



Hidráulica Geral (ESA024)

CAPÍTULO IV:

Máquinas Hidráulicas

Prof. Homero Soares

Dezembro – 2012



Máquinas Hidráulicas

Objetivos do capítulo:

- Visão geral sobre máquinas hidráulicas. ✓ Turbinas:
Princípio de funcionamento
- ✓ Bombas: Estações Elevatórias

TURBINA X BOMBA

Central Hidrelétrica

Energia Hidráulica (queda)

Energia Mecânica

Geradores

Energia Elétrica

Estações de Recalque

Energia elétrica (motor)

Energia mecânica

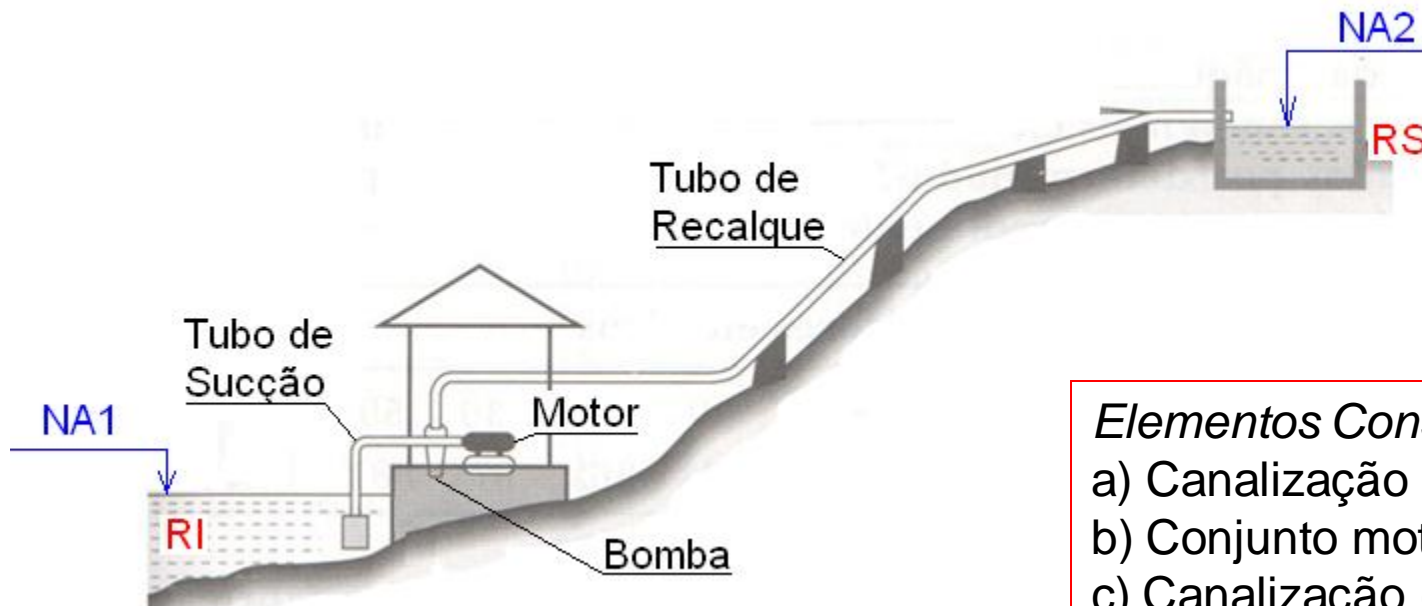
Bomba (rotor)

Energia Hidráulica (pressão e velocidade)

