

Adição de energia a um fluido → BOMBA

Remoção de energia de um fluido → TURBINA

## Classificação (critérios)

Princípio de funcionamento: deslocamento positivo, dinâmicas, diferença de densidade, quant. mov., mecânicas, gravidade, elásticas

Direcção do movimento das máquinas: rotodinâmicas e rotativas, alternativas

Direcção do escoamento: lineares, radiais, axiais mistas

## Serviços

\* transferência de fluido

\* transmissão de potência

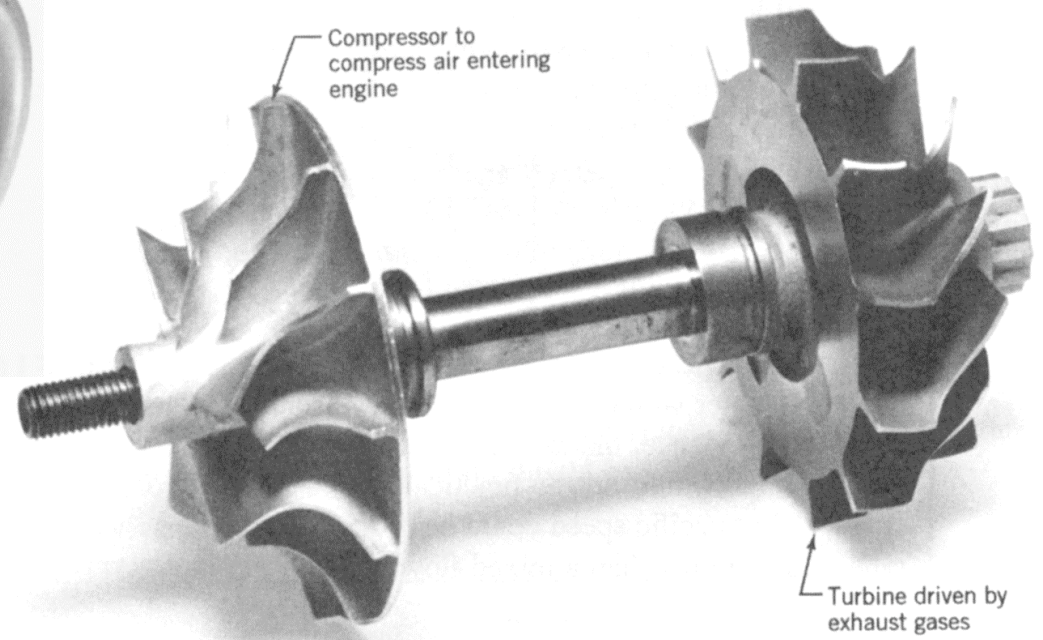
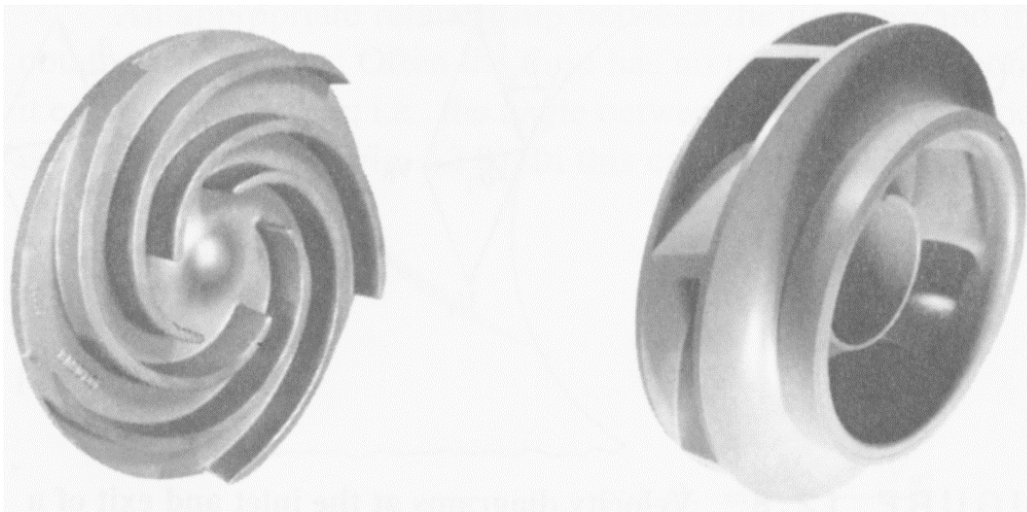
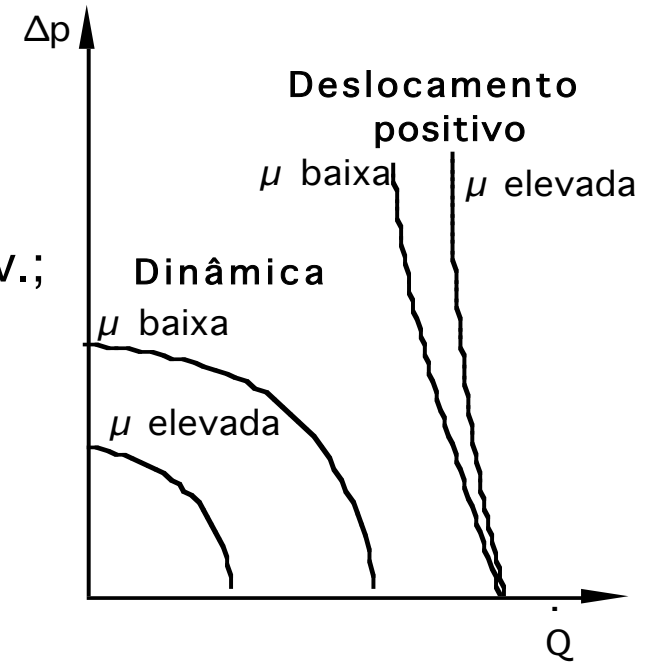
\* processamento (corte por jacto, limpeza)

