

PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

São genericamente denominados por TURBOMÁQUINAS.

BOMBAS: adicionam energia ao fluido.

TURBINAS: retiram energia do fluido.

O aumento ou a diminuição de energia do fluido é sentido como aumento ou diminuição de pressão. Na bomba ou na turbina, não há aumento de velocidade se o escoamento está em regime permanente e a tubulação tem área uniforme.

Máquinas que movimentam líquidos: bombas.

Máquinas que movimentam gases: ventiladores e sopradores.



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE GASES

| | VENTILADOR | SOPRADOR | COMPRESSOR |
|---------------------|------------|----------|------------|
| VARIAÇÃO DE PRESSÃO | BAIXA | MÉDIA | ALTA |
| VAZÃO VOLUMÉTRICA | ALTA | MÉDIA | BAIXA |



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

CLASSIFICAÇÃO GERAL:

Máquinas de deslocamento positivo: o fluido é direcionado para um volume fechado. A transferência de energia é devida ao movimento do volume de controle (expansão ou compressão). Como exemplos têm-se o coração, medidor residencial de vazão de água.

Máquinas dinâmicas: não há volume fechado; pás giratórias fornecem ou extraem energia do fluido.

Bombas dinâmicas: podem ser confinadas (bombas confinadas) e bombas em dutos (aquelas com corpos ao redor das pás como a bomba de água do motor de carro; bombas abertas que não têm corpos ao redor como o ventilador de teto, propulsor de avião, rotor de helicóptero).



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO (BDP):

A)Bombas alternativas;

a)pistão ou êmbolo;

b)diafragma.

B)Bombas rotativas:

1)Rotor único:

a)palheta deslizante;

b)tubo flexível;

c)parafuso;

d)peristáltica.

2)Rotores Múltiplos:

a)Engrenagem;

b)lóbulos;

c)parafuso;

d)pistão periférico.



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

BOMBAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO:

-escoamento pulsante ou periódico, à medida que o volume da cavidade se abre, retém e comprime e retém o fluido.

-grande vantagem: movimentam qualquer fluido, independentemente da viscosidade.

-desenvolvem pressões imensas se a saída estiver fechada.

Necessitam de válvula de alívio de pressão na condição de fechamento completo (“shut-off”).