Instalações de Recalque

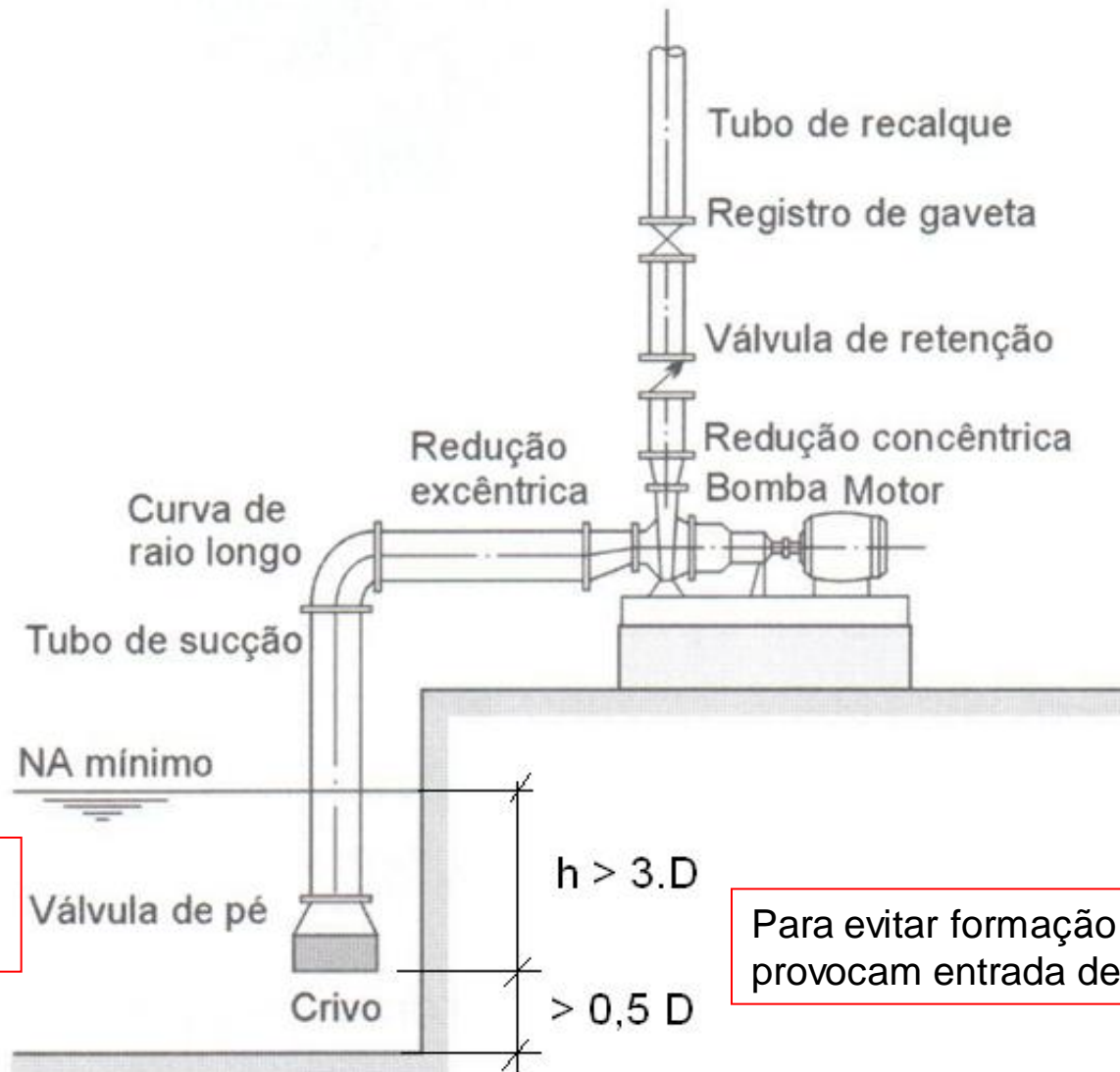
Conceito

- Sendo o NA_2 maior que o NA_1 , o transporte de Q L/s de água do reservatório inferior (RI) ao superior (RS), **REQUER** meios mecânicos E **CESSÃO DE** energia ao fluido.
- Ao conjunto constituído pelas canalizações e meios mecânicos denomina-se instalação de recalque.



Elementos Constitutivos:
a) Canalização de sucção;
b) Conjunto motor-bomba;
c) Canalização de recalque.

Detalhes de uma EE Típica



Mantém tubo sucção CHEIO.

Para evitar formação de vórtices que provocam entrada de ar e ruído

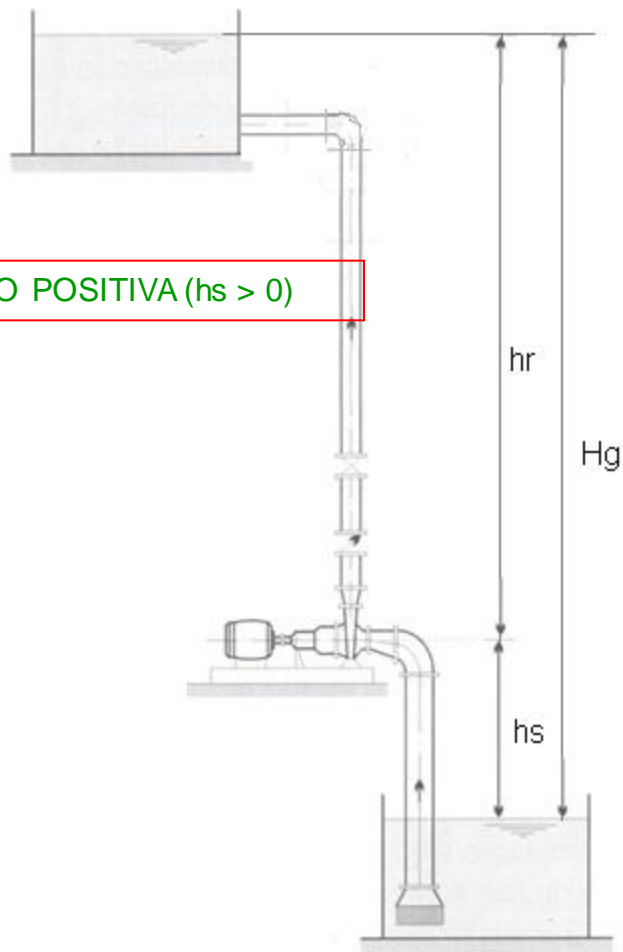


Funções de Alguns aparelhos da instalação elevatória

- a) Válvula de pé: Mantém cheia a tubulação de sucção quando o motor não está em funcionamento (fluxo unidirecional)
- b) Crivo: Acoplado à válvula de pé (evita a entrada de partículas sólidas);
- c) Redução Excêntrica: Adéqua o tubo de sucção (de maior diâmetro) à entrada da bomba (de menor diâmetro) → Evita acúmulo de bolhas de ar, separação da coluna líquida e cavitação.
- d) Motor: Fornece energia mecânica à bomba (une-se à bomba pelo eixo).
- e) Válvula de Retenção: Evita o retorno da água mantendo a coluna líquida na tubulação.
- f) Registro: Controle da vazão, fechamento para manutenção da bomba ou tubulação de sucção (registro de gaveta → mais utilizado).

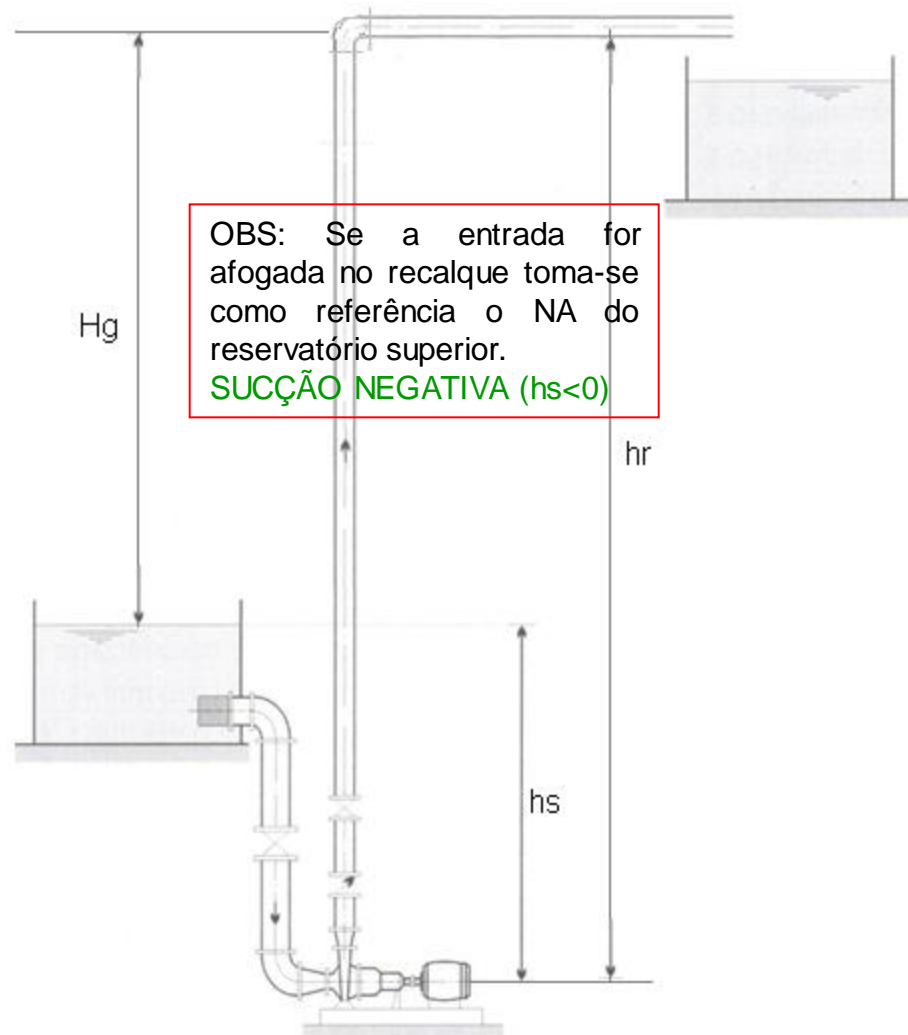
Altura Geométrica ou Altura Estática (Hg)

É o desnível geométrico a ser vencido ($H_g = h_s + h_r$).



