



Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Disciplina: ENS5101 – Hidráulica

# **LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA**

## **Aula Prática - Curvas Características e Associação de Bombas Centrífugas**

Profª. Drª Nadia Bernardi Bonumá

Florianópolis, maio de 2016.

## Roteiro - Aula Prática de Curvas Características e Associação de Bombas Centrífugas

**1. Objetivo do experimento:** Estudo de curvas características de bombas centrífugas individuais e em associação. Demonstração do fenômeno da cavitação. Medições de alturas manométricas, vazões e potências. Estimativas de eficiências de bombeamento.

### **2. Equipamentos, materiais e procedimento experimental**

O equipamento utilizado está ilustrado na Figura 1 e na Figura 2, e é composto por:

- Um reservatório de água (RA);
- Dois conjuntos motor-bombas centrífugas (BC1 e BC2), com  $\cos\phi = 0,72$  e  $\eta_m = 0,66$ ;
- Medidor de vazão (Rotâmetro – MV);
- Três manômetros de tubo de vidro em U, contendo mercúrio metálico como fluido manométrico (MU1, MU2 e MU3);
- Três manômetros do tipo Bourdon (MB1, MB2 e MB3);
- Três válvulas de regulação de vazão (VR1, VR2 e VR3);
- Seis válvulas de travamento (VT1 a VT6);
- Uma válvula simuladora de cavitação (VSC);
- Válvula de travamento (VT7) e válvula de alívio (VA) ao fim do circuito e
- Painel elétrico com dois Watímetros

O procedimento experimental consiste em realizar medidas, para diversas vazões, de:

- pressão antes e depois de uma bomba, afim de se estimar a altura manométrica e elaborar a curva característica e
- consumo de energia elétrica, afim de se elaborar a curva de rendimento.

Posteriormente o procedimento é repetido com as duas bombas em série ou em paralelo.

Ao fim do experimento, é realizada demonstração do fenômeno da cavitação, através do fechamento gradual da válvula simuladora de cavitação.



Figura 1. Experimento para determinação de curvas características de bombas centrífugas.

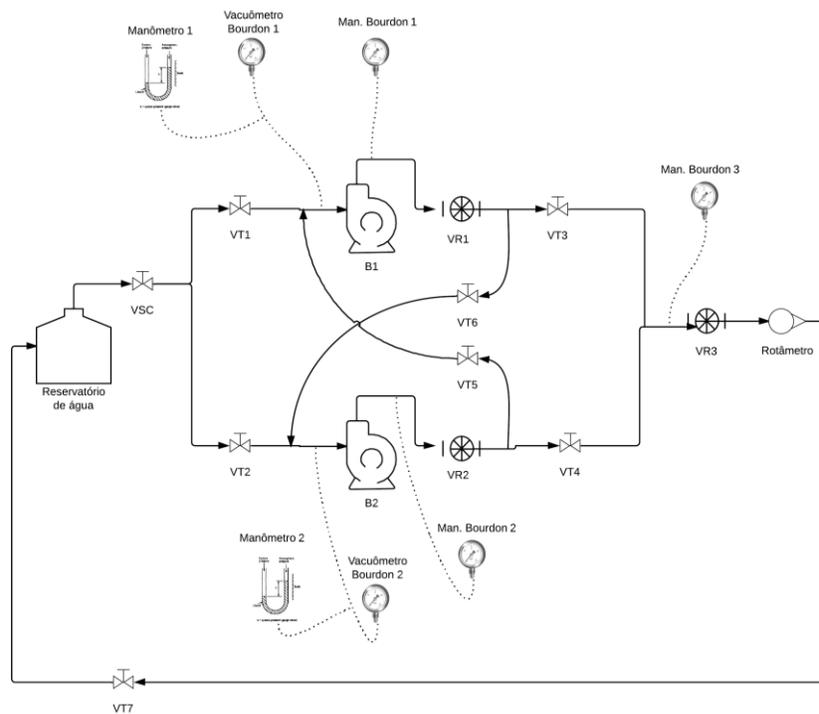


Figura 2. Esquema do experimento.