**Deslocamento positivo** (mov. de fronteira periódico; vol. fechado; esc. pulsante, periódico)

- + Alternativas
- + Rotativas
- + Rotor múltiplo

**Dinâmicas** (mov. alta vel. de fronteira; adição de quant.mov.; volume aberto; conv. energ. cinética em pressão)

- + Rotativas
- + Especiais



- \* **Centrífugas ou radiais**

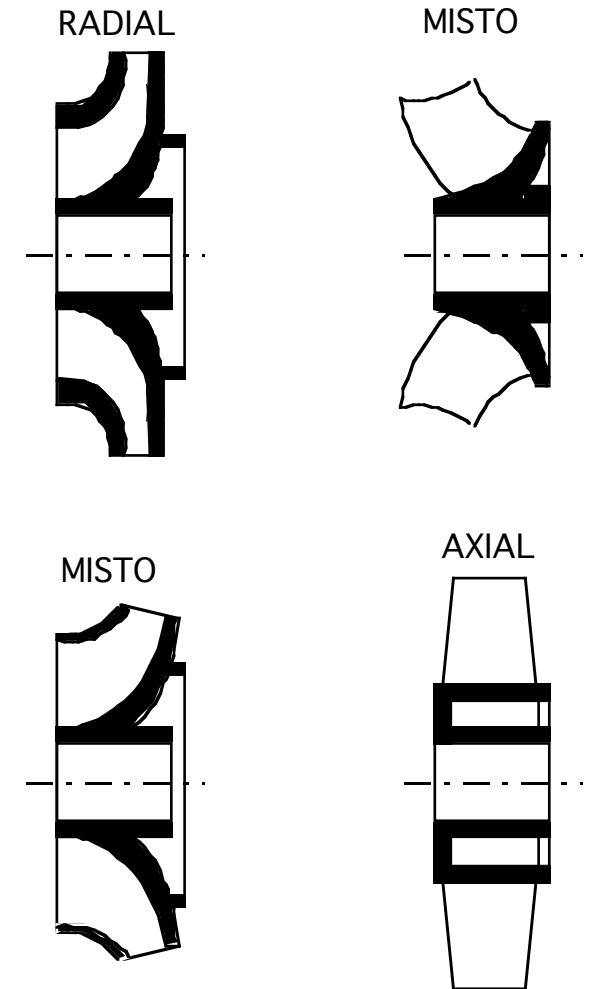
  - Rotação baixa (rotor lento);
  - Trabalho específico elevado;

- \* **Axiais**

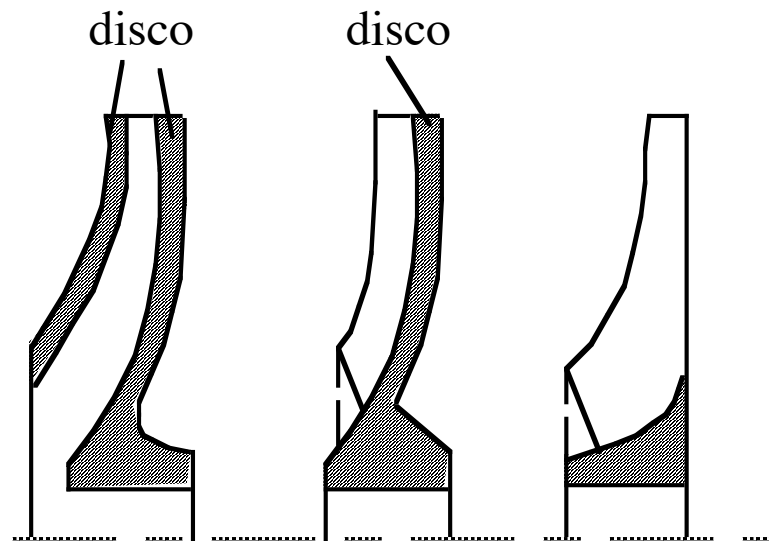
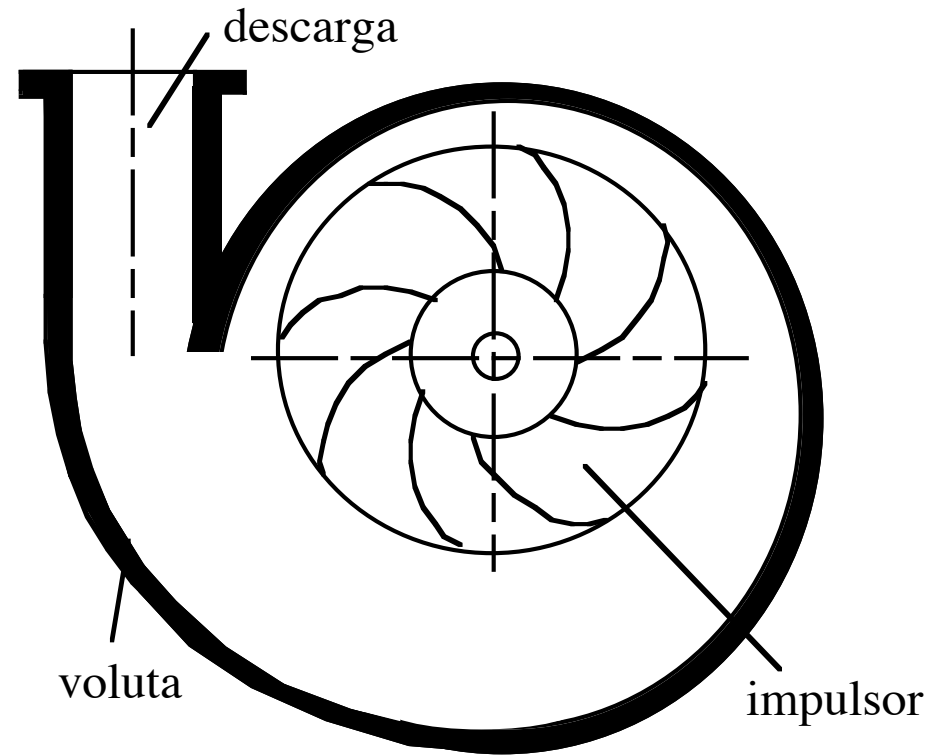
  - Rotação elevada (rotor extremamente rápido);
  - Trabalho específico baixo
  - Facilidade de organização de estágios em série

- \* **Mistas (entre radial e axial)**

  - Rotor rápido
  - Características médias em rotação e trabalho específico



Sistemas dinâmicos para ar comprimido: pouco frequentes em Portugal— baixas pressões, funcionamento em contínuo



### \* **Perdas hidráulicas**

- Escoamento circulatório: nº de pás finito; esc. com recirculação em cada canal; alteração dos ângulos do escoamento
- Fricção: atrito nas paredes; proporcional à rugosidade e quadrado do caudal
- Perdas por choque: afastamento das condições nominais
- Fricção no disco: resistência ao escoamento pelo rotor em rotação

\* **Perdas mecânicas** (constantes com o caudal e muito menores que perdas hidráulicas)

\* **Perdas volumétricas** (constantes com o caudal e muito menores que perdas hidráulicas)  
- associada a fugas nos interstícios das pás