OBS: SUCÇÃO POSITIVA ($h_s > 0$)

Sucção positiva ($h_s > 0$)



OBS: Se a entrada for afogada no recalque toma-se como referência o NA do reservatório superior.

SUCÇÃO NEGATIVA ($h_s < 0$)

Sucção negativa ($h_s < 0$)

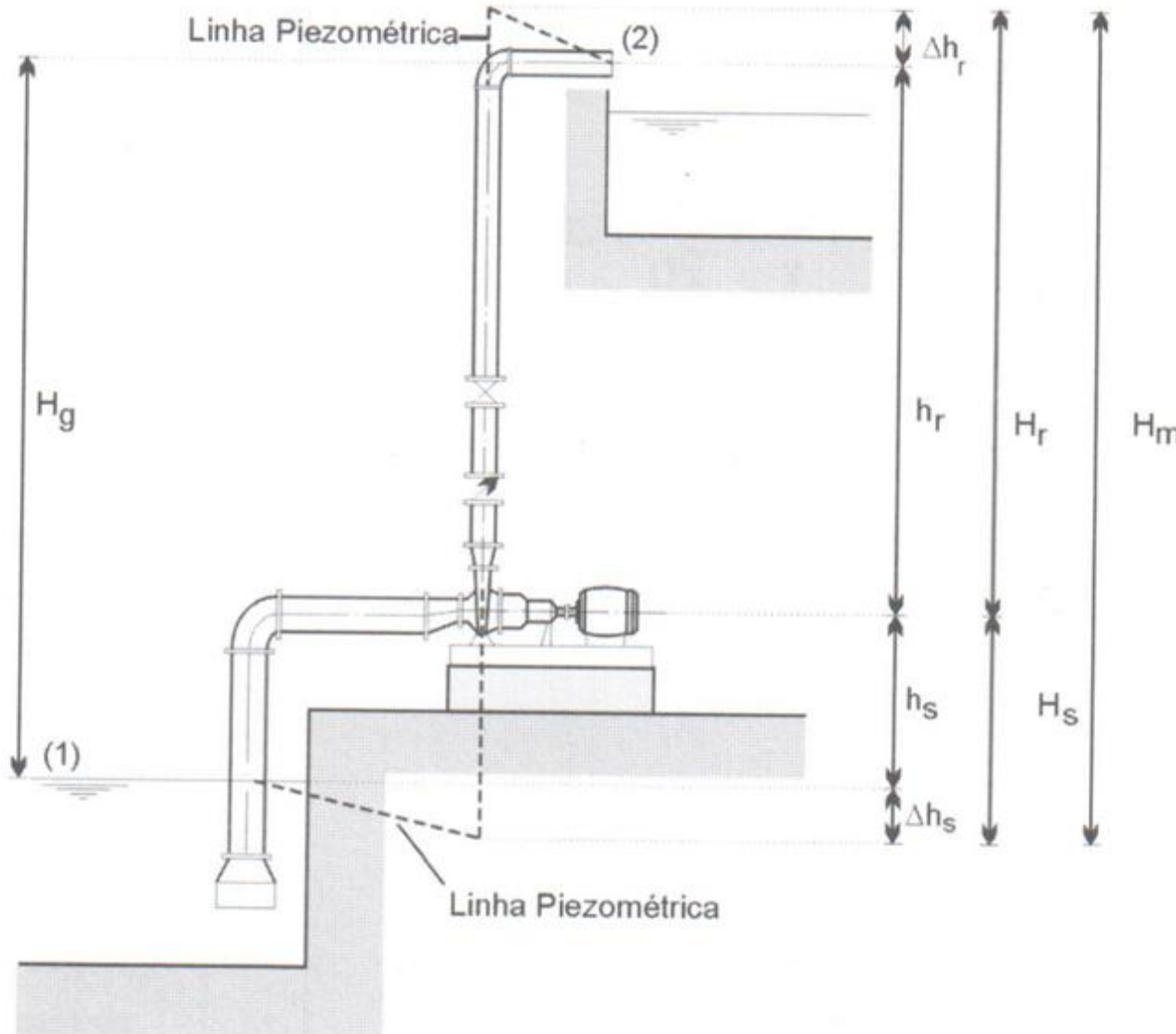


Parâmetros Hidráulicos

Altura Manométrica - H_m

- A altura manométrica representa a energia absorvida por unidade de peso do líquido ao atravessar a bomba.
- É a energia que a bomba deverá transmitir ao líquido para transportar a vazão “Q” do RI ao RS. Portanto, H_m deve vencer o desnível geométrico, as perdas de carga e a diferença de pressões nos reservatórios.

Altura Manométrica – Hm (cont)



$$H_r = \text{Alt. Man. Rec}$$

$$H_r = h_r + \text{perdas}_{\text{rec}}$$

$$H_s = \text{Alt. Man. Suc}$$

$$H_s = h_s + \text{perdas}_{\text{suc}}$$

$$H_m = H_r + H_s$$



Altura Manométrica (cont.)

Aplicando-se Bernoulli entre os pontos 1 e 2 da figura anterior, vem:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} + Hm = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + hf^{tot}$$

$$Hm = Z_2 - Z_1 + hf^{tot} \rightarrow Z_2 - Z_1 = Hg$$

$$Hm = Hg + hf^{tot}$$

$$Hm = E_{jusante} - E_{montante}$$

onde:

Hg = desnível geométrico;

hf^{tot} = perdas de carga no recalque (hr) mais as perdas de carga na sucção (hs)

$$hf^{tot} = \Delta hr + \Delta hs$$

Potência dos Conjuntos Elevatórios

É o trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba por unidade de tempo, para transportar a vazão Q do RI ao RS, vencendo a altura manométrica total (Hm).

$$P_{(CV)} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hm}{75 \cdot \eta}$$

Onde:

$P_{(CV)}$ = Potência em C.V.;

γ = Peso específico do fluido (kgf/m³);

Q = Vazão em (m³/s);

Hm = Altura manométrica (m);

η = Rendimento ou eficiência global (%).

