

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

AULA 10 – ROTEIRO

Tópicos da aula:

- 1) Bombas hidrodinâmicas – sistemas constituintes
- 2) Rotores
- 3) Terminologia utilizada em sistemas de recalque
- 4) Curvas características das bombas hidrodinâmicas
- 5) Projeto de um sistema de recalque
- 6) Exercício para entrega (Provinha Aula 10)

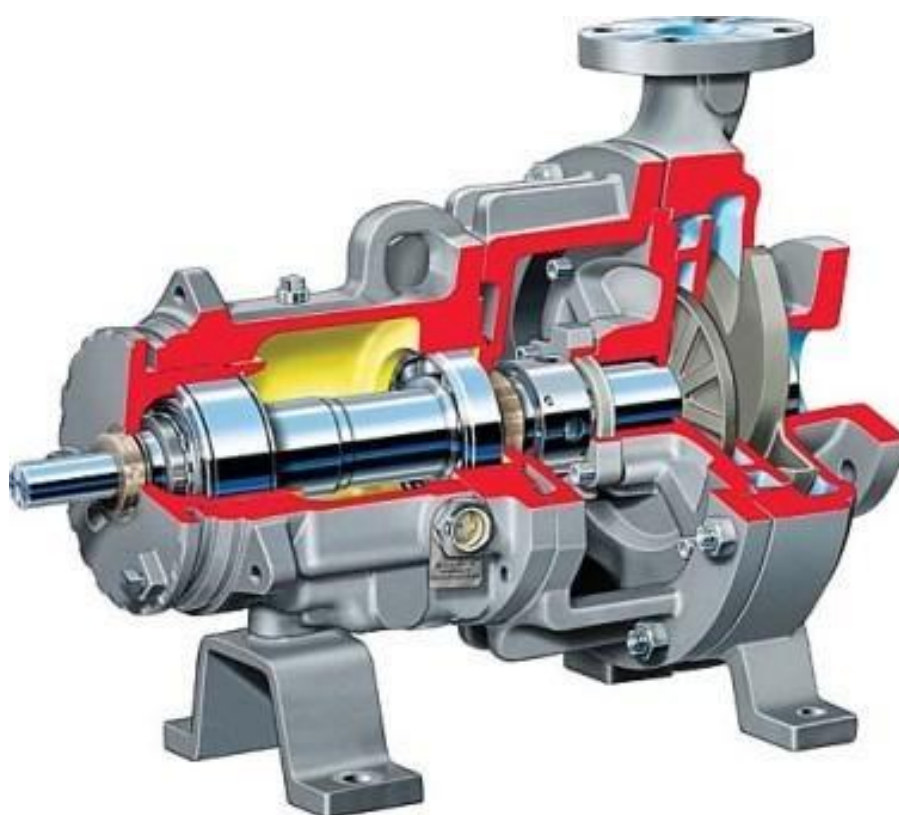
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 10 – Bombas Hidráulicas e Sistemas de Bombeamento

1. Bombas Hidrodinâmicas – Sistemas constituintes



1.1. SFH - Sistema Fixo Hidrodinâmico

- Carcaça, seção de entrada e seção de saída
- Função: guiar o líquido

1.2. SRH - Sistema Rotativo Hidrodinâmico

- Rotor, eixo e acoplamento motor-eixo
- Função: fornecer energia ao líquido

1.3. Sistemas Auxiliares

- a) Apoio: pelo menos 2 mancais
- b) Vedação: isola o eixo na transição do meio externo para o interno
 - Gaxeta – cordão de amianto entrelaçado
Ajustes devido ao desgaste
 - Selo mecânico – estanque, sem ajustes

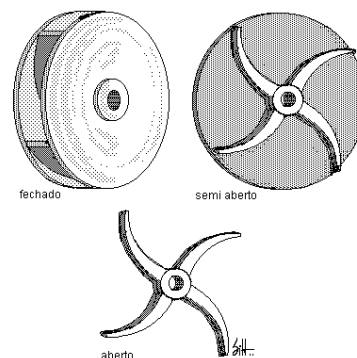


- c) Lubrificação: óleo , graxa
Grandes bombas possuem lubrificação forçada

2. Rotores

2.1. Tipos

- a) Abertos: líquidos com sólidos em suspensão
- b) Fechados: líquidos sem sólidos em suspensão