### Cálculo da altura manométrica da bomba e da associação

Para o cálculo da altura manométrica, utiliza-se a equação de energia, considerando o volume de controle a entrada e a saída da bomba:

$$\frac{V_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma} + Z_e + H = \frac{V_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + Z_s$$

Para o experimento, o diâmetro de sucção é igual ao de recalque, logo, como a vazão de entrada é igual à de saída, às velocidades também são as mesmas. Considerando que não há diferença de alturas geométricas na entrada e na saída, a carga potencial também se equipara. Logo, a Equação de energia pode ser reduzida a:

$$H = \frac{p_s - p_e}{\gamma} = \Delta p$$

Ou seja, a altura manométrica da bomba será igual à diferença de pressão que existe antes e depois (em m.c.a). Isso significa que toda a carga energética fornecida pela bomba serve para gerar um aumento de pressão no escoamento.

Em laboratório, serão medidas a pressão na entrada através de um vacuômetro (só mede pressão negativa) e a de saída através de um manômetro. Os valores serão anotados e convertidos para m.c.a, para depois fazer a subtração e descobrir a altura manométrica da bomba.

Para as associações, devem ser levadas em conta as seguintes situações:

- Associação em série: vazões são iguais e perdas de cargas são somadas
- Associação em paralelo: vazões são somadas e perdas de carga são iguais

Portanto, no experimento, serão realizadas as medidas da vazão de cada bomba em um rotâmetro (que será igual nas duas bombas) e das respectivas perdas de carga (cada bomba terá uma medição experimental).

Para os cálculos, na associação em série, deve-se somar as perdas medidas e considerar a vazão medida no rotâmetro como a vazão da associação. Já na em paralelo, faz-se a média das perdas medidas (porque elas deveriam ser iguais) e duplica-se a vazão medida no rotâmetro para achar a da associação (pois as duas vazões são iguais e, em paralelo, somam-se as vazões)

### Revisão de Potências e Rendimentos Hidráulicos e Elétricos:

O motor elétrico tem como função transformar a energia elétrica em energia mecânica no rotor da bomba. Entretanto nem toda energia elétrica é convertida em energia mecânica e nem toda energia mecânica é convertida em energia hidráulica.

- **Potência disponível** é a potência fornecida pela rede elétrica:

$$Pot_d = U \cdot I$$

sendo que:

$Pot_d$  = potência disponível, lida no wattímetro (W);

$U$  = tensão elétrica (volts);

$I$  = corrente elétrica (ampère);

- **Potência absorvida** é a potência elétrica que o motor retira da rede:

$$Pot_a = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

sendo que:

$Pot_a$  = potência absorvida pelo motor (W);

$\cos \varphi$  = fator de potência do motor elétrico (entre 0,65 a 0,75);

- **Potência útil** é a potência mecânica disponível no eixo do motor:

$$Pot_u = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_m$$

$$\eta_m = \frac{Pot_u}{Pot_a} \rightarrow Pot_u = Pot_a \cdot \eta_m$$

sendo que:

$Pot_u$  = potência útil (W);

$\eta_m$  = rendimento do motor (ou rendimento elétrico)

- **Potência da bomba** é a potência consumida pela bomba:

$$Pot_b = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta_b}$$

sendo que:

$Pot_b$  = potência consumida pela bomba (W);

$\gamma$  = peso específico (N/m<sup>3</sup>);

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$H_m$  = altura manométrica (m);

$\eta_b$  = rendimento da bomba.