($\eta = \eta_B \times \eta_M$)

$$P_{(kW)} = 0,736 \times P_{(CV)}$$

OBS: 1 CV ~ 0,986 Hp

POTÊNCIA INSTALADA (Acréscimos Recomendáveis)	
Classe de Potência	Acréscimo (%)
≤ 2CV	50 %
2 a 5 CV	30 %
5 a 10 CV	20 %
10 a 20 CV	15 %
> 20 CV	10 %



Diâmetro Econômico do Recalque - Dr

Existe um diâmetro de recalque conveniente para o qual o custo das instalações é mínimo.

O critério econômico considera não somente o custo da tubulação, mas também as despesas de operação (energia).

Logo são analisados dois custos:

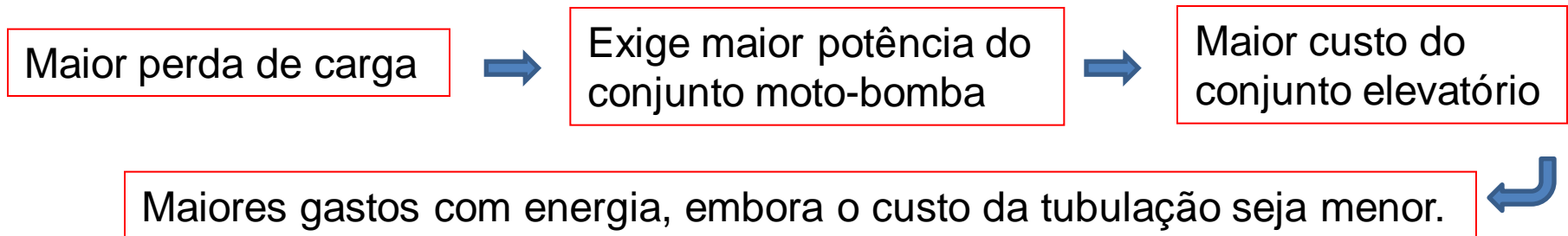
- **Custo I** – Custos de investimentos: representa o custo das tubulações/assentamento e da EE.
- **Custo II** – Custo operacional: representa o custo com despesas de operação, manutenção da bomba e energia.



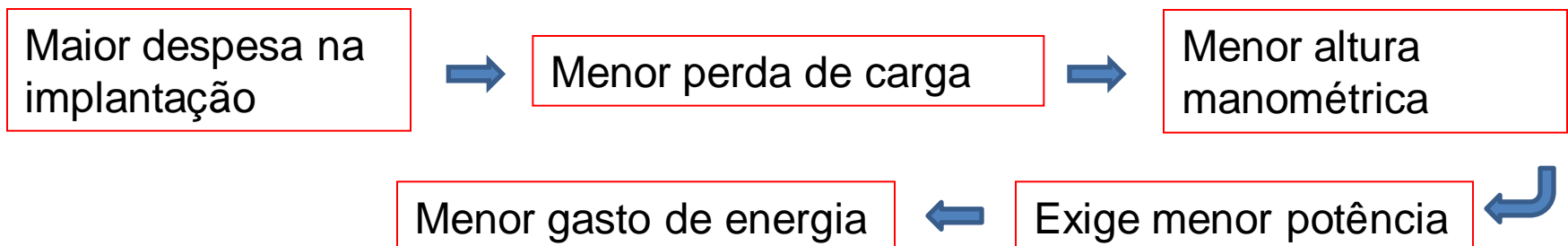
Diâmetro Econômico - Dr

Análise:

a) Diâmetro Menor que Dr:

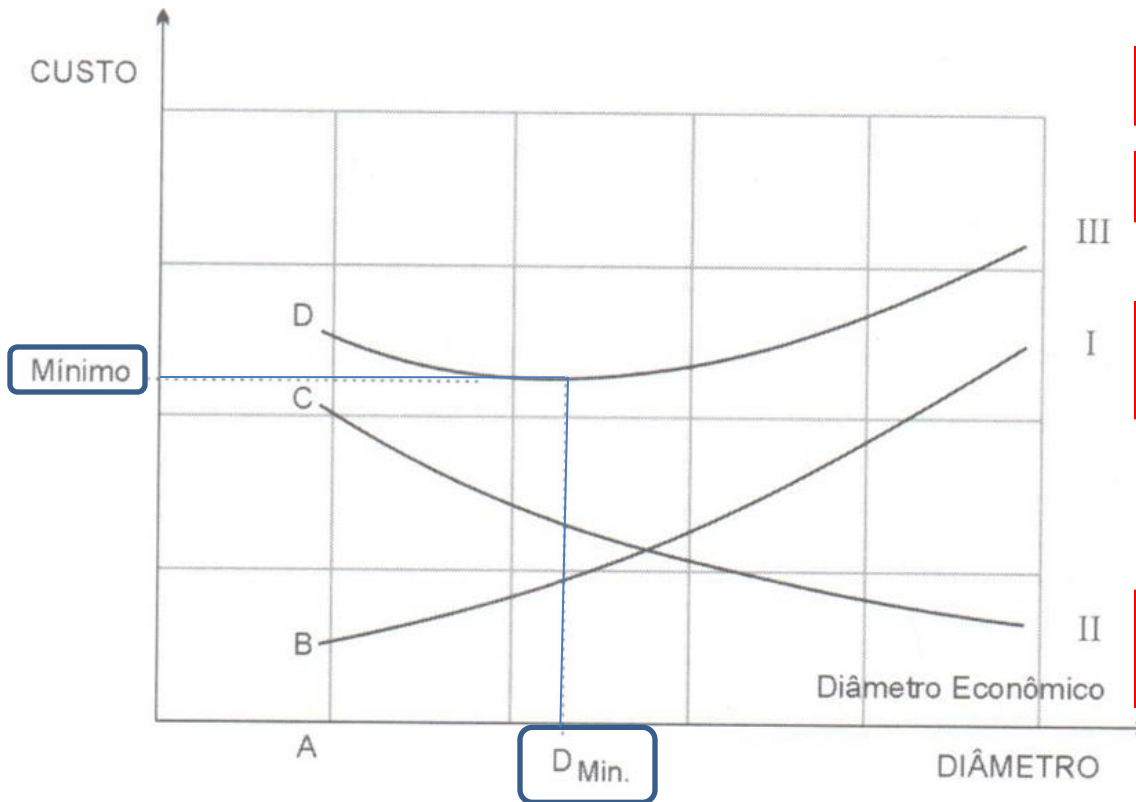


b) Diâmetro Maior que Dr:





Diâmetro Econômico - Dr



Curva III = Curva I + Curva II

$$\text{Custo} = \varphi(D)$$

Curva I = Custo das tubulações
(Investimentos)

Curva II = Custo operacional
(manutenção e energia)



Dimensionamento do Diâmetro Econômico (D_R)

a) Operação CONTÍNUA (24 h/dia):

$$D_R = K\sqrt{Q} \quad \Rightarrow \quad \text{Fórmula de Bresse}$$

Onde:

D_R = diâmetro de recalque (m);

Q = Vazão (m^3/s);

K = 1,2 (valor usual) \Rightarrow $0,6 < K < 1,6$

OBS:

a) Como o $D_R \neq D_{\text{Comercial}}$ adotar o mais próximo;

b) Para o diâmetro de sucção (DS) adota-se o comercial imediatamente superior ao adotado para o recalque.

b) Operação DESCONTÍNUA (< 24 h/dia):

$$D_R = 0,586.X^{0,25}\sqrt{Q}$$

Onde:

X = número de horas de funcionamento por dia

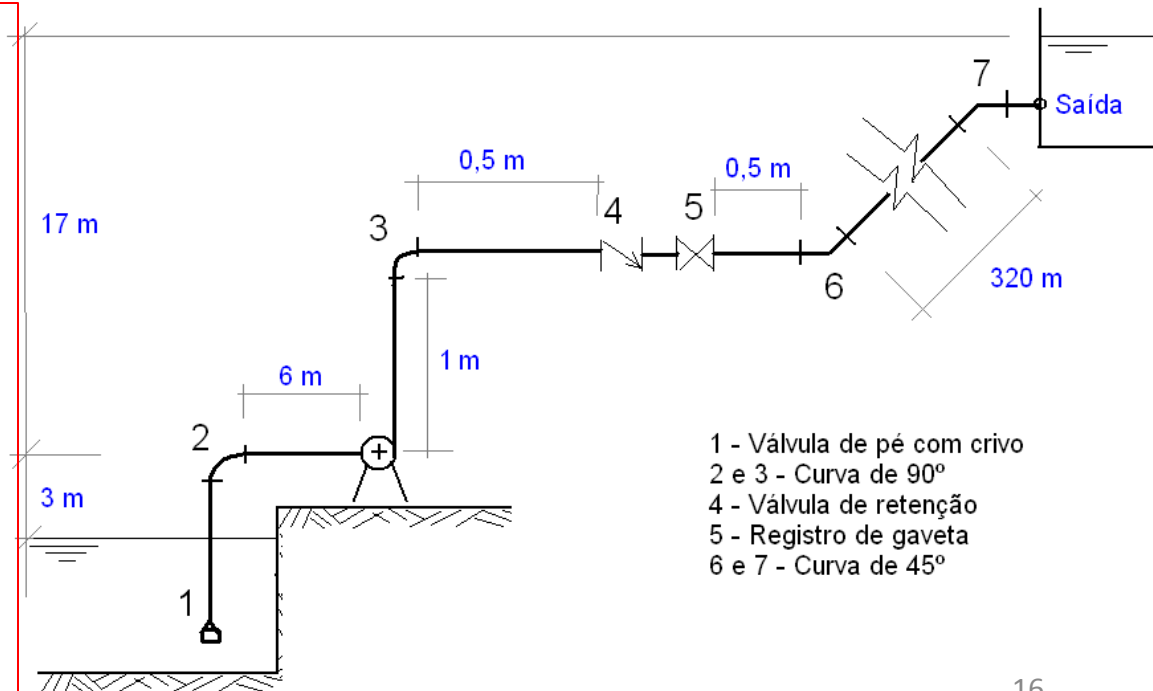
Problema IV.1 (p. CapIV-9B e 9C)

O conjunto elevatório esquematizado na figura a seguir trabalha nas seguintes condições:

- Vazão = 40 l/s
- Material das canalizações → FoFo (C = 100)
- Rendimento do conjunto = 72 %
- Funcionamento → 24 h/dia

Calcule:

- Diâmetro de recalque e sucção;
- Altura estática de sucção;
- Altura estática de recalque;
- Altura estática total;
- Perda de carga na sucção;
- Perda de carga no recalque;
- Altura manométrica de sucção;
- Altura manométrica de recalque;
- Altura manométrica total;
- Potência consumida pelo conjunto elevatório;
- Potência instalada.





Bombas Hidráulicas

São máquinas que transformam energia mecânica em energia hidráulica e comunicam ao fluido certo acréscimo de energia (sob a forma de pressão, cinética ou ambas) possibilitando o seu escoamento de um ponto a outro.

Principais classes de bombas:

- a) Centrífugas;
- b) Rotativas;
- c) De êmbolo (ou de pistão);
- d) De poço profundo (tipo turbina).

Foco do curso





Finalidade das Bombas

Podem ser diversas:

- a. Captação de água em lagos, rios, represas, etc.
- b. Exploração de água subterrânea;
- c. Aumento de pressão e da vazão em tubulações de água;
- d. Adução por recalque;
- e. Recuperação de cotas em redes de esgotos (áreas planas), etc.

Bombas Centrífugas

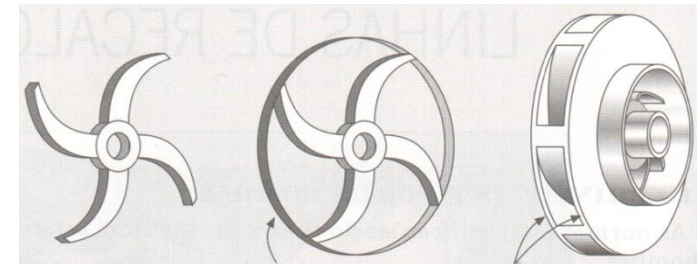
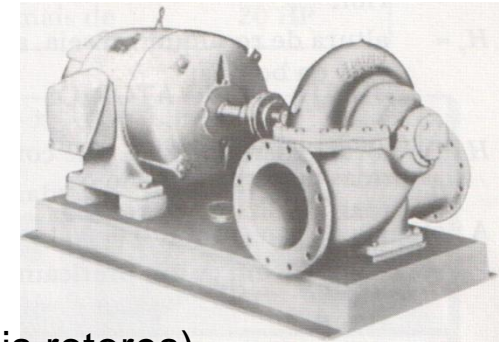
São máquinas nas quais a transferência de energia da bomba para o fluido, é realizada pela ação (rotação) de um órgão propulsor (rotor), que desenvolve, na massa fluida, forças responsáveis pelo escoamento.