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

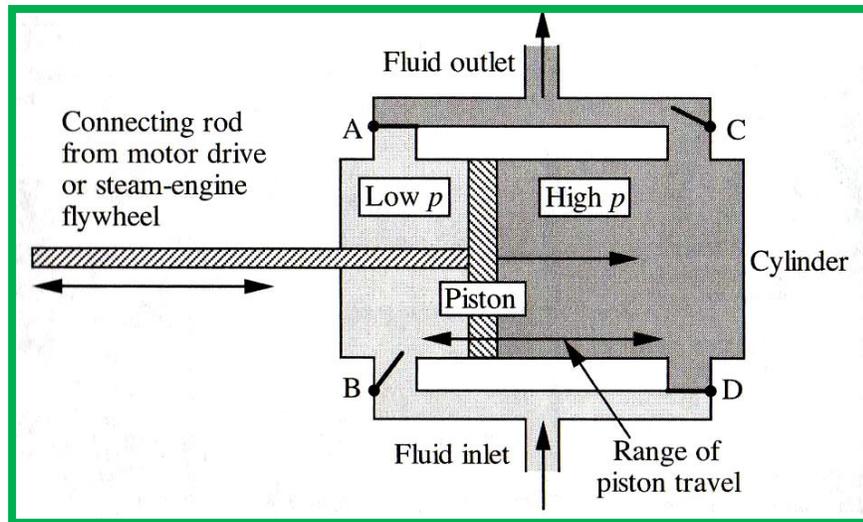
Bombas de deslocamento positivo

Líquidos e pastas Viscosos

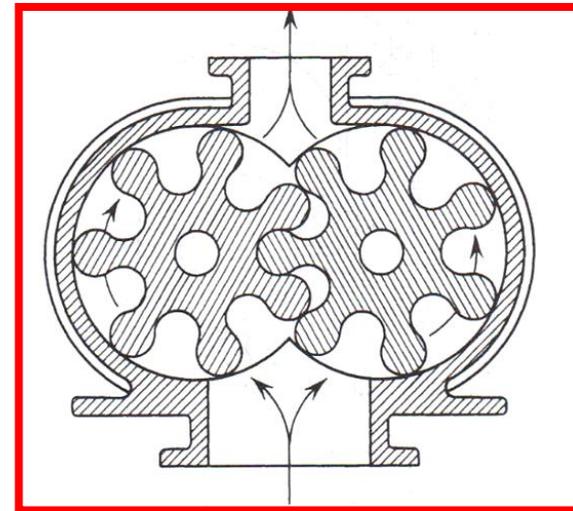
Alta pressão

Dosadoras

ALTERNATIVAS - PISTÃO



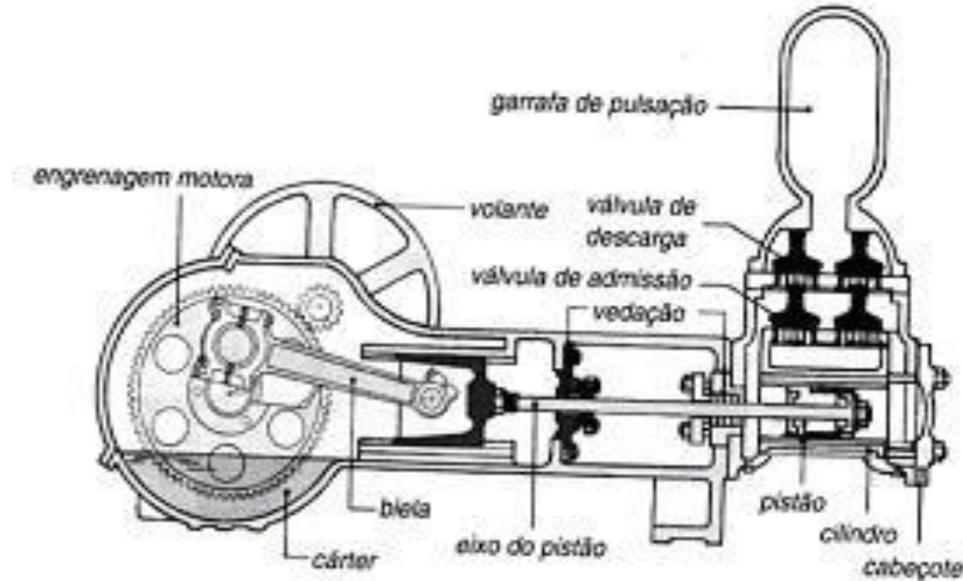
ROTATIVAS



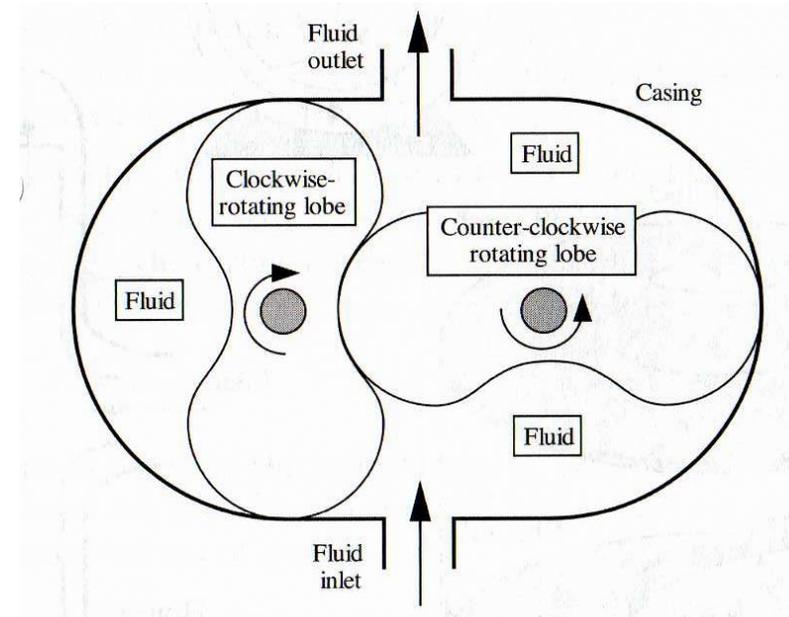
PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Bombas de deslocamento positivo

ALTERNATIVA- PISTÃO

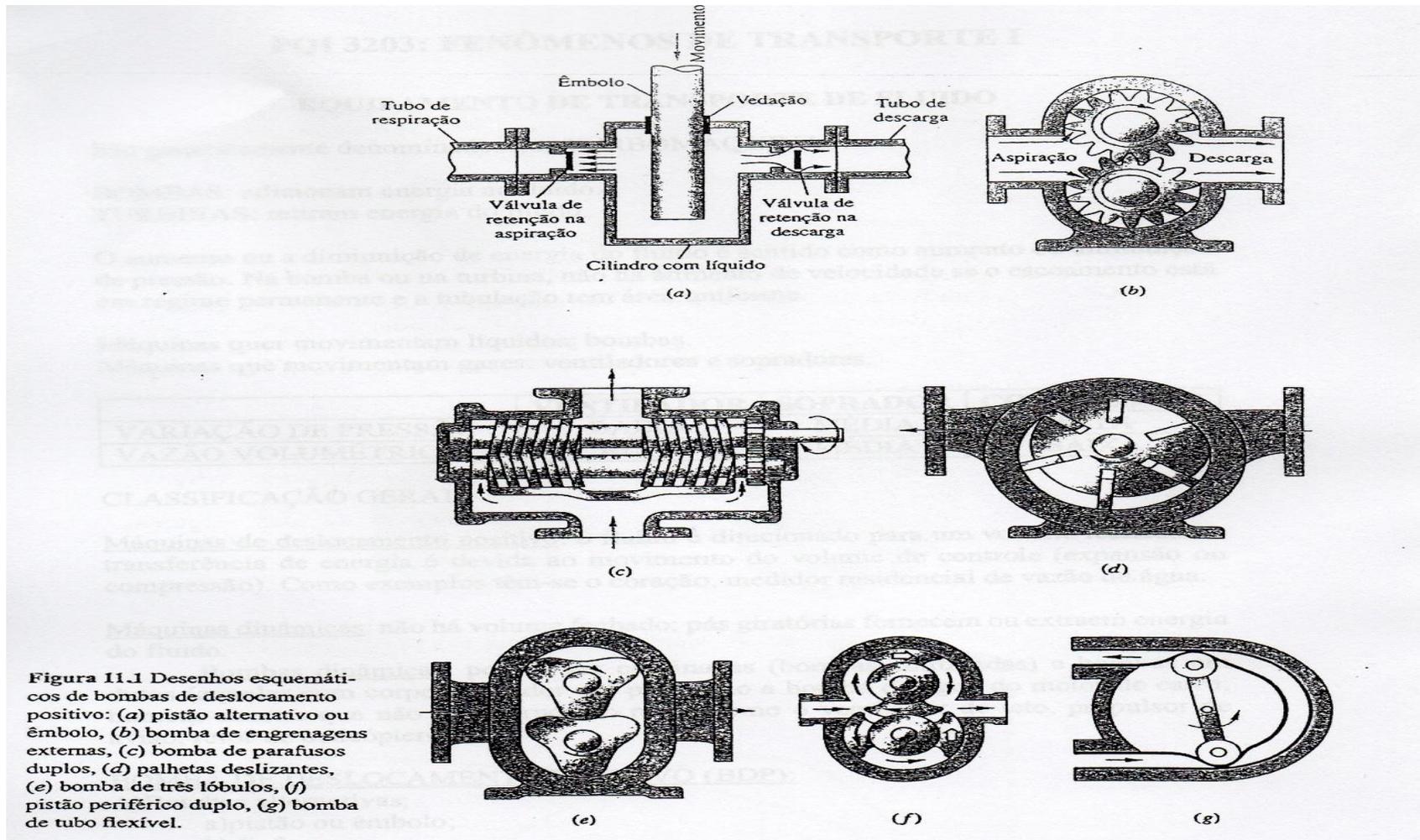


Bomba de Lóbulos



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

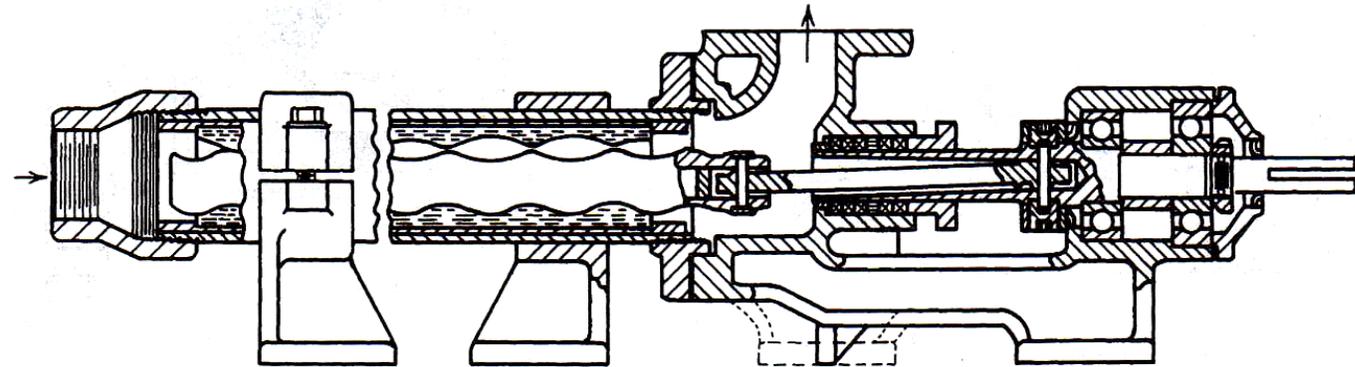
EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