## Curvas características

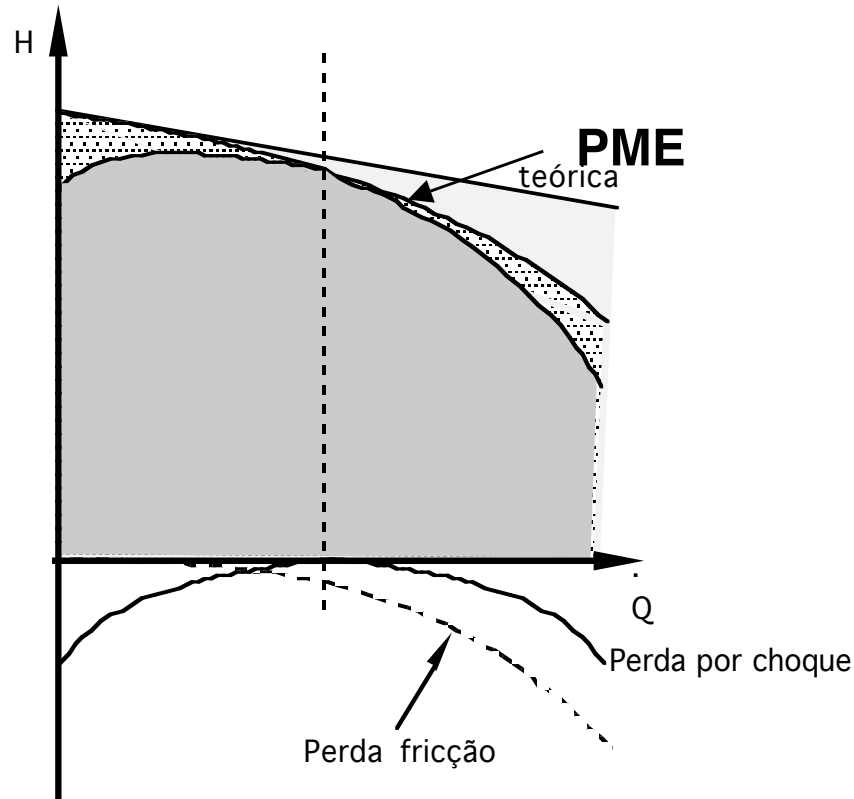
**Altura manométrica versus caudal** - Energia fornecida pela bomba em m de coluna de fluido em função do caudal debitado

**Altura de sucção (NPSH - Net pressure suction head)** - Altura manométrica máxima admitida pela bomba no lado de sucção para que não ocorra cavitação.

**Eficiência** - Relação entre a energia que alimenta a bomba e a energia que esta fornece ao fluido

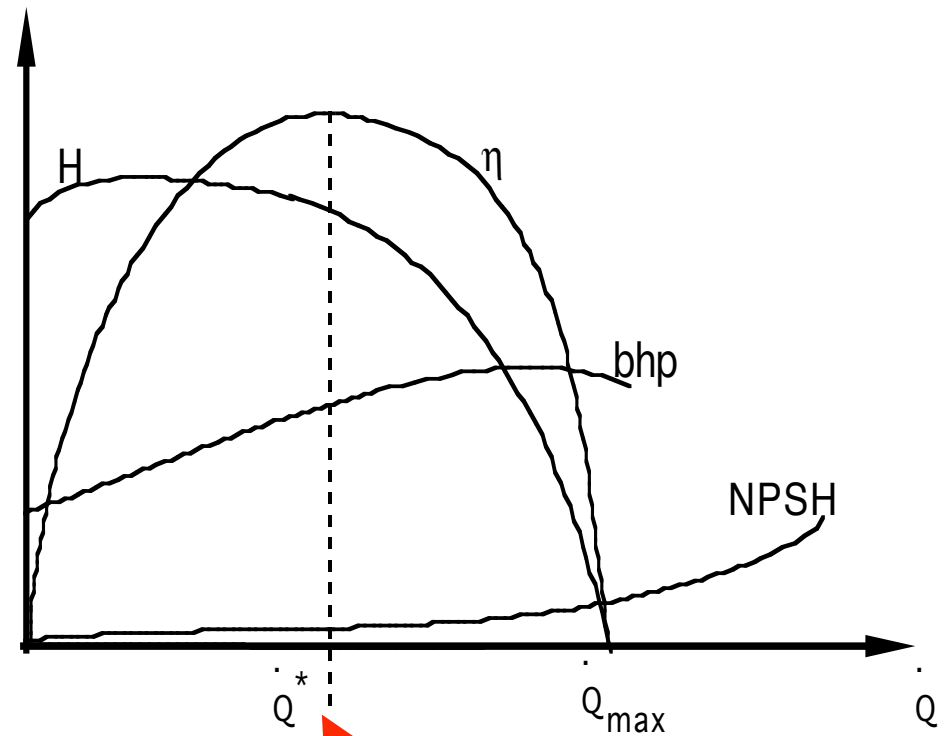
( $n = \text{constante}$ )

Altura manométrica e perdas



NOTA: pás curvas para trás

Altura manométrica, altura de sucção, eficiência e potência fornecida



Ponto de máxima eficiência - PME - (\*)

## Balço energético a uma bomba e a altura manométrica

Hipóteses: Escoamento incompressível

$$H = \left( \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{saída} - \left( \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{entrada} = h_s - h_f$$

**H - altura manométrica da bomba**

$h_s$  altura da bomba

$h_f$  perdas na bomba

Velocidades à entrada e saída  $\approx$  iguais  $\Delta z \approx 0$



$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

Potência fornecida ao fluido



$$P_w = \Delta p \dot{Q} = \rho g H \dot{Q}$$

Potência fornecida à bomba - "brake horsepower"



$$bhp = \omega T$$

**T - binário**

**$\omega$  - velocidade angular**

**Eficiência (total) da bomba**

$$\eta = \frac{P_w}{bhp} = \frac{\rho g H \dot{Q}}{\omega T}$$

e  $\eta = \eta_v \eta_h \eta_m$

**Eficiência volumétrica**

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q} + \dot{Q}_L}$$

→ Caudal que circula entre as pás

**Eficiência hidráulica**

$$\eta_h = 1 - \frac{h_f}{h_s}$$

**Eficiência mecânica**

$$\eta_m = 1 - \frac{P_f}{bhp}$$

→ Perdas mecânicas

**Altura de aspiração (NPSH - Net pressure suction head)** - Altura manométrica máxima admitida pela bomba no lado de aspiração para que não ocorra cavitação.

$$NPSH \leq \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g}$$

à entrada da bomba

$$NPSH \leq \frac{p_a}{\rho g} - Z_i - h_{fi} - \frac{p_v}{\rho g}$$

↓  
Cota da bomba acima de reservatório a  $p_a$



**Coeficiente de altura manométrica**

$$\frac{gH}{n^2 D^2} = g_1 \left( \frac{\dot{Q}}{nD^3}, \frac{\rho n D^2}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

$$C_H = g_1 \left( C_{\dot{Q}}, Re, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

**Coeficiente de capacidade**

**Coeficiente de potência**

$$\frac{bhp}{\rho n^3 D^5} = g_2 \left( \frac{\dot{Q}}{nD^3}, \frac{\rho n D^2}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

$$C_P = g_2 \left( C_{\dot{Q}}, Re, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