Conforme o tipo de aplicação, as bombas centrífugas são fabricadas em diversos modelos, podendo ser classificadas segundo vários critérios:

a. Admissão do líquido {
Radial
Diagonal
Axial

a. Número de rotores (ou estágios) {
Simples estágio (um só rotor)
Múltiplos estágios (dois ou mais rotores).

b. Tipo de rotor {
Rotor fechado (Água limpa)
Rotor semifechado
Rotor aberto (Esgoto)



Características

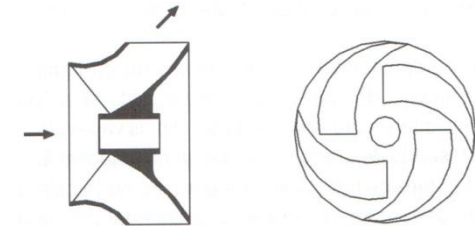
a) Bombas radiais:

- Sucção do fluido: junto ao centro do rotor. Saída: direção radial;
- Destinadas a vencer grandes alturas com vazões relativamente baixas
- ($Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$).



b) Bombas diagonais:

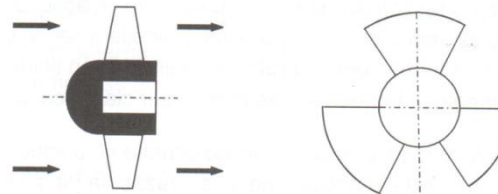
- O líquido entra axialmente e sai em direção diagonal;
- São indicadas para vazões medianas ($50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 500 \text{ m}^3/\text{h}$)



c) Bombas axiais:

O fluido é movimentado na direção do eixo de acionamento do rotor e sai em movimento helicoidal em direção ao eixo, praticamente axial;

São indicadas para o bombeamento de grandes vazões e pequenas alturas manométricas ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{h}$).



**COPASA – Serra Azul
Juatuba (MG)**





Velocidade Específica

A velocidade específica (n_s) de uma bomba representa a rotação de um modelo que funciona com máximo rendimento, vazão de 1 m³/s e altura manométrica 1 m.

A escolha da bomba adequada para a vazão e a pressão (Hm) necessárias se faz com o auxílio da velocidade específica.

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{Hm^3}}$$

Onde:

n_s = velocidade específica (rpm);

n = rotação da bomba (rpm);

Q = vazão (m³/s);

Hm = altura manométrica (m).

De acordo com o valor da velocidade específica, as bombas (rotores) são classificados em:

Radial – $10 < n_s < 50$

Mista / Diagonal $50 < n_s < 200$

Axial – $n_s > 200$

Problema IV.2 (p. Cap IV 5 verso)

Que tipo de bomba deve ser utilizada para transportar 50 l/s contra uma altura manométrica (Hm) de 50 m, com rotação de 3000 rpm?



Semelhança Mecânica

Tem por objetivo prever o comportamento hidráulico de um protótipo “P” a partir de um modelo reduzido “M”.

Importante ferramenta para análise de vertedores, dissipadores de energia e máquinas hidráulicas de grande porte.



Semelhança Mecânica (cont.)

São requisitos básicos para a teoria dos modelos, a saber:

1. Semelhança geométrica entre o protótipo (P) e o modelo (M) – **Dimensões semelhantes**
2. Semelhança cinemática entre “P” e “M” (Movimento do fluido) - **Triângulos de velocidade em pontos homólogos são semelhantes.**
3. Semelhança dinâmica entre “P” e “M” (Forças atuantes) -

$$Re_{\text{Prot.}} = Re_{\text{Modelo}}$$

Atendidos esses requisitos, modelo e o protótipo, comportam-se de maneiras semelhantes usando-se o mesmo fluido.

Relações de Semelhança Mecânica

As relações seguintes expressam a identidade entre o protótipo “p” e o modelo “m” para operação de ambos com o mesmo fluido, em condições semelhantes.

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_p}{n_m} \cdot K^3$$

$$\frac{H_p}{H_m} = \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^2 \cdot K^2$$

$$\frac{P_p}{P_m} = \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^3 \cdot K^5$$

Sendo:

n = número de rotações por minuto – rpm;

Q = vazão (m^3/s);

H = Altura manométrica (m);

P = potência da bomba;

$$K = \frac{L_p}{L_m} = \text{razão de semelhança geométrica} \left\{ \begin{array}{l} L_p = \text{dimensão linear do protótipo;} \\ L_m = \text{dimensão linear do modelo.} \end{array} \right.$$

SE MODELO = PROTÓTIPO ➤ $K = 1$



Problema IV.3 (p. CapIV-6A)

Conhecendo-se as características da bomba descrita a seguir:

- rotação $\rightarrow n_m = 1800$ rpm
- vazão $\rightarrow Q_m \rightarrow 300$ m³/h
- altura manométrica $\rightarrow H_{m_m} = 60$ m
- rendimento do conjunto moto-bomba $= \eta_m = 0,7$
- diâmetro do rotor $\rightarrow D_m = 300$ mm.



MODELO

Pede-se determinar a vazão, o diâmetro do rotor e a potência de outra bomba, hidraulicamente semelhante, sabendo-se que ela deve trabalhar com motor de 1450 rpm, sob uma altura manométrica de 180 m.



Problema IV.4 (p. CapIV-6B)

O ensaio de um modelo reduzido de uma bomba centrífuga com rotor de 100 mm acionada por um motor de 1440 rpm de 5 CV de potência, apresentou os seguintes resultados:

Q (m ³ /h)	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0
Hm (m)	18,0	17,4	16,6	15,7	14,6	13,4	12,0	10,5	8,8	7,0
η_B (%)	72	77	82	83	84	82	77	70	60	50

- a) Determine a velocidade específica desta bomba. OBS: η_s é sempre para $\eta_{m\acute{a}x}$
- b) Para uma bomba hidraulicamente semelhante (homóloga) à do modelo testado prever a curva característica (Hm x Q), sabendo-se que o rotor do **PROTÓTIPO** deve ter 200 mm de diâmetro e será acionado por outro motor de 1800 rpm.
- c) Determinar a potência do motor que aciona a bomba do protótipo.

