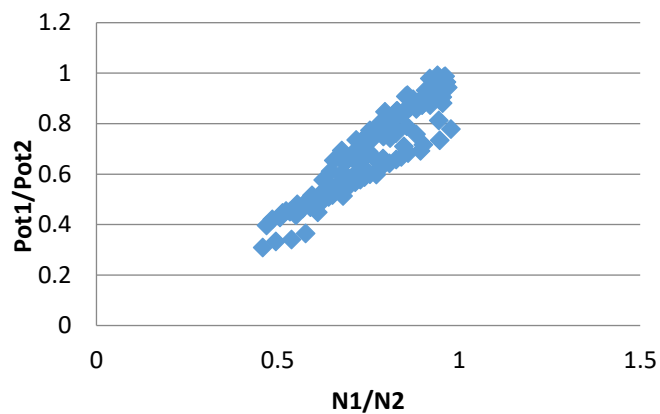


Figura 6 – Relação da potência e rotação.



As Figuras 4, 5 e 6 foram linearizadas, de tal forma que o coeficiente angular é o coeficiente da lei da afinidade.

Tem-se nas Figuras 7, 8 e 9 as linearizações para as relações de vazão, altura manométrica e potência.

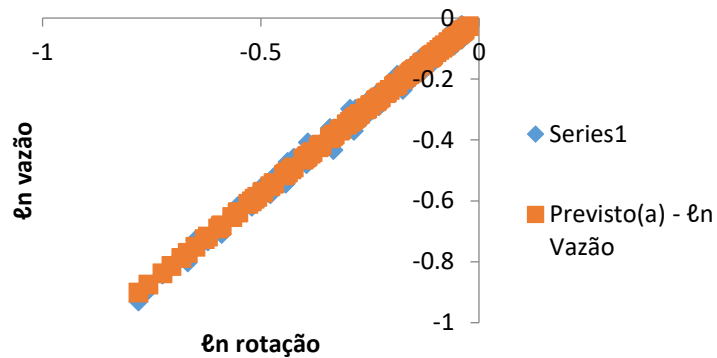


Figura 7 – Plotagem de ajuste de linha da vazão pela rotação.

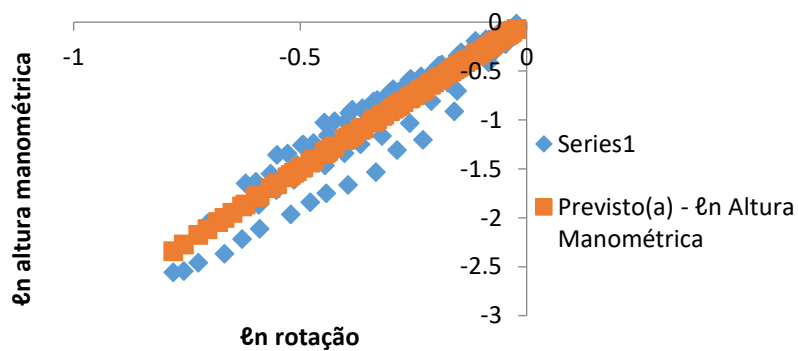


Figura 8 – Plotagem de ajuste de linha da altura manométrica pela rotação.

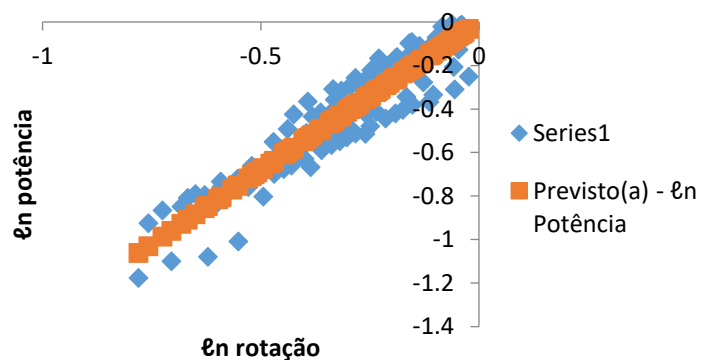


Figura 9 – Plotagem de ajuste de linha da potência pela rotação.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores dos coeficientes da lei da afinidade e o valor do  $R^2$  ajustado.

Tabela 4 – Expoente da lei da afinidade e  $R^2$  ajustado.

|                         | <b>Vazão</b> | <b>Altura manométrica</b> | <b>Potência</b> |
|-------------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| <b>Expoente</b>         | 1,15         | 3,00                      | 1,36            |
| <b><math>R^2</math></b> | 0,99         | 0,96                      | 0,95            |

Como o rotor em disco é aberto, apenas o coeficiente da vazão, o qual foi de 1,15 se aproximou do valor para rotor fechado, sendo de 1,0, com um desvio de apenas 15%. Entretanto houve grande discrepância entre os expoentes da altura manométrica e potência quando comparados com os expoentes do rotor fechado.

Isso ocorre, pois no rotor de disco, por ele ser aberto, o fluido não recebe de forma integral a força centrífuga devido aos caminhos preferenciais. Desse modo, com a variação de rotação, não é necessário um grande valor de potência para variações significativas de altura manométrica, visto o baixo valor do expoente da potência, de 1,36 e o elevado valor do expoente da altura manométrica em 3,0.

O rendimento da bomba foi muito pequeno, da ordem de 20%, o que significa que apesar da pouca variação de potência entre as rotações, uma parcela muito grande da potência total fornecida ao motor elétrico está sendo perdida ao meio externo ao rotor.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através das linearizações obtidas graficamente, obteve-se os coeficientes, para rotor em disco, com valores de 1,15, 3,00 e 1,36 com um  $R^2$  ajustado e 0,99, 0,96 e 0,95 para a vazão volumétrica, altura manométrica e potência, respectivamente.

Constatou-se que apenas o expoente da vazão em 1,15 se aproximou do valor de 1,00 para rotores fechados, enquanto que os demais expoentes se afastaram de forma significativa.

O uso do rotor em disco aberto aparentemente necessita de pouca variação de potência para mudanças de rotações, entretanto, devido ao baixo rendimento,

grande parte da potência total é perdida, o que em termo prático é uma grande desvantagem.

#### **8. FONTES CONSULTADAS**

1. Macintyre, A. J, Bombas e Instalações de Bombeamento, ed. Guanabara Dois, 1980.
2. Moraes, D. Moraes, M.S; Laboratório de operações unitárias I 2ª ed. 2017. 216p.
3. < <https://discflo.com> >. Acesso em: 15 ago 2017.