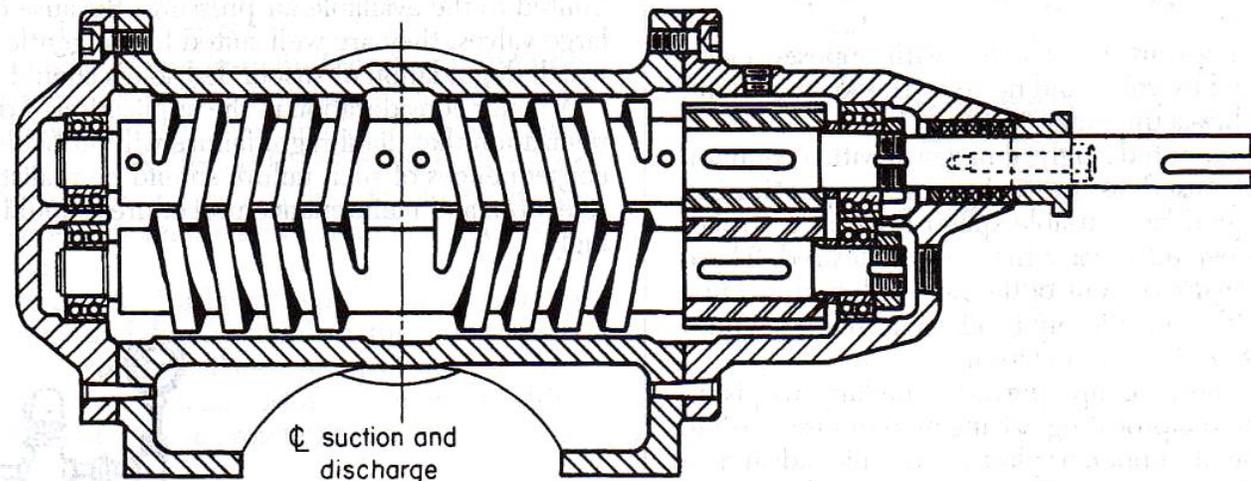
PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Bombas de deslocamento positivo

Bomba Mono



Bomba Helicoidal



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

BOMBAS DINÂMICAS:

-aumentam quantidade de movimento ao fluido por meio de pás ou aletas que se movem rapidamente.

-não há volume fechado: fluido aumenta sua quantidade de movimento enquanto se move por passagens abertas e então converte sua alta velocidade nas pás ou aletas em aumento de pressão, saindo por uma seção em forma de difusor.

Podem ser com escoamento centrífugo ou saída radial; escoamento axial; escoamento misto (radial e axial).

Apresentam vazões maiores e descargas mais estáveis que as BDP's.

São ineficazes para lidar com líquidos de alta viscosidade.

Necessitam de escorvamento: se estiverem cheias de gás, não podem aspirar um líquido que esteja em nível abaixo da entrada da bomba. As BDP's são autoescorvantes para a maioria das aplicações.

Fornecem vazões altas (até $1200\text{m}^3/\text{min}$) e pressões moderadas (algumas atmosferas), enquanto que as BDP's operam com pressões muito altas (até 300atm) e baixas vazões ($0,4\text{m}^3/\text{min}$).

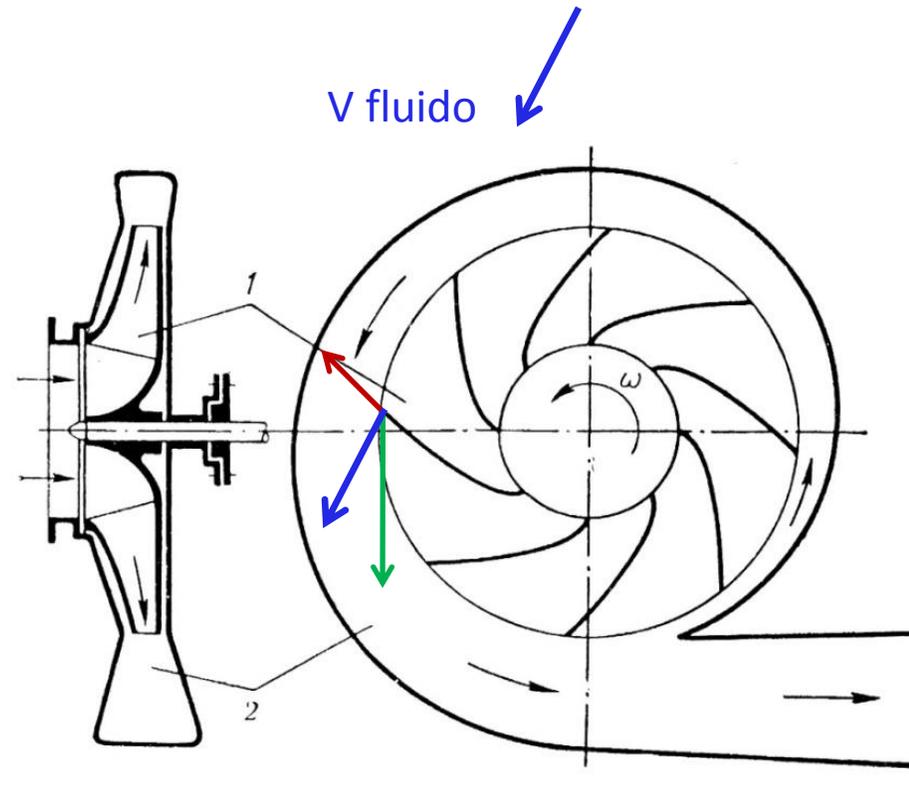
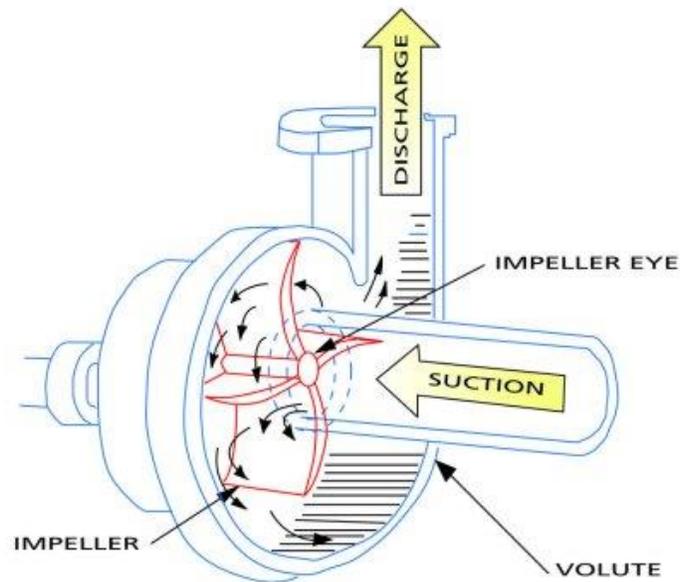


PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Bomba Centrífuga

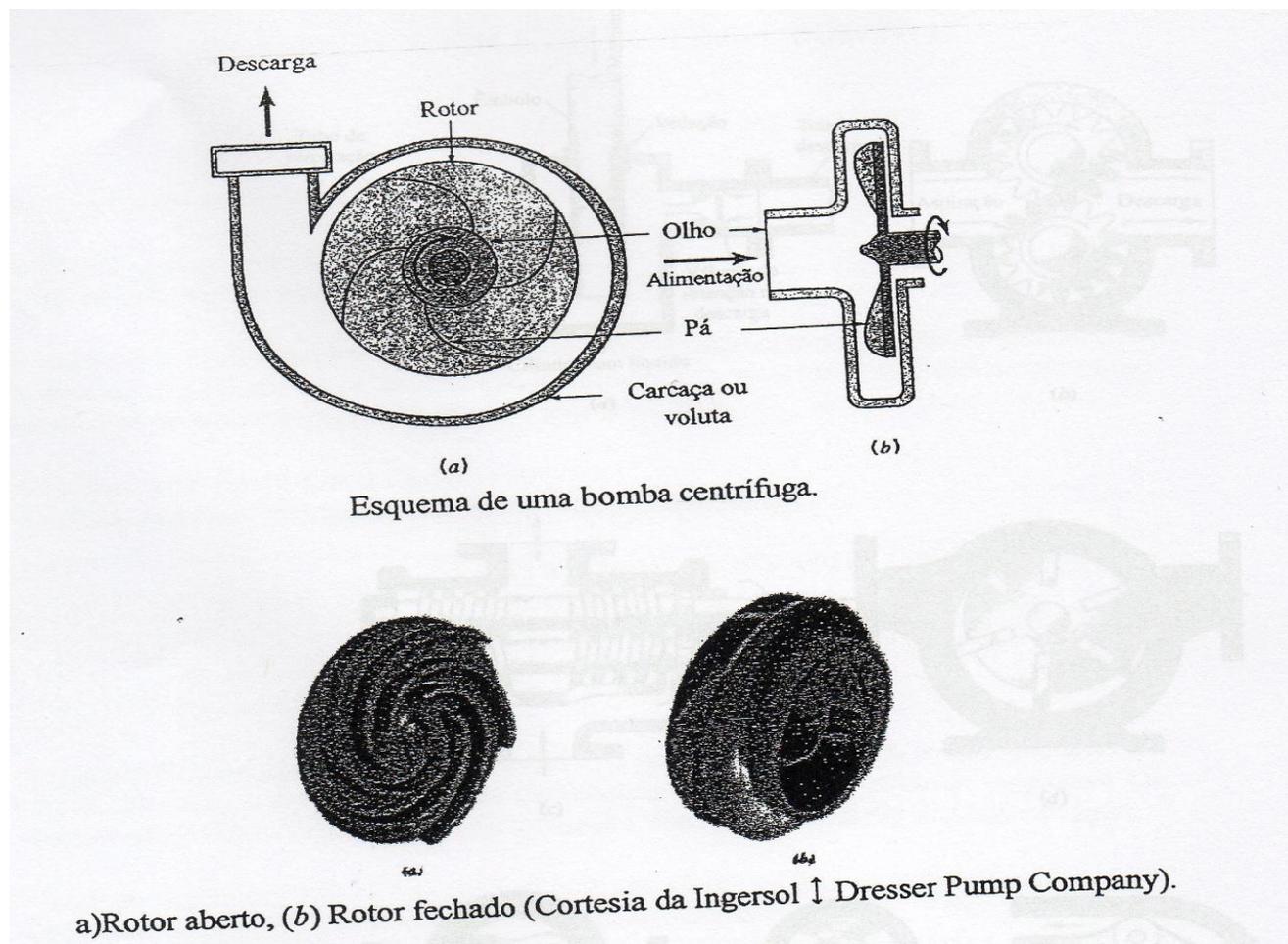
Vazão = 1 a 100000 gal/min (0,004 a 380 m³/min)

Pressões de até 50 bar



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

CONCEITOS FUNDAMENTAIS:

Caracterização das bombas:

-vazão mássica: \dot{m} .

-vazão volumétrica = capacidade da bomba.

-carga líquida ou **AMT (Altura Manométrica Total)**: corresponde à variação da carga de Bernoulli entre a entrada e a saída da bomba.

$$AMT = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} + z \right)_{\text{saída}} - \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} + z \right)_{\text{entrada}}$$

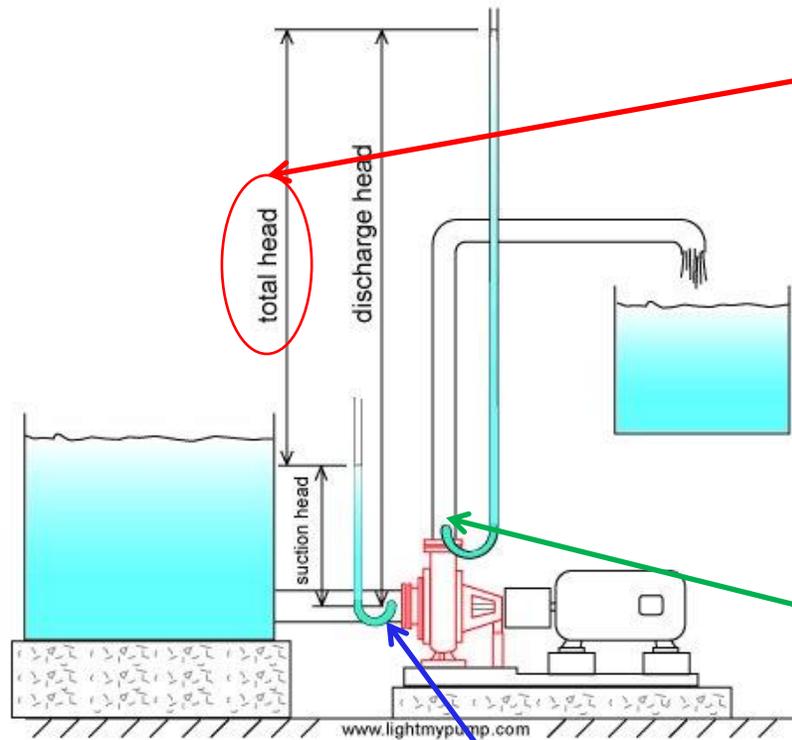
-a situação comum é: $z_s - z_e$; $v_{bs} = v_{be}$. Assim:

$$AMT = \frac{p_s - p_e}{\rho g}$$



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

AMT – Altura manométrica da bomba – “Head” - H



AMT – Altura manométrica da bomba

$$W_s = g H$$

$$W_s = g H = \frac{P_D - P_S}{\rho} \quad \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

