

# PME 3230

## Bombas

Alberto Hernandez Neto

# Bombas

Máquinas hidráulicas que adicionam energia ao fluido (líquido)

Características principais:

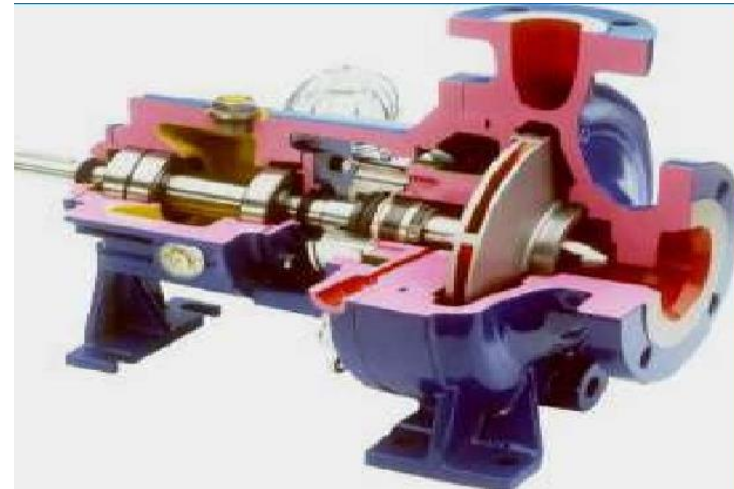
- Alta densidade de potência
- Poucas partes móveis
- Eficiência razoável

Tipos:

- Deslocamento positivo (estáticas)
- Turbobombas (dinâmicas)

# Bombas

- Deslocamento positivo: fluido é forçado para dentro ou para fora por uma mudança de volume de uma câmara
- Turbobombas: presença de um rotor que quando gira adiciona energia ao fluido