**Efeito da rugosidade tende a ser idêntico para muitos materiais comerciais**

**Elevados  $Re$**   $\Rightarrow$   $C_H = C_H(C_{\dot{Q}})$        $C_P = C_P(C_{\dot{Q}})$

**Eficiência**

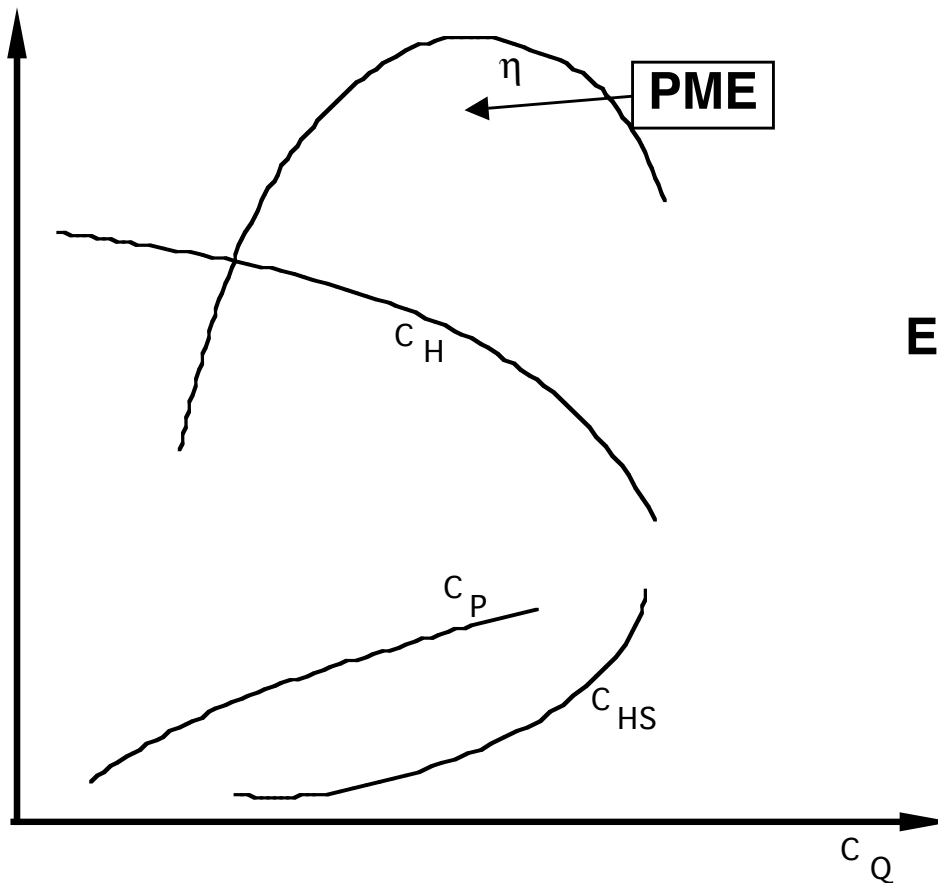
$$\eta = \frac{C_H C_{\dot{Q}}}{C_P} = \eta(C_{\dot{Q}})$$

**Coeficiente de altura de aspiração**

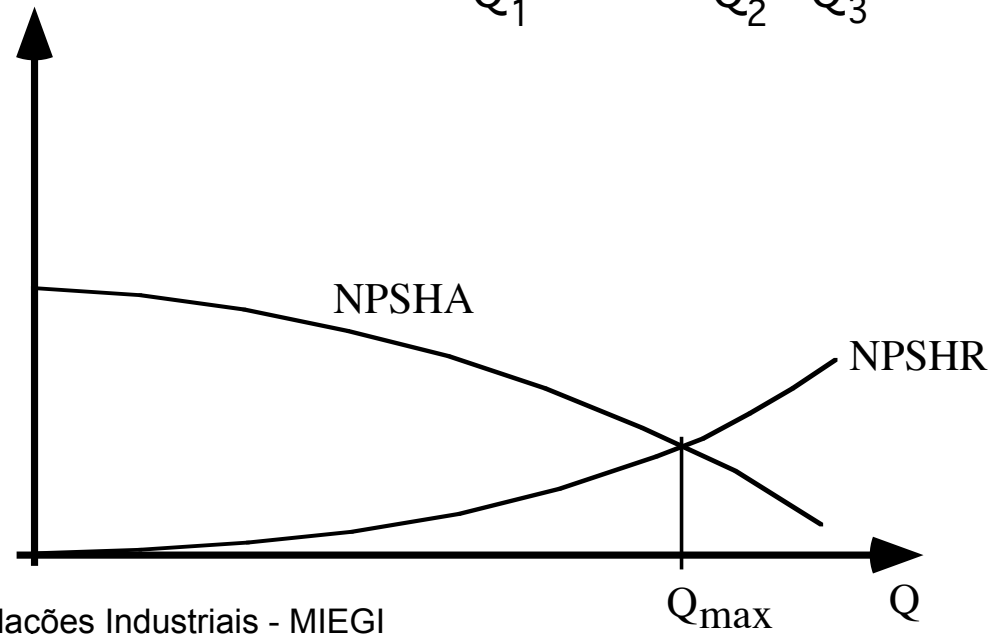
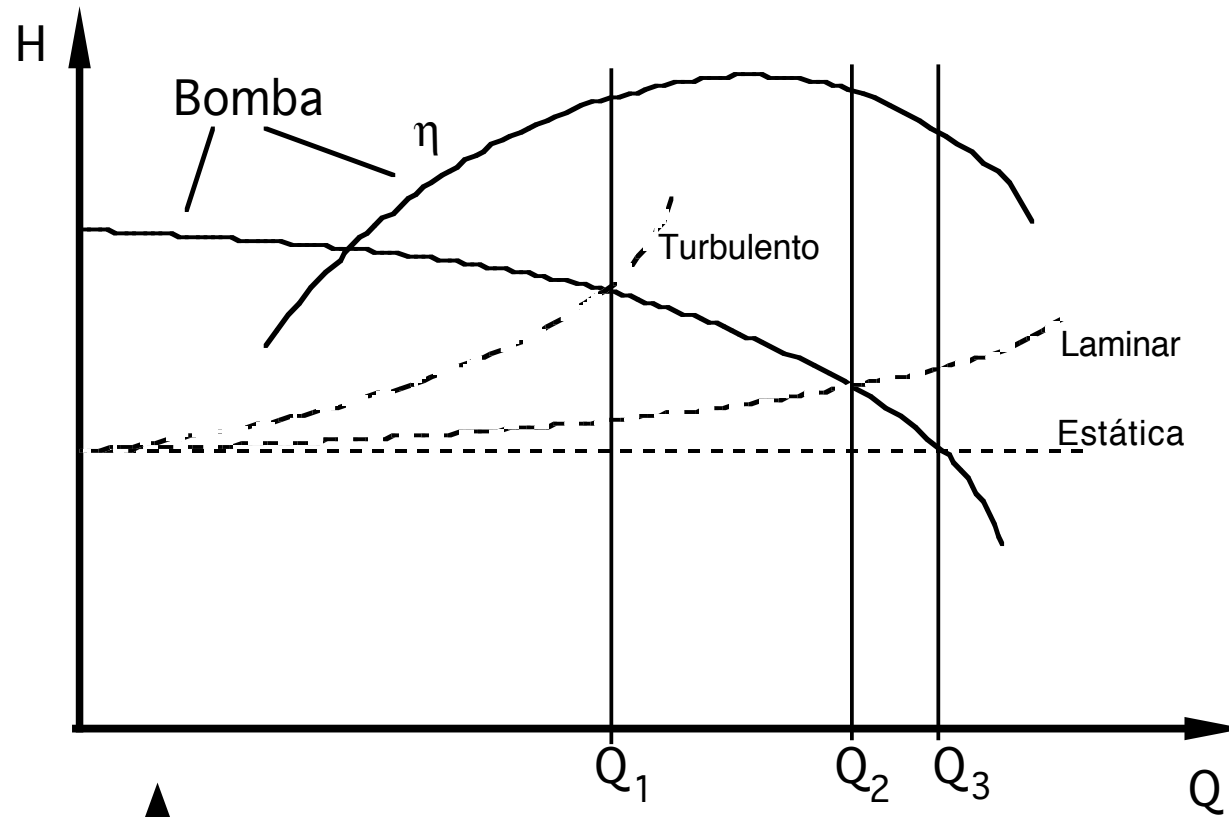
$$C_{HS} = \frac{gNPSH}{n^2 D^2} = C_{HS}(C_{\dot{Q}})$$