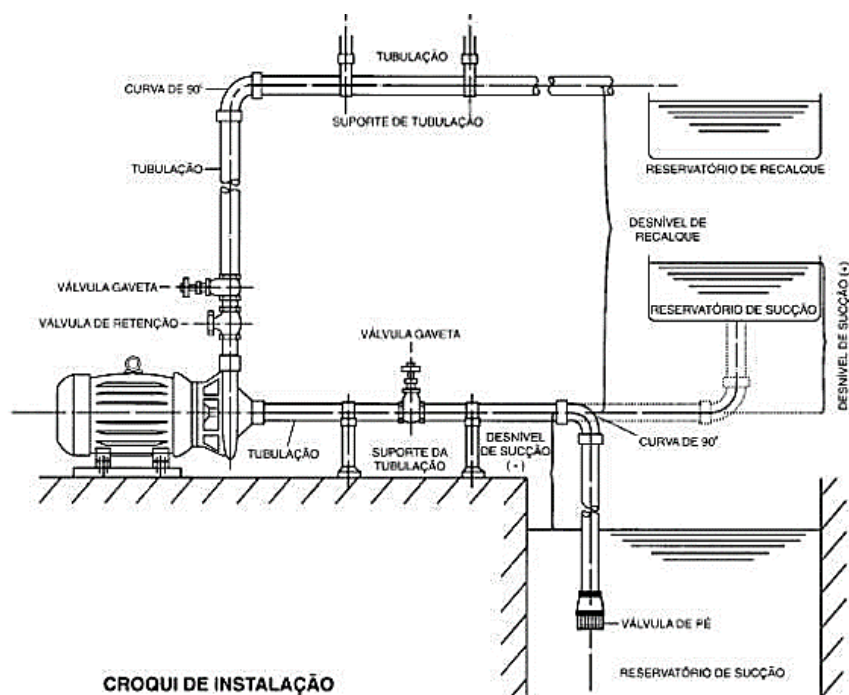
2.2. Número

- a) Monoestágio: apenas um rotor
- b) Multiestágio: mais de um rotor (pressões mais elevadas)



3. Terminologia

3.1. Sucção e recalque



SUCÇÃO

H_g – altura geométrica de sucção

h_{f_s} – perda de carga na sucção

H_{m_s} – altura manométrica de sucção

$$H_{m_s} = H_g + h_{f_s}$$

RECALQUE

H_g – altura geométrica de recalque

h_{f_R} – perda de carga no recalque

H_{m_R} – altura manométrica de recalque

$$H_{m_R} = H_g + h_{f_R}$$

SISTEMA DE BOMBEAMENTO

H_{m_T} – altura manométrica total

$$H_{m_T} = H_{m_s} + H_{m_R}$$

3.2. Potência

a) Potência hidráulica (P_{hid})

$$P_{\text{hid}} = \gamma \times Q \times H_m$$

b) Potência absorvida (P_{abs})

$$P_{\text{abs}} = \frac{P_{\text{ot}_{\text{hid}}}}{\eta_b}$$

η_b – rendimento da bomba

c) Potência do motor elétrico:

Potência necessária na bomba (HP ou CV)	Potência do motor elétrico	
	CV	kW
0 – 0,4	0,75 (+88%)	0,55
0,41 – 0,7	1,00 (+144% a 43%)	0,74
0,71 – 1,2	1,50 (+111% a 25%)	1,10
1,21 – 1,6	2,00 (+65% a 25%)	1,47
1,61 – 15,0	----- 20% de folga -----	
> 15,0	----- 15% de folga -----	

d) Potências nominais de motores elétricos padronizados (Norma ABNT) – em CV

1/12	1/8	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1
1,5	2	3	4	5	6	7,5	10
12,5	15	20	25	30	40	50	60
75	100	125	150	200			