# Bombas de deslocamento positivo

(a) Pistão recíproco

(b) Engrenagens

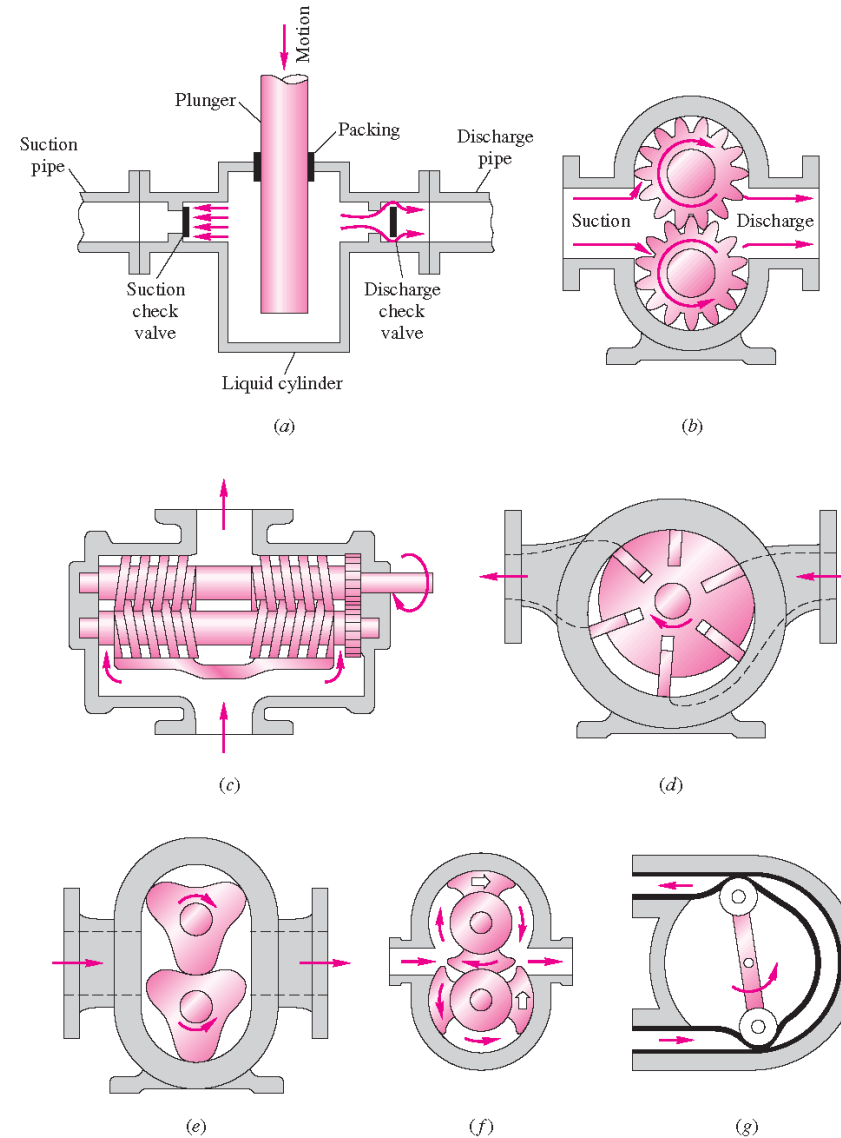
(c) Parafuso duplo

(d) Palhetas

(e) Lóbulos

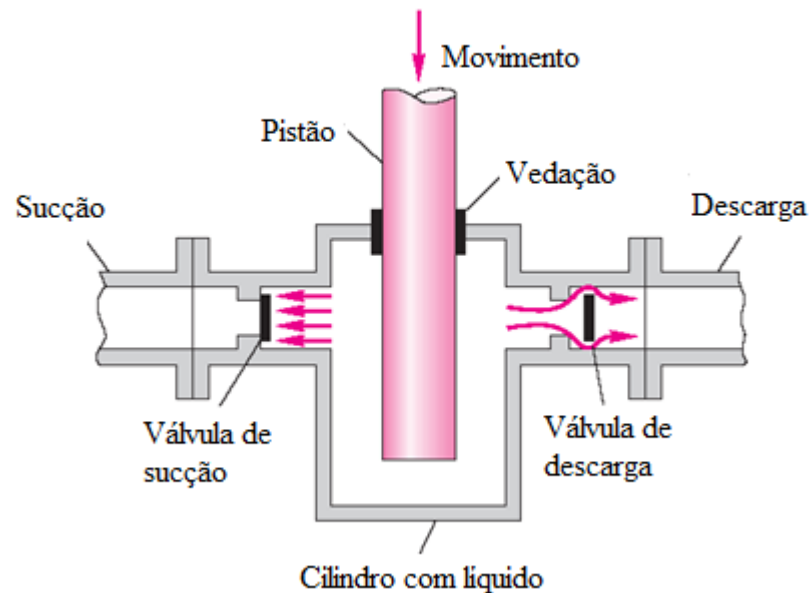
(f) Pistão duplo circunferencial

(g) Tubo flexível



# Bombas de deslocamento positivo

## Pistão recíproco





Alto rendimento

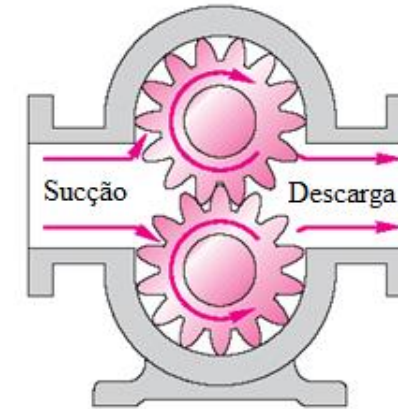
Pressões: máximo de 450 bar

Uso: prensas, máquinas injetoras, extrusoras, máquinas da linha amarela, perfuratrizes, linha de concretagem, movimentação de cargas

# Bombas de deslocamento positivo

## Engrenagens

Tipo de Bomba	Engrenagem Interna	Engrenagem Externa
		
<b>Características</b>		
Número de Mancais	2	4
Contato com Produto Bombeado	Não	Sim
Quando Desgastada:	Substitua Apenas as Partes Rotativas e o Cabeçote	Substitua por uma Bomba Nova
Opera com Produtos Contaminados, Abrasivos, ou de Alta Viscosidade?	Sim	Não
Opera com Produtos de baixa Viscosidade e Pouca Lubrificidade?	Sim	Não
Ajuste de Folga Axial	Sim	Não
Eficiência do Bombeamento	Alta	Baixa
Vedação/Nível de Confiabilidade	Selo Mecânico/Alto	Gaxetas/Baixo
Nível de Ruído	Baixo	Alto