## Necessário confirmar semelhança de máquinas

- \* Diferentes impulsores na mesma envolvente viola semelhança
- \* Relações de rugosidade e espaçamentos em máquinas de maior dimensão viola semelhança
- \* Líquidos mais viscosos reduzem  $Re$  e conduzem à transição

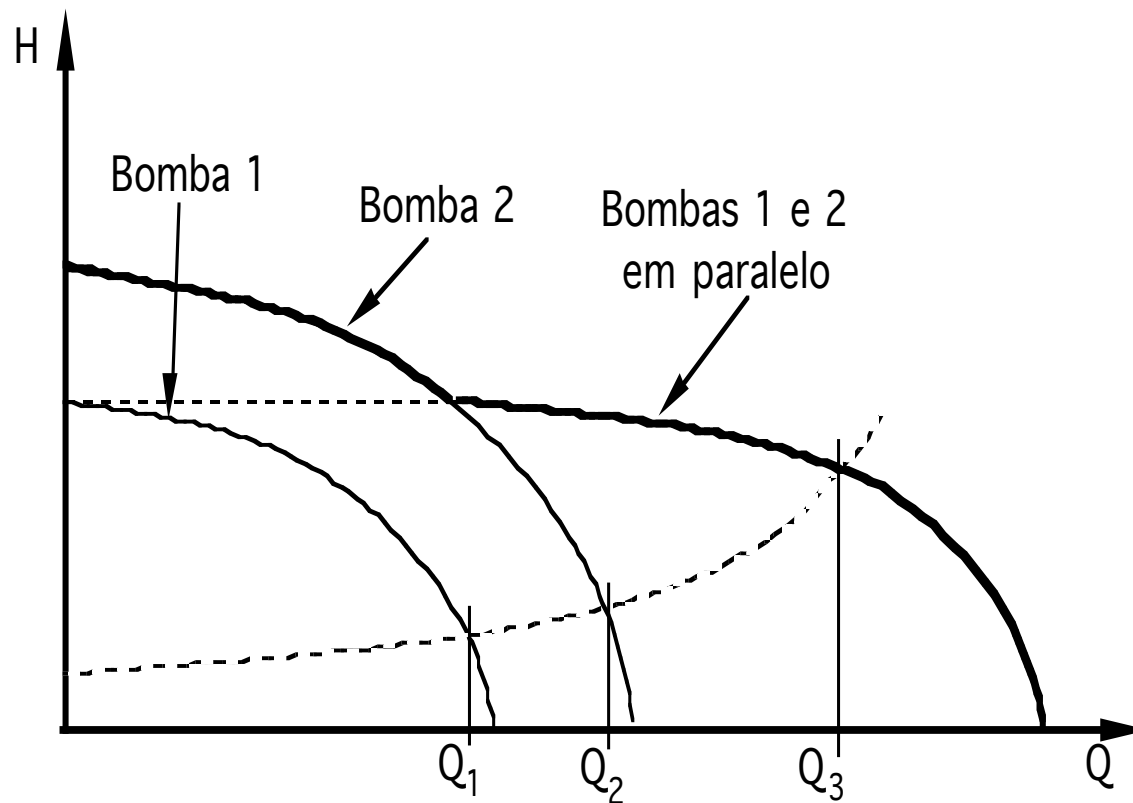


**Experimentação mostra que as curvas são praticamente universais desde que se mantenha semelhança**



## ALTURA MANOMÉTRICA

- \* Se uma única bomba não debita o caudal suficiente para uma dada H;
- \* Quando o caudal varia; uma bomba para caudais baixos e a outra quando o caudal aumenta



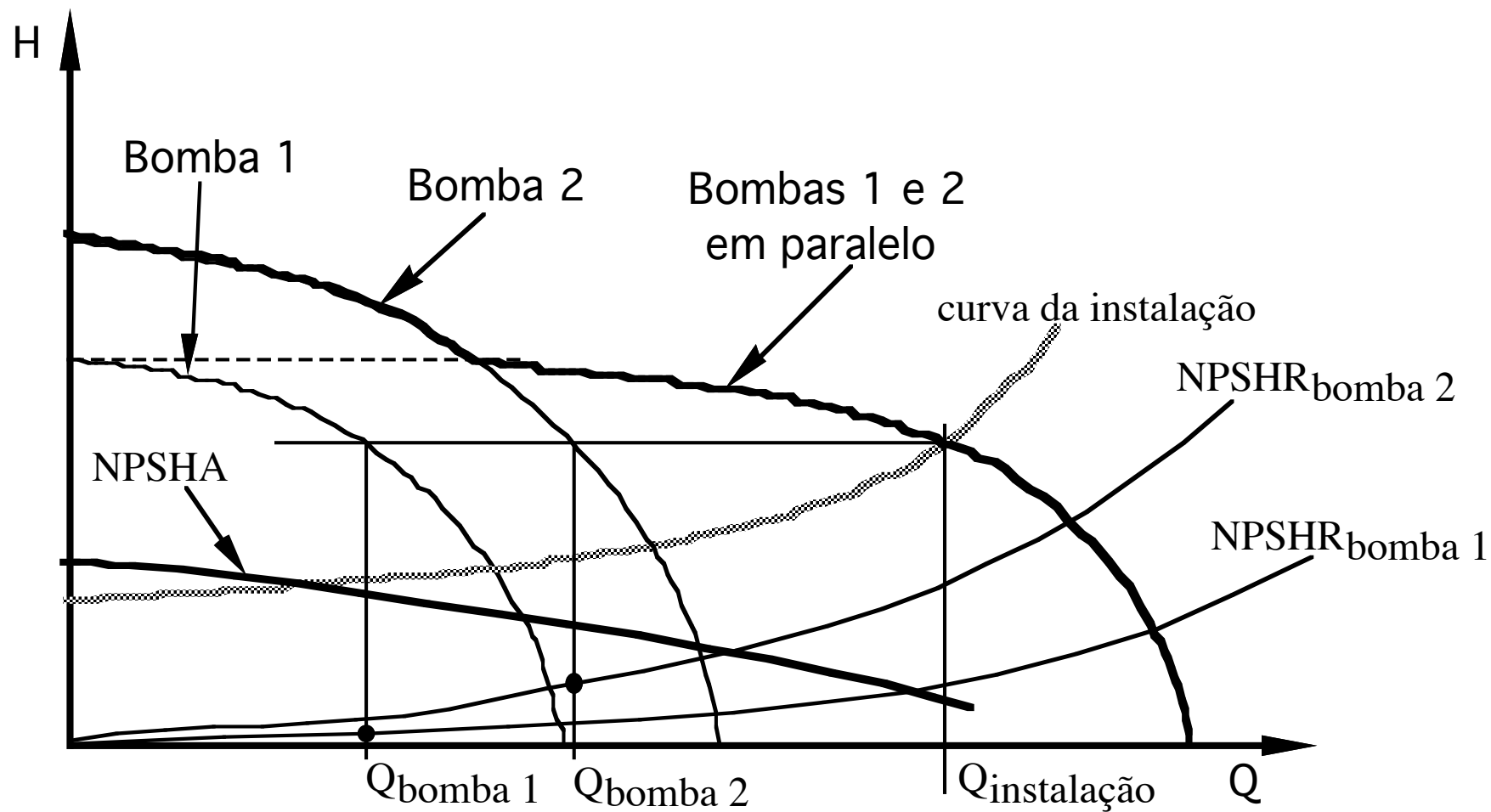
As bombas não têm de ser iguais;  
 Se caudal é tal que  $H < H$  máximo de bomba 1 esta não entra em funcionamento (ver fig)