Pressão na descarga, P_D

Pressão na sucção, P_S



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Perdas irreversíveis:

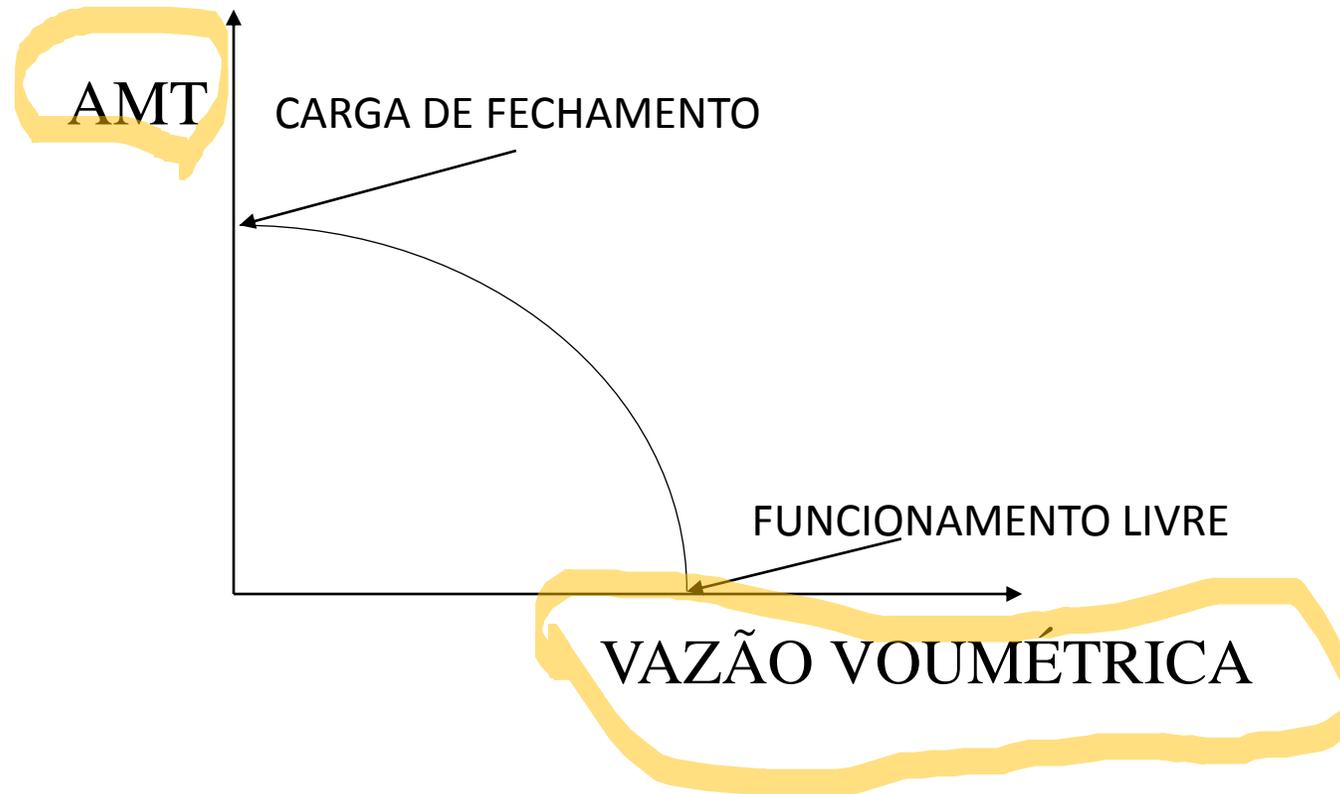
- atrito;
- vazamento interno;
- separação do escoamento da pá;
- dissipação turbulenta.



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

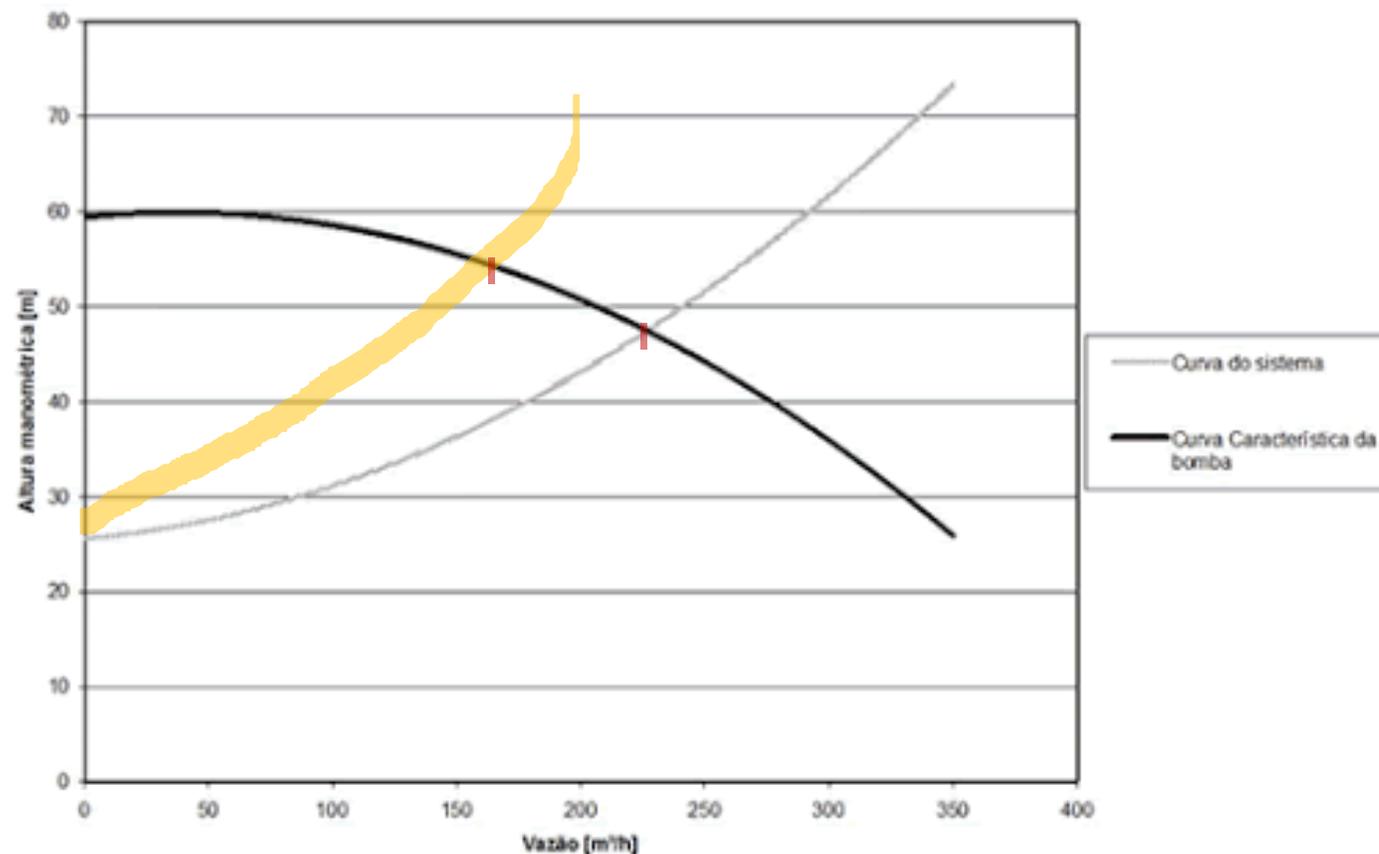
EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Curva característica da Bomba:



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

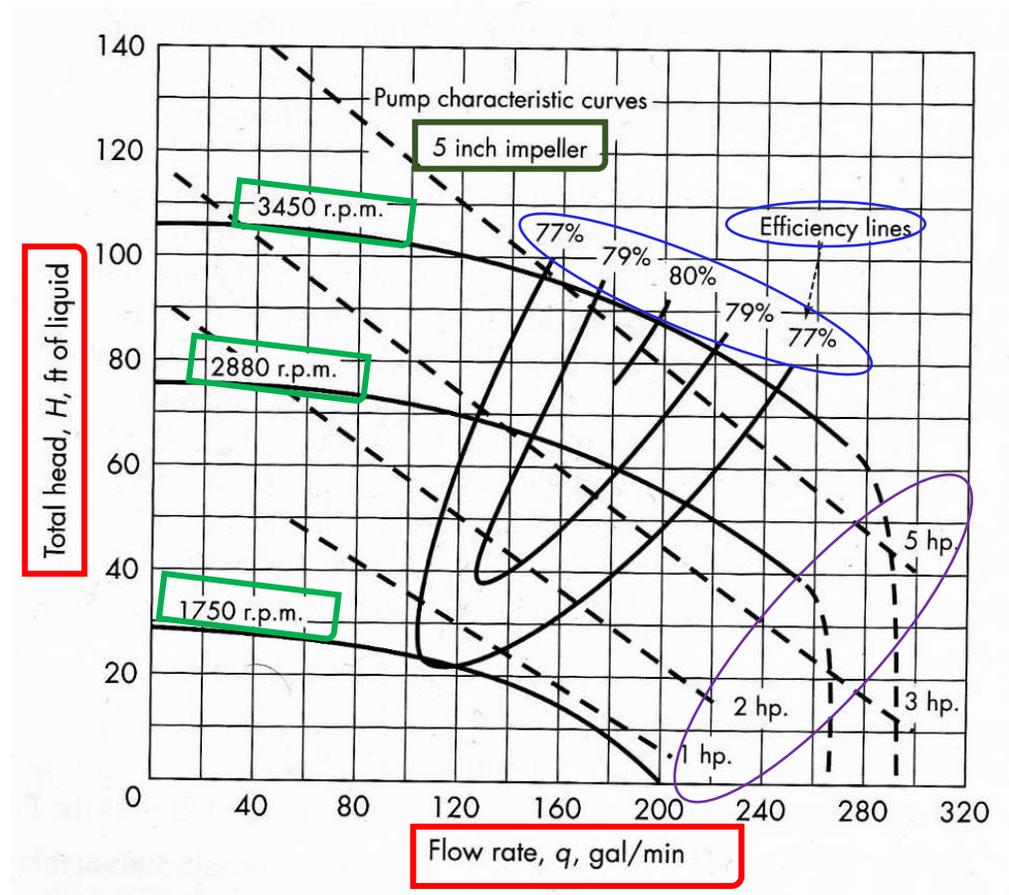
EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

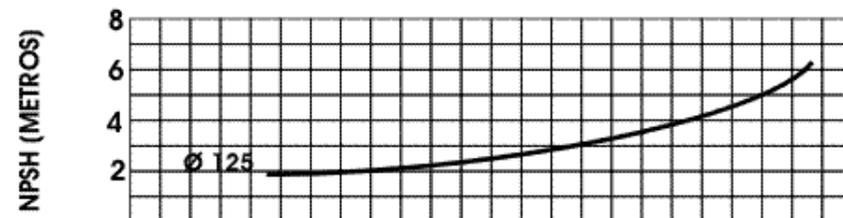
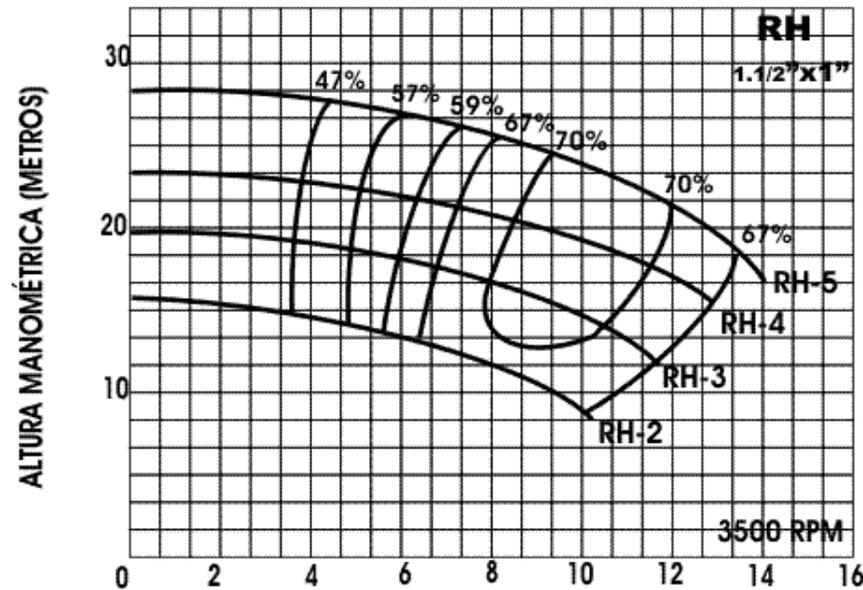
Curva Característica – Bomba centrífuga

AMT x Vazão



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Curva Característica – Bomba centrífuga



Influência da Rotação

| Affinity laws for pumps | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Characteristic | Constant D | Constant n |
| Capacity | $q \propto n$ | $q \propto D$ |
| Head | $\Delta H \propto n^2$ | $\Delta H \propto D^2$ |
| Power | $P \propto n^3$ | $P \propto D^3$ |

Influência do diâmetro do rotor



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Potência de bombeamento

$$\frac{1}{2\alpha}V_1^2 + gh_1 + \frac{P_1}{\rho} + W = \frac{1}{2\alpha}V_2^2 + gh_2 + \frac{P_2}{\rho} + \sum F$$

$$W_s = \frac{1}{2\alpha}(V_2^2 - V_1^2) + g(h_2 - h_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho}\right) + \sum F \quad \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$W_s = g H \quad \leftarrow \text{AMT - Altura manométrica da bomba}$$

$$\text{potência} = w W_s \quad \text{J/s} = \text{watt}$$

Vazão de líquido kg/s



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

CAVITAÇÃO

LÍQUIDOS:

- pressão local dentro da bomba $<$ pressão de vapor do líquido nas condições dentro da bomba;

- surgem bolhas de vapor (bolhas de cavitação);

- bolhas deslocam-se para regiões de mais alta pressão e colapsam;

- colapso das bolhas:

* causa ruído, vibração, menor eficiência, danos às pás;

* colapso contínuo leva a corrosão por erosão.



PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Para evitar a cavitação:

- $p_{local} < p_{vapor}$;

-parâmetro para verificação: **NPSH (Net Positive Suction Head)**

$$NPSH = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{vb^2}{2g} \right)_{entrada} - \frac{p_{vapor}}{\rho g} > 0$$

Tendência a cavitação:

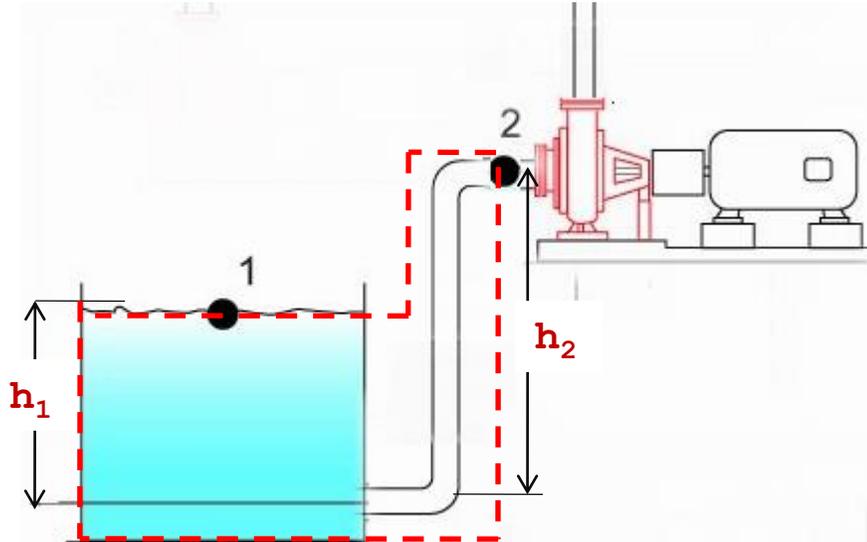
-fluido com temperatura elevada;

-bomba não afogada;

Tube na entrada da bomba com longo comprimento e pequeno diâmetro.



Altura de sucção - Cavitação



Net Positive Suction Head - NPSH_d

Balço de Energia Mecânica VC (1 e 2)

$$\frac{1}{2\alpha} V_1^2 + gh_1 + \frac{P_1}{\rho} + W = \frac{1}{2\alpha} V_2^2 + gh_2 + \frac{P_2}{\rho} + \sum F$$

Pressão na sucção, P_s

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} - (h_2 - h_1) - \frac{1}{2g} V_2^2 - \frac{(\sum F)_{suc}}{g}$$

Formação de Bolha de vapor

$$\frac{P_2}{\rho g} > \frac{P_v}{\rho g} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_v}{\rho g} + NPSH_d$$

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho g} - (h_2 - h_1) - \frac{1}{2g} V_2^2 - \frac{(\sum F)_{suc}}{g} - \frac{P_v}{\rho g}$$