A potência fornecida pelo motor que aciona a bomba (**potência útil**) pode ser escrita como:

$$Pot_u = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta_b \cdot \eta_m}$$

- **Potência hidráulica** é a potência fornecida pela bomba ao líquido:

$$Pot_H = \gamma \cdot Q \cdot H_m$$

Para obter o rendimento hidráulico (rendimento global do conjunto elevatório), basta multiplicar o rendimento da bomba pelo rendimento do motor:

$$\eta_H = \eta_b \cdot \eta_m = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{Pot_u \cdot \eta_m} \cdot \frac{Pot_u}{Pot_a} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{Pot_a \cdot \eta_m} = \frac{Pot_H}{Pot_u}$$

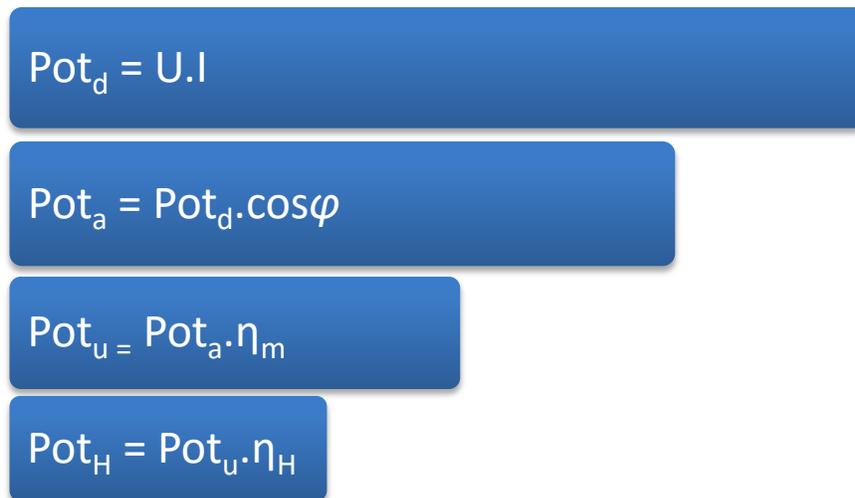
A potência hidráulica pode ser escrita em função da potência útil:

$$Pot_H = \gamma \cdot Q \cdot H_m = Pot_u \cdot \eta_b \cdot \eta_m = Pot_u \cdot \eta_H$$

sendo que:

$Pot_H$  = potência hidráulica (W);

$\eta_H$  = rendimento hidráulico.



**Figura 3. Conversões entre potência elétrica disponível, elétrica absorvida, mecânica útil e hidráulica.**

### 3. Cálculos e análise dos resultados

Nessa etapa, faça uma (ou mais) tabela (s) contendo os seguintes resultados:

1. Ramo 1 (Bomba individual):
  - a. Diferença de pressão na bomba para cada vazão
  - b. Altura manométrica da bomba para cada vazão
  - c. Potência hidráulica na bomba para cada vazão
  - d. Potência absorvida pelo motor para cada vazão
  - e. Potência útil para cada vazão
  - f. Rendimento hidráulico para cada vazão
2. Ramo 2 (Associação)
  - a. Diferença de pressão em cada bomba para cada vazão
  - b. Altura manométrica da associação para cada vazão
  - c. Potência hidráulica da associação para cada vazão
  - d. Potência absorvida pela associação para cada vazão

- e. Potência útil da associação para cada vazão
- f. Rendimento hidráulico da associação para cada vazão

### **Gráficos**

#### 1. Ramos 1 e 2

- a. Em um **mesmo gráfico**, plote a curva manométrica da bomba individual (Ramo 1) com a da associação (Ramo 2) ( $H_m \times Q$ )
- b. Em um **mesmo gráfico**, plote a curva de potência hidráulica da bomba individual (Ramo 1) com a da associação (Ramo 2) ( $P_h \times Q$ )
- c. Em um **mesmo gráfico**, plote a curva da potência útil e hidráulica em função da vazão para a bomba individual (Ramo 1) ( $P_h \times Q$  e  $P_u \times Q$ )
- d. Repita os procedimentos de “c” para a associação (Ramo 2)
- e. Em um **mesmo gráfico**, plote a curva do rendimento hidráulico em função da vazão para a bomba individual (Ramo 1) com a da associação (Ramo 2)

### **Questionário**

A discussão deve conter as respostas do questionário atualizado presente no site do Lab.Hidra

### **Bibliografia:**

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. Manual de Hidráulica. 8a ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

ECOEDUCACIONAL. Roteiros de aulas práticas. 2012.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 4<sup>ed</sup> São Carlos: EESC-USP, 2006. 540p.