$$Q_{A+B} \leq Q_A + Q_B$$

$$bhp_{A+B} = bhp_A + bhp_B$$

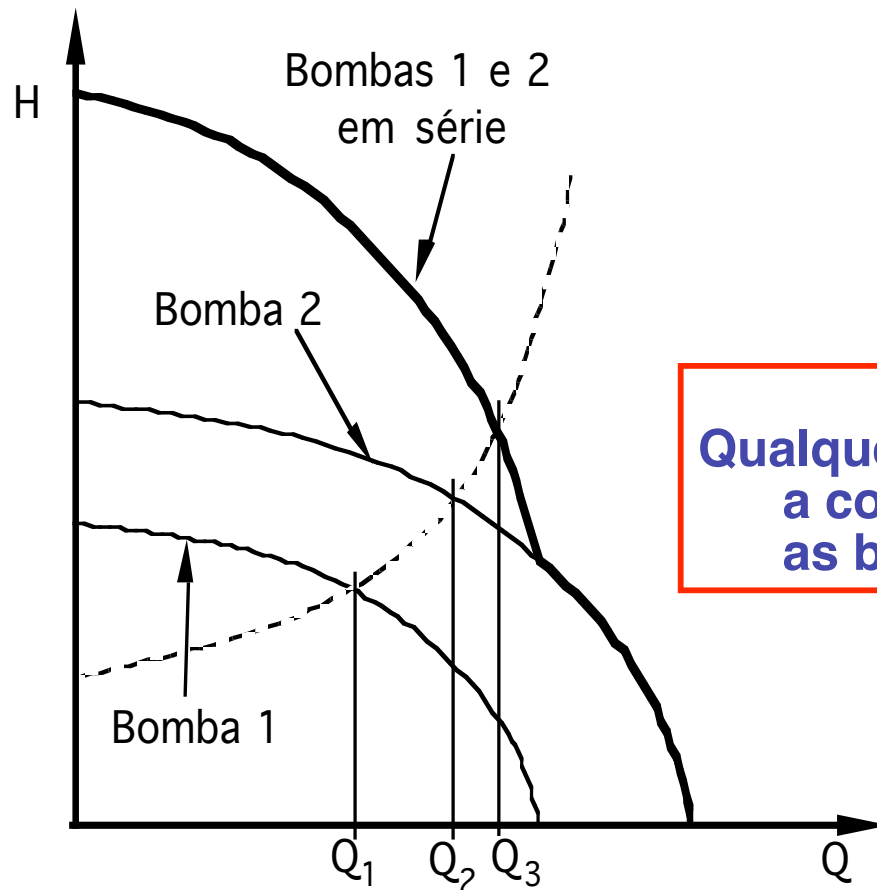
para o H do ponto de funcionamento

**ALTURA DE ASPIRAÇÃO**



## ALTURA MANOMÉTRICA

- \* Se uma única bomba debitar o caudal necessário mas com baixo H;
- \* Quando a altura manométrica varia; uma bomba para baixos valores de H e a outra quando o H aumenta
- \* Quando a curva do sistema é muito íngreme

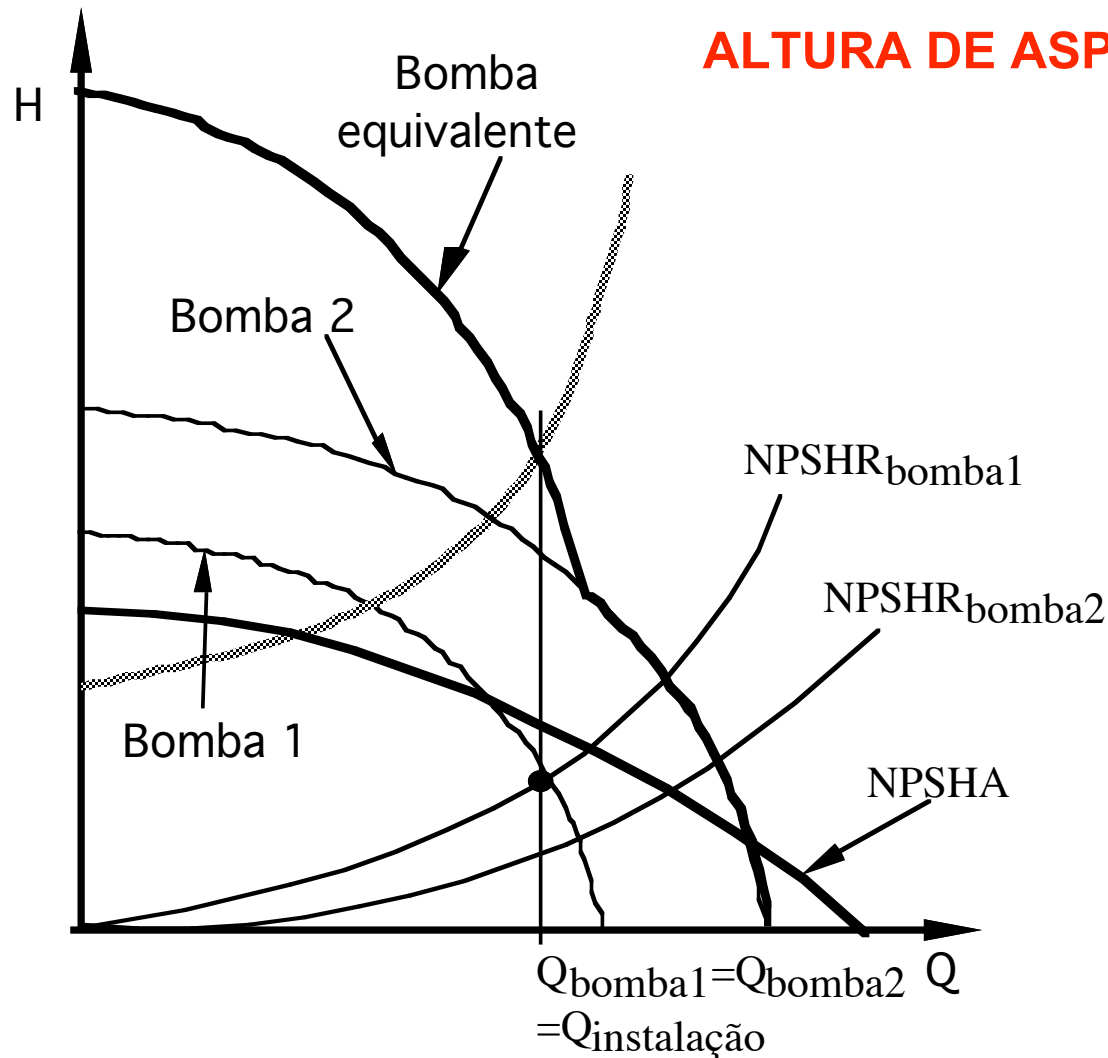


As bombas não têm de ser iguais;