Cavitação



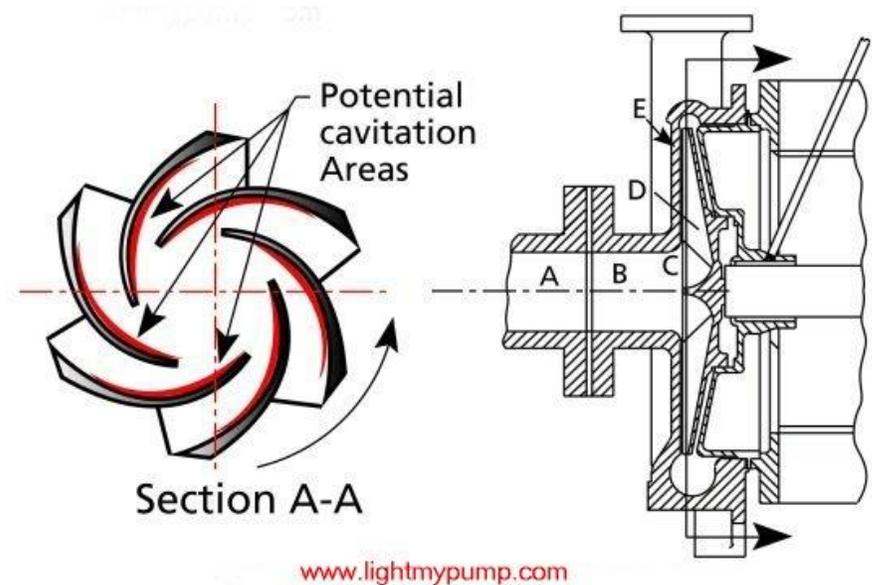
$NPSH_R$

Net Positive Suction Head Required- $NPSH_R$

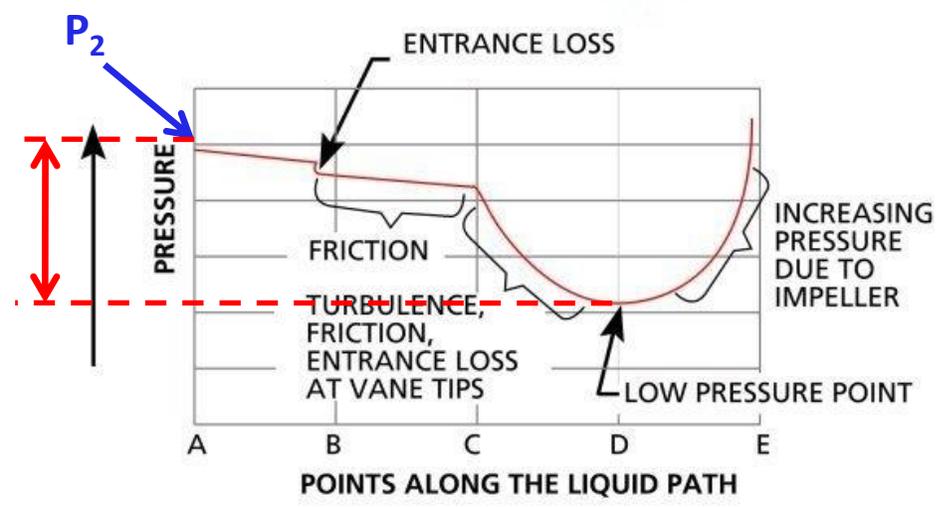
$NPSH_R \implies$ Fabricante

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_v}{\rho g} + NPSH_d$$

$$NPSH_d > NPSH_R$$



www.lightmypump.com

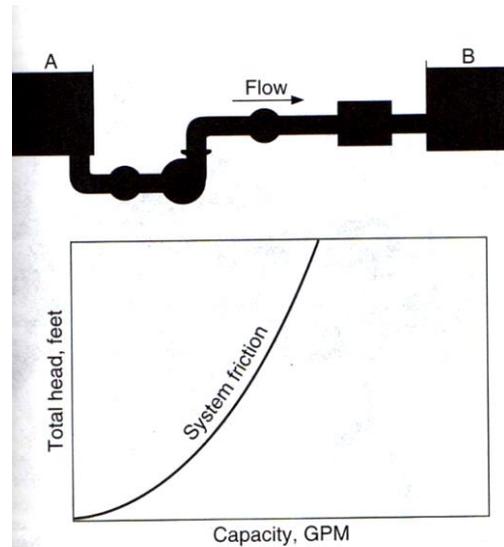


PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Curva do Sistema

AMT função da vazão

$$AMT = H = \frac{W_s}{g} = \frac{1}{2\alpha} \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{g} \right) + (h_2 - h_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + \frac{\sum F}{g}$$



10-32 Variation of total head versus flow rate to overcome friction.

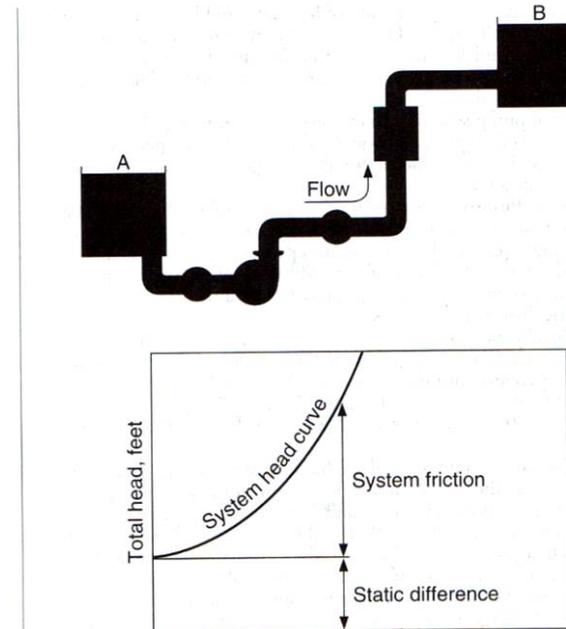
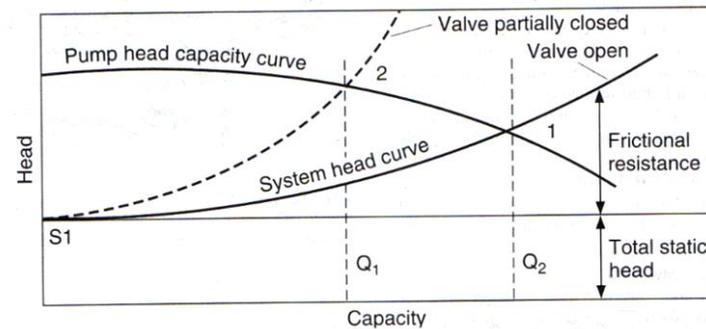
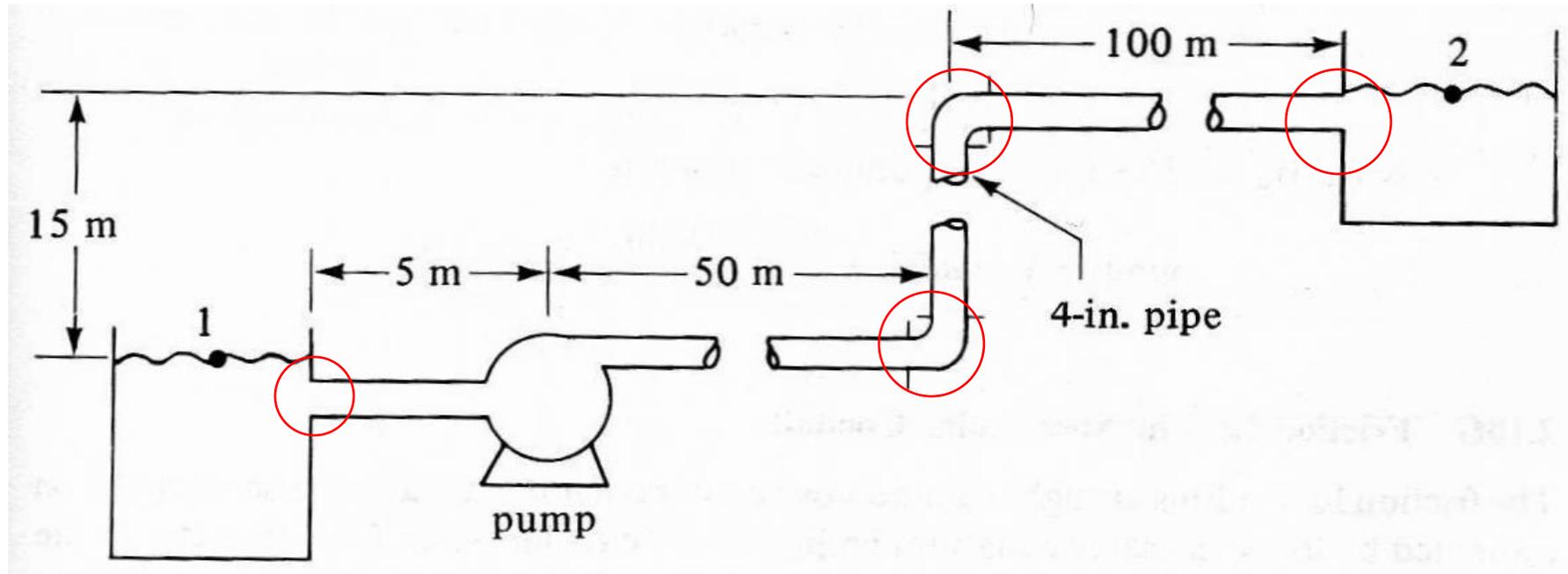


FIG. 10-33 Variation of total head as a function of flow rate to overcome both friction and static head.



Exercício 8: Água à 20 °C é bombeada de um tanque para outro em uma cota superior com vazão de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. A figura 11 ilustra o circuito de bombeamento. A tubulação tem diâmetro 4 polegadas e schedule 40. A eficiência da bomba é de 65%. Calcule a potência, em kW, necessária para a bomba.



Fator de atrito turbulento

Definição do fator de atrito f
$$F_t = 4f \frac{L V^2}{D 2}$$

No caso turbulento: $f = \text{função}(\text{Re}, \epsilon/D)$

Fanning
ou Moody