### Aplicações:

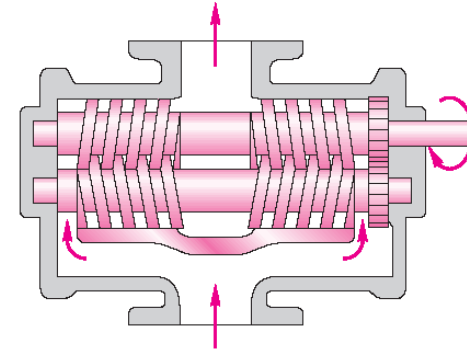
- Bombeamento de Óleos
- Lubrificação de Equipamentos Rotativos
- Dosagem em Processos Industriais
- Sistemas de Filtragem de Óleos
- Recalque de Óleo Solúvel
- Drenagem de Resíduos Oleosos
- Transferência de Resinas e Polímeros
- Transferência e Dosagem de Melaço
- Alimentação de Filtros-Prensa

## Bombas de deslocamento positivo

### Parafuso duplo

#### Características:

- Capacidade: até 1000m<sup>3</sup>/h
- Pressões: de 25 bar a 50 bar
- Configurações de rolamentos internos ou externos
- Montagem horizontal ou vertical



#### Aplicações típicas:

Petróleo

Betume, asfalto

Óleo combustível

Combustível de aviação

Bombeamento de água doce / salgada/

águas oleosas / água suja

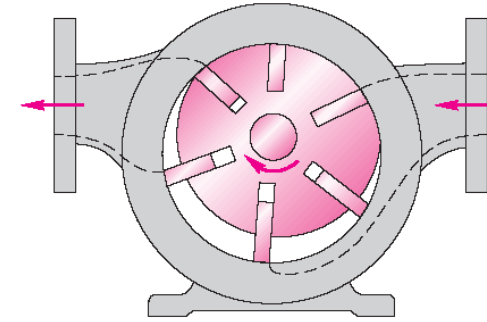
Lavagem de tocha

Injeção de espuma contra incêndio

Evacuação de lastro/líquidos em tubulações

# Bombas de deslocamento positivo

## Palhetas



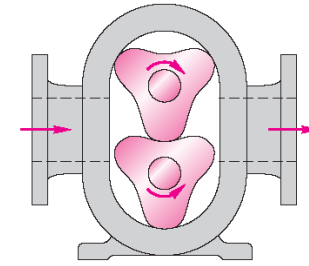
### Aplicações:

- Alta pressão: bombas de direção assistida e câmbio automático; frenagem em caminhões grandes
- Média pressão: carbonadores de dosadores de refrigerantes e máquinas de café espresso
- Baixa pressão: aplicações de gás para controle de emissão de exaustão, evacuação de fluido refrigerante em condicionadores de ar
- Aviões leves: instrumentos de voo giroscópios, o horizonte artificial e indicador de rumo



# Bombas de deslocamento positivo

## Lóbulos



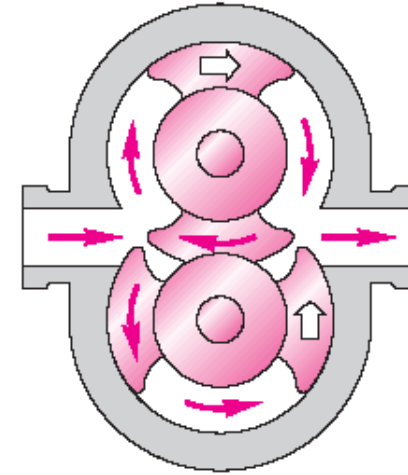
- Princípio de funcionamento: similar ao da bomba de engrenagens
- Produto é transportado no espaço entre lóbulos (que podem ser de asa dupla ou tripla), acionados por dois rotadores
- Bombeamento suave, com fluxo linear e sem pulsação, ideal para fluidos sensíveis ao cisalhamento ou que não podem sofrer processo de emulsificação durante o bombeamento

### Aplicações:

Transporte de fluidos muito viscosos, como adesivos, lodos, óleos, massas alimentícias, pomadas e melaços

## Bombas de deslocamento positivo

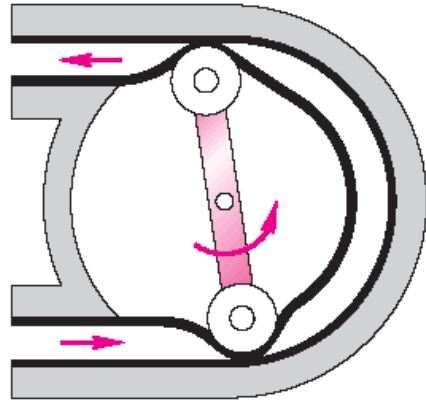
### Pistão duplo circunferencial



- Movimentação de substâncias na indústria cosmética, farmacêutica e a alimentícia
- Isolamento dos produtos do contato externo, evitando contaminação
- Bombeamento suave, evitando alteração das propriedades físicas