$$H_{A+B} \leq H_A + H_B$$

### IMPORTANTE

Qualquer que seja o arranjo (paralelo ou série) a combinação só é económica se ambas as bombas operarem junto do **PME**



**ALTURA DE ASPIRAÇÃO**

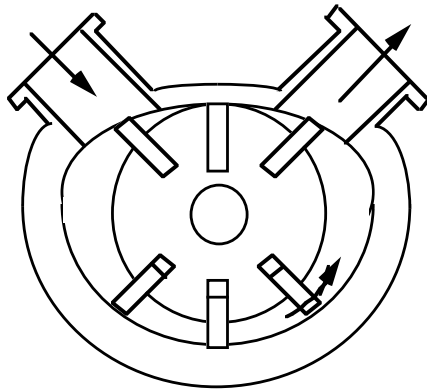
$$NPSHR_{1^{a}bomba} \leq NPSHA$$

**Bombas de vários estágios**

- \* Alturas manométricas muito elevadas em vez de combinação de bombas em série;
- \* Constituída por uma série de volutas onde a saída da primeira entra na segunda, etc;
- \* Bombas multiestágio muito frequentes com geometrias mistas e axiais

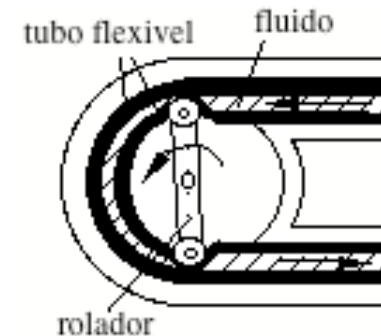
- **Bombas alternativas:** pistão alternativo e diafragma
- **Bombas rotativas:** engrenagem, lóbulos, palhetas, parafuso, rotor excêntrico (Mono) e peristáltica

## Bomba rotativa de palhetas



**baixa capacidade  
volumétrica**

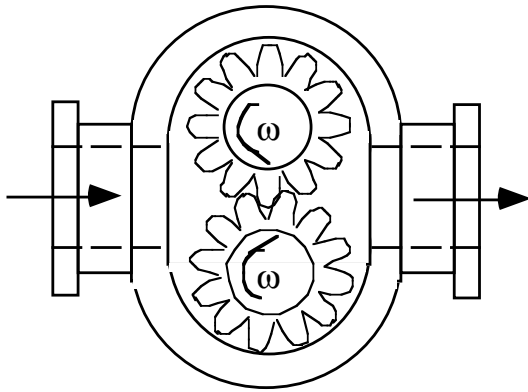
## Bomba peristáltica



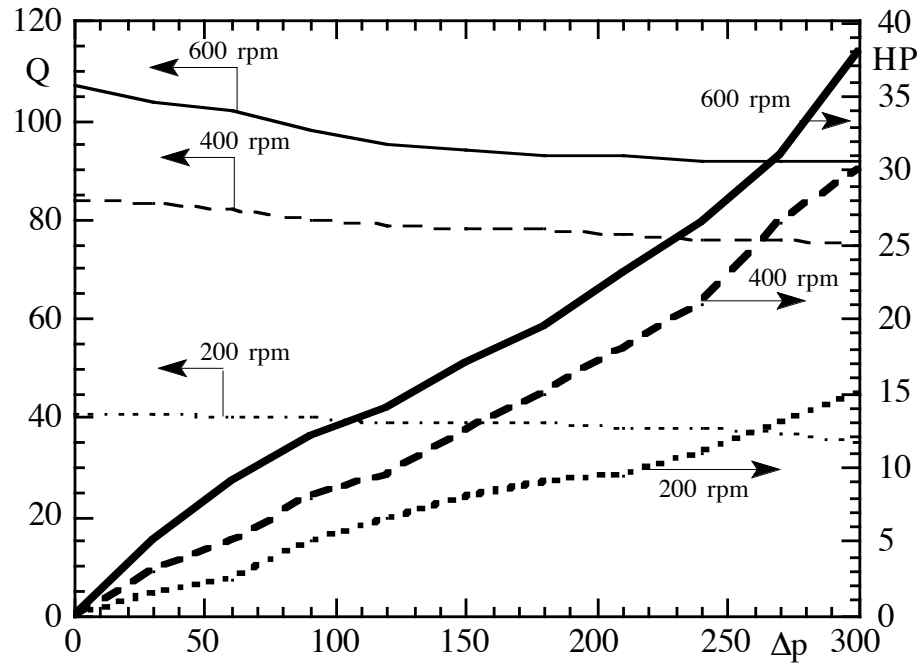
**baixos caudais  
total ausência de contaminação  
utilização em aplicações médicas  
(hemodiálise, máquinas coração-pulmão)**



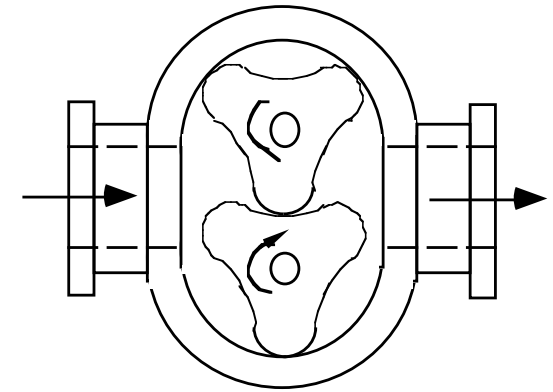
## Bomba de engrenagens



Curva característica (bomba engrenagens)