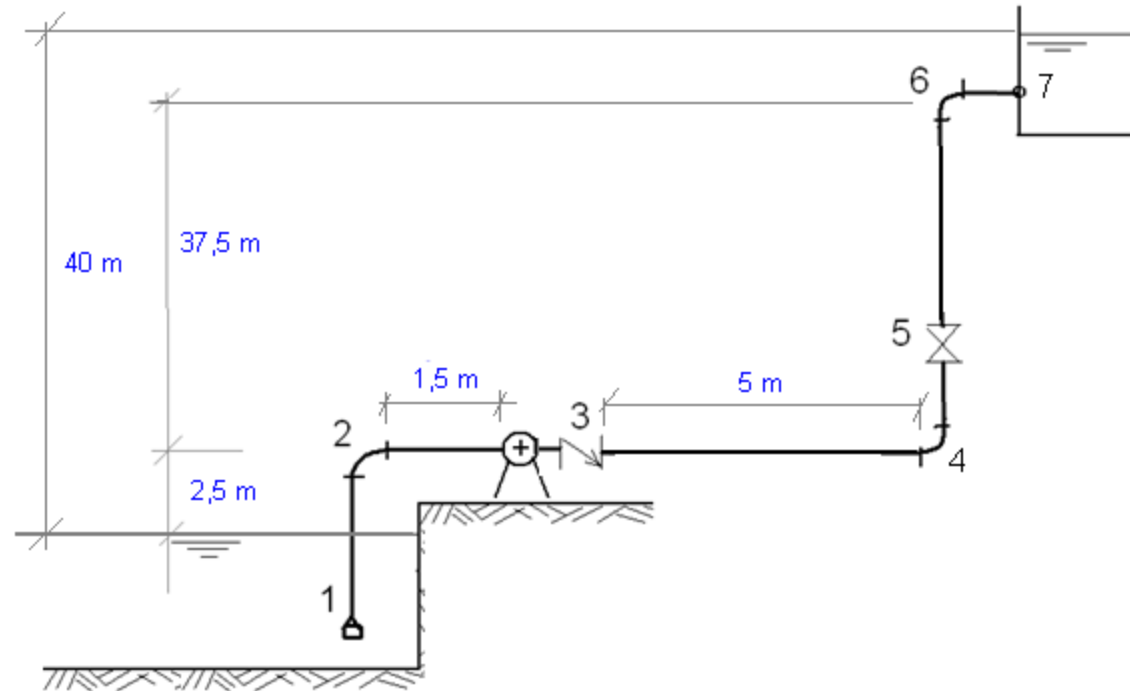
Problema IV.5 – (p. CapIV-10 Verso)

Dimensionar a linha de recalque mostrada no esquema a seguir com critério de economia. Calcule a potência do conjunto moto-bomba para as condições seguintes:

$Q = 30 \text{ l/s}$
 Funcionamento contínuo
 Altura de sucção = 2,5 m
 Altura de recalque = 37,5 m
 Rendimento do conjunto moto-bomba $\rightarrow \eta = 70 \%$
 Material: Ferro Fundido Novo $\rightarrow C = 130$
 Comprimento da sucção = 4 m
 Comprimento do recalque = 42,5 m

Lista de Peças:

- 1 – Válvula de pé e crivo
- 2 – Curva 90°
- 3 – Válvula de retenção
- 4 – Curva de 90°
- 5 – Registro de gaveta
- 6 – Curva 90°
- 7 – Saída de canalização



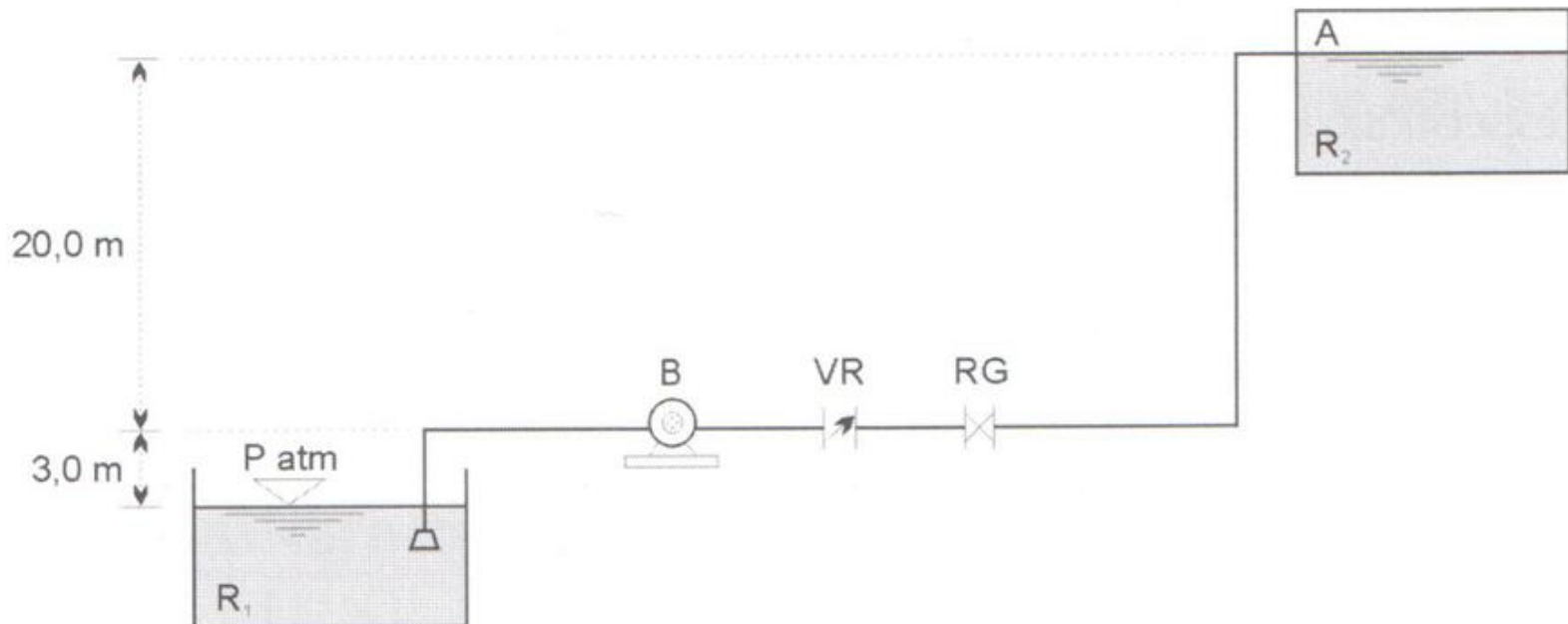
Problema IV.6 (p. CapIV -12-Verso)

A instalação elevatória apresentada a seguir deverá recalcar água do reservatório R_1 para o R_2 . Determine:

- Os diâmetros de sucção e recalque.
- A altura manométrica.
- A potência da bomba e do motor (CV).