4. Curvas características das bombas hidrodinâmicas

- Provenientes de ensaios de bombas a uma rotação constante
- Rotações mais utilizadas (rotação dos motores elétricos)

3500 RPM

1750 RPM

1120 RPM (casual)

4.1. Curva Vazão x Pressão (Q x Hm)

- Bombas geralmente têm várias opções de rotores (diâmetros variados)
- Cada rotor tem sua própria curva

4.2. Curva Vazão x Rendimento (Q x η_b)

- Capacidade de conversão de energia motriz (motor) em hidráulica (bomba)

4.3. Curva Vazão x Potência (Q x Pot)

- Junto com a curva Q x η_b , é utilizada para calcular o consumo de energia e escolher o motor da bomba

4.4. NPSH (*Net Positive Suction Head*) ou APLS (altura positiva líquida de sucção)

NPSH_d (disponível) – disponibilidade de energia com que o líquido entra na bomba

- Depende das condições locais
- Característica da instalação da bomba

$$NPSH_d = \frac{P_{atm\ local}}{\gamma} - H_{gs} - h_{fs} - H_v$$

H_v - pressão de vapor do líquido

NPSH_r (requerido) – limite de pressão de sucção no qual o desempenho em perda de carga total da bomba é reduzido em 3%, devido à cavitação.

- É a energia que deve estar disponível no interior da bomba para evitar a cavitação
- NPSH_r é fornecido pelo fabricante

Cavitação: fenômeno em que o líquido atinge pressão inferior à pressão atmosférica (P_{atm}), de tal monta que se torna inferior à sua pressão de vapor (H_v).

O líquido entra em ebulição à temperatura ambiente e transforma-se em vapor.

Em seguida, recebe um acréscimo de energia das pás do rotor e a pressão torna-se superior à P_{atm}. Nesse momento ocorrem explosões de curta duração, mas de grande intensidade.

- Efeito: erosão de partículas metálicas da cavidade de bombeamento e do rotor

Para evitar a cavitação:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

- Observando a equação do $NPSH_d$:

$$NPSH_d = \frac{P_{atm\ local}}{\gamma} - H_{gs} - h_{fs} - H_v$$

- Conclui-se que os únicos termos em que é possível modificar são **Hgs** e **hfs**.

- **hfs** é função do material e do comprimento da tubulação de sucção

- **Hgs** é o desnível da água à sucção da bomba

a) Altura máxima de sucção

$$H_{gs\ max} = \frac{P_{atm\ local}}{\gamma} - NPSH_r - h_{fs} - H_v$$

b) Casa de bombas flutuante

c) Casa de bombas móvel

d) Bomba auxiliar em série

4.2. Exemplos

4.2.1. Dados:

Altitude = 900 m

Líquido: água a 30°C ($H_v = 0,433$ mca)

Sucção: $H_{gs} = 4$ m

$Q = 35$ m³/h

$h_{fs} = 1$ mca

NPSH_r = 6 mca (catálogo da bomba)

Pede-se:

- O NPSH_d
- Verificar se haverá cavitação
- Determinar a máxima altura geométrica de sucção para evitar a cavitação

Solução:

$$a) \text{ NPSH}_d = \frac{P_{atm \text{ local}}}{\gamma} - H_{gs} - h_{fs} - H_v$$

$$P_{atm \text{ local}} = 10,33 - 0,12 \times \frac{900}{100} = 9,25 \text{ mca}$$

$$\text{NPSH}_d = 9,25 - 4 - 1 - 0,433$$

$$\text{NPSH}_d = 3,817 \text{ mca}$$

$$b) \text{ NPSH}_r > \text{NPSH}_d \Rightarrow \text{haverá cavitação}$$

c) Para não haver cavitação:

$$H_{gS \text{ max}} = \frac{P_{atm \text{ local}}}{\gamma} - \text{NPSH}_r - h_{fs} - H_v$$