## Bomba de lóbulos



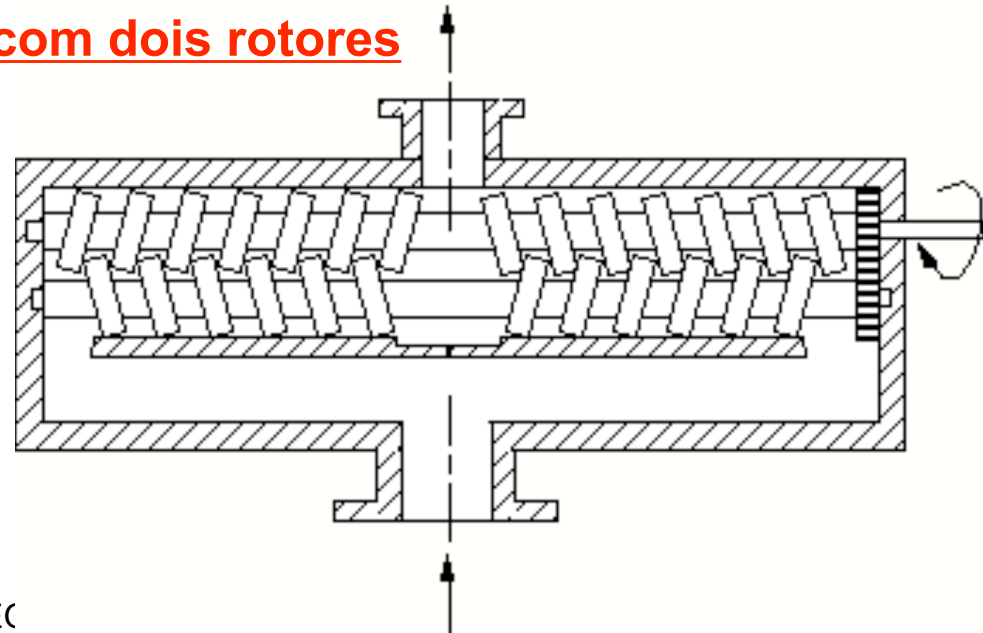
baixa capacidade volumétrica

indústrias:

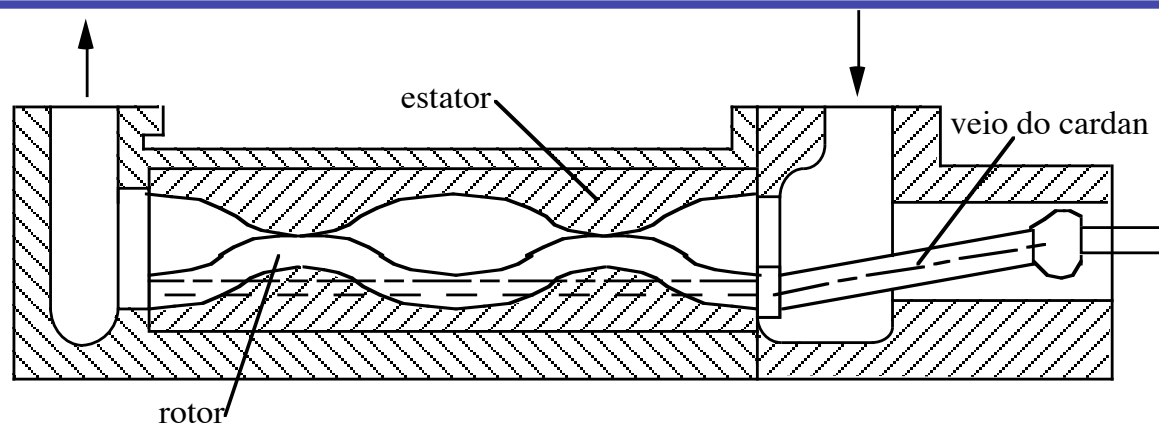
- alimentar
- farmacêutica

## Bomba de parafusos com dois rotores

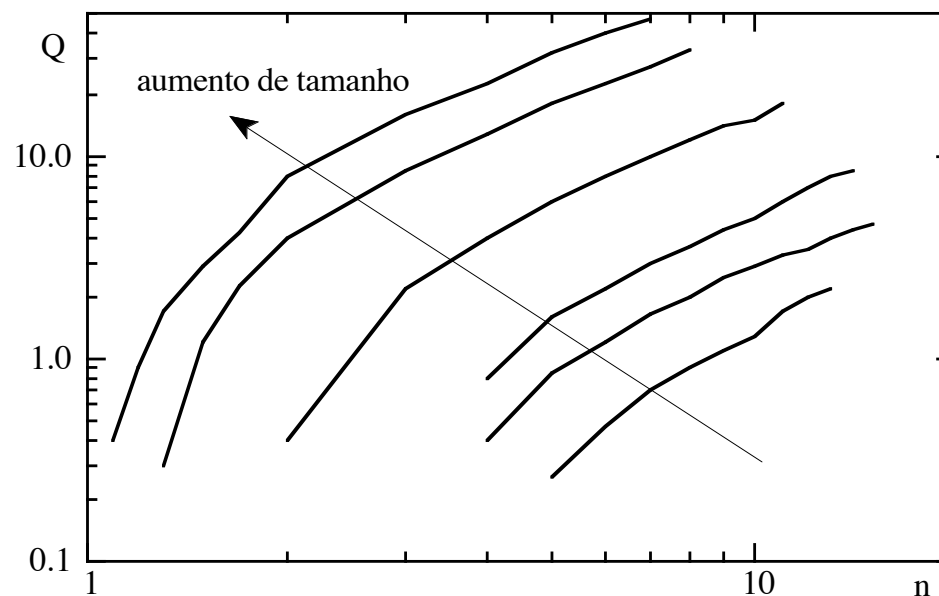
caudais e alturas da mesma ordem de grandeza das bombas dinâmicas

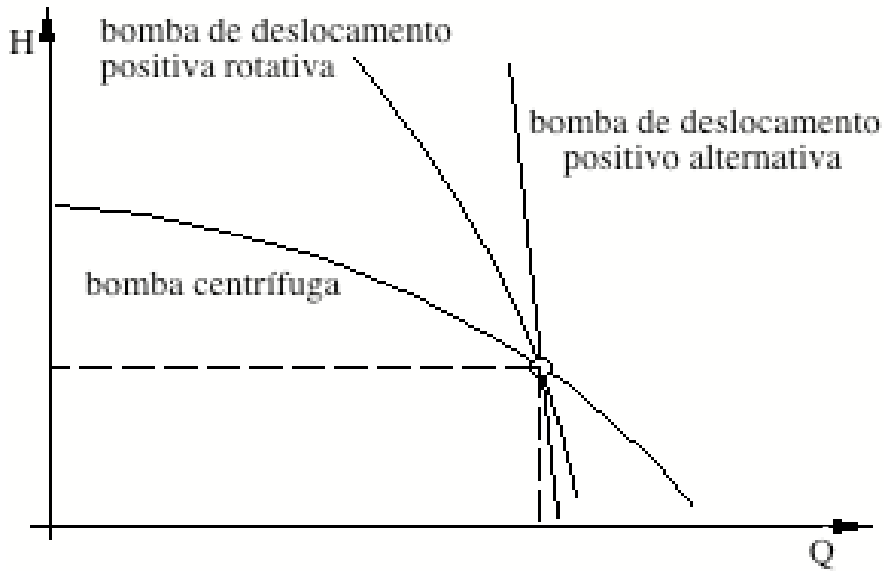


**bombas muito precisas  
de baixo caudal e elevada  
altura manométrica**



## Curva característica





## Comparação entre bombas dinâmicas e de deslocamento positivo

## Carta de gamas de utilização de bombas de deslocamento positivo