Dados:

- Tubo PVC ($C = 140$)
- Volume bombeado diariamente = 150 m^3
- Jornada de trabalho da bomba = 8 h/dia
- Comprimento de recalque = 80 m
- Comprimento de sucção = 10 m
- $\eta_B = 70 \%$ e $\eta_M = 90 \%$
- Pressão no ponto A do reservatório $R_2 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$





Problema IV.7 (Proposto – p. CIV.14)

Um edifício tem 12 pavimentos e 3,15 m de pé direito (altura entre os pavimentos incluindo a espessura da laje). A bomba instalada no piso do 1º pavimento deste edifício está a 3 m acima do nível de água do reservatório inferior. O reservatório superior está na laje de forro do último pavimento e contém água até a altura e 3 m. A vazão a ser recalçada é de 16200 l/h (16,2 m³/h).

Dado:

SUCÇÃO

- Aço galvanizado
- Diâmetro: 75 mm
- Comprimento: 4 m
- Contém: 1 válv. pé com crivo
1 curva 90°

Dado:

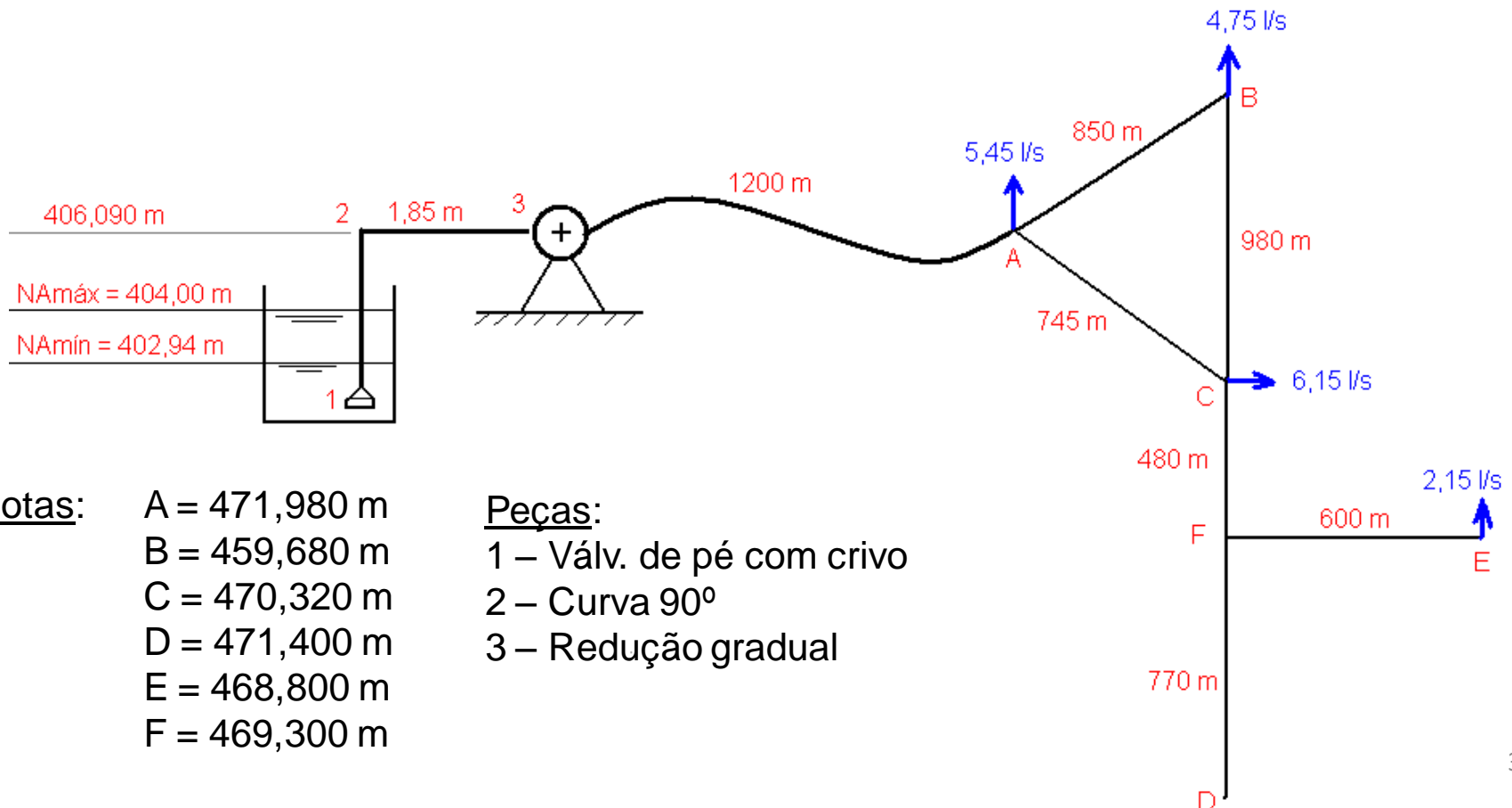
RECALQUE

- Aço galvanizado
- Diâmetro: 50 mm
- Comprimento: 42 m
- Contém: 1 válv. Retenção leve
1 reg. Gaveta
2 curvas 90°

Calcular a potência solicitada ao motor, supondo rendimento da bomba igual a 0,6.

Problema IV.8 (p. CapIV-16A, 16B e 16C)

Determinar a potência do motor na bomba, sabendo-se que no ponto mais desfavorável da rede abaixo se tenha uma pressão mínima de 15 mca. O material das redes será FoFo novo ($C = 130$). A vazão por metro de rede ramificada é de 0,008 l/s.m. Estima-se que o rendimento do conjunto é 80%.



Cotas:

- A = 471,980 m
- B = 459,680 m
- C = 470,320 m
- D = 471,400 m
- E = 468,800 m
- F = 469,300 m

Peças:

- 1 – Válv. de pé com crivo
- 2 – Curva 90°
- 3 – Redução gradual