$$H_{gS \text{ max}} = 9,25 - 6 - 1 - 0,433$$

$$H_{gS \text{ Max}} = 1,817 \text{ mca}$$

5. Projeto de um sistema de recalque

5.1. Passos para o dimensionamento

- a) Definir o diâmetro da tubulação de recalque (D_R)
- b) Calcular a perda de carga no recalque (hf_R)
- c) Calcular a altura manométrica de recalque (Hm_R)
- d) Definir o diâmetro da tubulação de sucção (D_S)
- e) Calcular a perda de carga na sucção (hf_S)
- f) Calcular a altura manométrica de sucção (Hm_S)
- g) Calcular a altura manométrica total
- h) Dimensionar a bomba
- i) Dimensionar o motor
- j) Calcular o $NPSH_d$
- k) Verificar o risco de cavitação
- l) Determinar a máxima altura de sucção

Esquema: (Figura no caderno)

Dados:

1) Cotas:

- a. Nível da água: 96 m
- b. Bomba: 100 m
- c. Reservatório: 134 m

2) Altitude local: 500 m

3) Comprimentos:

- a. Recalque (L_R): 300 m
- b. Sucção (L_S): 10 m

4) Líquido: água a 20°C ($H_v = 0,239$ mca)
Vazão (Q): 30 m³/h

5) Material da tubulação: PVC ($C = 150$)

6) Acessórios:

- a. Sucção:
 - 1 válvula de pé com crivo
 - 1 curva 90° raio longo
 - 1 redução excêntrica

b. Recalque:

- 1 válvula de retenção
- 1 registro de gaveta
- 3 curvas 90° raio longo

Solução:

a) Cálculos preliminares:

$$H_{gs} = 100 - 96 = 4 \text{ m}$$

$$H_{gr} = 134 - 100 = 34 \text{ m}$$

$$P_{atm \text{ local}} = 10,33 - 0,12 \times \frac{500}{100} = 9,73 \text{ mca}$$

b) Diâmetro de sucção:

Critério de velocidade de escoamento

$$V = 1,0 \text{ m/s} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 1,0}} = 0,0976 \text{ m (mm)}$$

Diâmetros comerciais disponíveis: 100 mm e 125 mm (DI = 97,6 mm e 120 mm)

$$\text{Velocidade de escoamento } c/Dc: V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$D = 100 \text{ mm} \Rightarrow V = \frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 0,0976^2} = 1,11 \text{ m/s}$$

$$D = 125 \text{ mm} \Rightarrow V = \frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 0,120^2} = 0,73 \text{ m/s}$$

Diâmetro escolhido: 100 mm (DI = 97,6 mm)

c) Perdas de carga na sucção:

$$J = 10,65 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times \frac{1}{D^{4,87}}$$

$$J = 10,65 \times \left(\frac{0,0083}{150}\right)^{1,852} \times \frac{1}{0,0976^{4,87}} = 0,0117 \text{ m/m}$$

Perdas de carga localizadas (Le):

$$1 \text{ válvula de pé com crivo: } Le = 1 \times 18,3 \text{ m} = 18,3 \text{ m}$$

$$1 \text{ redução excêntrica: } Le = 1 \times 0,4 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$$

$$1 \text{ curva } 90^\circ \text{ raio longo: } Le = 1 \times 2,1 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Total: } Le = 20,8 \text{ m}$$

$$L' = L + Le = 10 + 20,8 = 30,8 \text{ m}$$

$$hf_R = 0,0117 \times 30,8 \cong 0,4 \text{ mca}$$

d) Altura manométrica de sucção:

$$H_{mS} = H_{gS} + hf_S$$

$$H_{mS} = 4 + 0,4 = 4,4 \text{ m}$$

e) Diâmetro de recalque:

Critério de velocidade de escoamento

$$V = 1,2 \text{ m/s} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 1,2}} = 0,094 \text{ m} \quad (94 \text{ mm})$$

Diâmetros comerciais disponíveis: 100 mm e 75 mm (DI = 97,6 mm e 72,5 mm)

$$\text{Velocidade de escoamento c/ Dc: } V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$D = 100 \text{ mm} \Rightarrow V = \frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 0,0976^2} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$D = 75 \text{ mm} \Rightarrow V = \frac{4 \times 0,0083}{\pi \times 0,0725^2} \cong 2,0 \text{ m/s}$$

Diâmetro escolhido: 100 mm

f) Perdas de carga no recalque:

$$J = 10,65 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times \frac{1}{D^{4,87}} \quad J = 10,65 \times \left(\frac{0,0083}{150}\right)^{1,852} \times \frac{1}{0,0976^{4,87}} = 0,0117 \text{ m/m}$$

Perdas de carga localizadas (L_e):

$$1 \text{ válvula de retenção: } L_e = 1 \times 6,4 \text{ m} = 6,4 \text{ m}$$

$$1 \text{ registro de gaveta: } L_e = 1 \times 0,7 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

$$3 \text{ curvas } 90^\circ \text{ raio longo: } L_e = 3 \times 2,1 \text{ m} = 6,3 \text{ m}$$

$$\text{Total: } L_e = 13,4 \text{ m}$$

$$L' = L + L_e = 300 + 13,4 = 313,4 \text{ m}$$

$$h_{fR} = 0,0117 \times 313,4 \cong 3,7 \text{ mca}$$

g) Altura manométrica de recalque:

$$H_{mR} = H_{gR} + h_{fR}$$

$$H_{mR} = 34 + 3,7 = 37,7 \text{ mca}$$

h) Altura manométrica total:

$$H_{mT} = H_{mS} + H_{mR} = 4,4 + 37,7$$

$$H_{mT} = 42,1 \text{ mca}$$

i) Cálculo do $NPSH_d$:

$$NPSH_d = P_{atm} - H_{gS} - h_{fS} - H_v$$

$$\text{Água a } 20^\circ\text{C: } H_v = 0,239 \text{ mca} \Rightarrow NPSH_d = 9,73 - 4 - 0,4 - 0,239$$

$$NPSH_d = 5,091 \text{ mca} \cong 5,0 \text{ mca}$$

j) Escolha e dimensionamento da bomba e motor:

$$\left. \begin{array}{l} H_{mT} = 42,1 \text{ mca} \\ Q = 30 \text{ m}^3/\text{h} \\ NPSH_d = 5,0 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Thebe RL-16 3500 RPM} \\ \text{Rotor } \phi = 155 \text{ mm} \\ \eta = 65\% \end{array}$$

Potência absorvida pela bomba:

$$P_{abs} = \frac{\gamma Q H_m}{75 \eta}$$

$$P_{abs} = \frac{1000 \times 0,0083 \times 42,1}{75 \times 0,65} = 7,2 \text{ cv}$$

Potência do motor:

$$P_m = 1,2 \times 7,2 = 8,7 \text{ cv} \approx 10 \text{ cv}$$

k) Risco de cavitação

Catálogos:

- Bomba Thebe RL-16 (Curvas no catálogo):

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{NPSHr} = 2,7 \text{ mca}$$

$$\text{NPSHd} = 5,0 \text{ mca}$$

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr} \Rightarrow \text{Sem risco de cavitação}$$

l) Máxima altura de sucção (Thebe RL-16)

$$H_{g\text{max}} = P_{\text{atm}} - \text{NPSHr} - h_{fs} - H_v$$

$$H_{g\text{max}} = 9,73 - 2,7 - 0,4 - 0,239 \cong 6,2 \text{ m}$$

6. Exercício 10 (Provinha)

LEB 0472 – Hidráulica

Nome:

Data:

Dados:

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{mT} = 40 \text{ mca}$$

Bomba Thebe RL-16 (Catálogo entregue durante a aula).

Pede-se:

- O diâmetro do rotor a utilizar
- O rendimento da bomba
- A potência necessária no eixo (P_{abs} , em cv)
- A potência do motor a utilizar (P_m , em cv)
- O motor padronizado a adquirir.