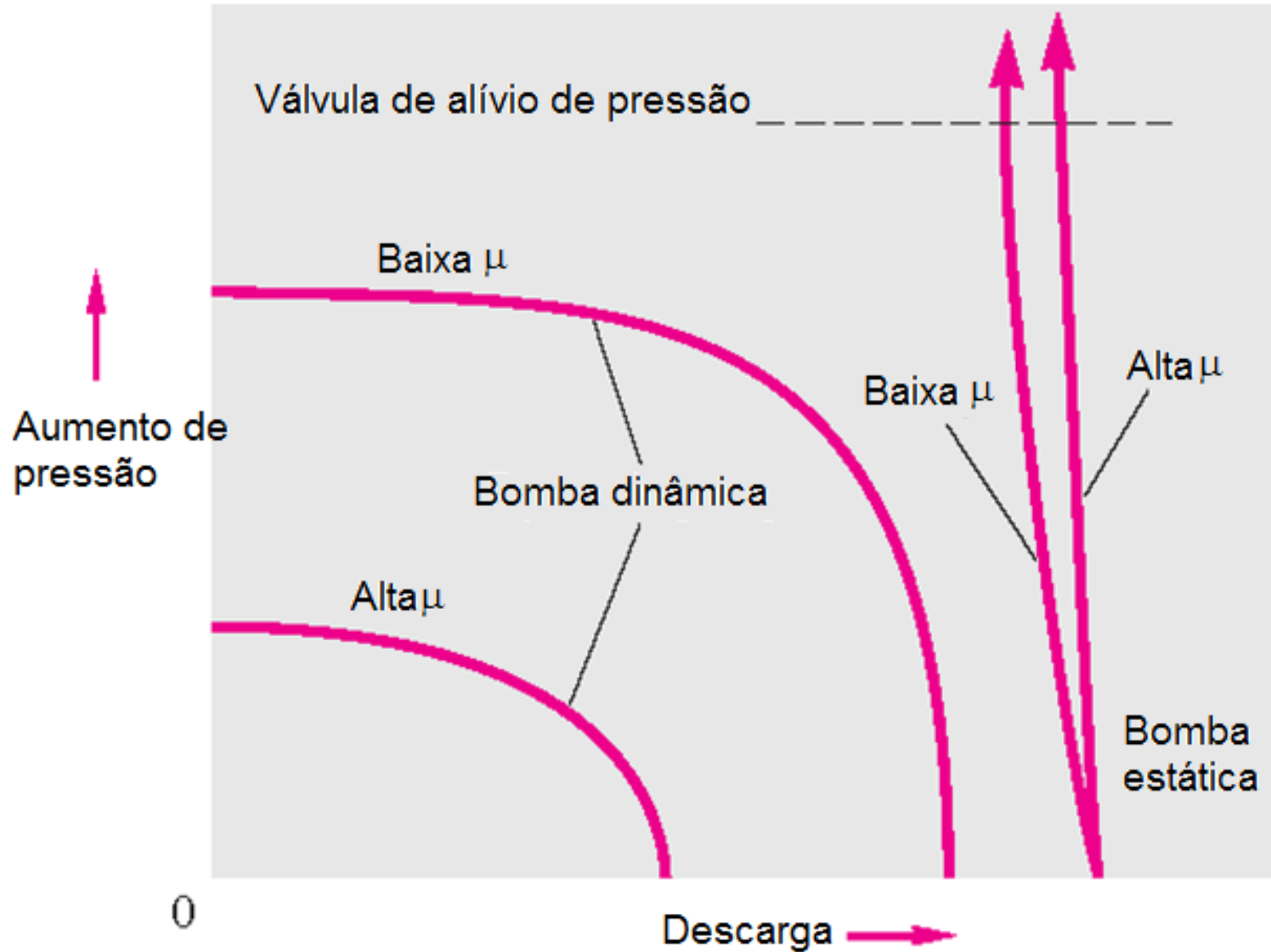
# Bombas de deslocamento positivo

## Tubo flexível (bomba de perfusão)

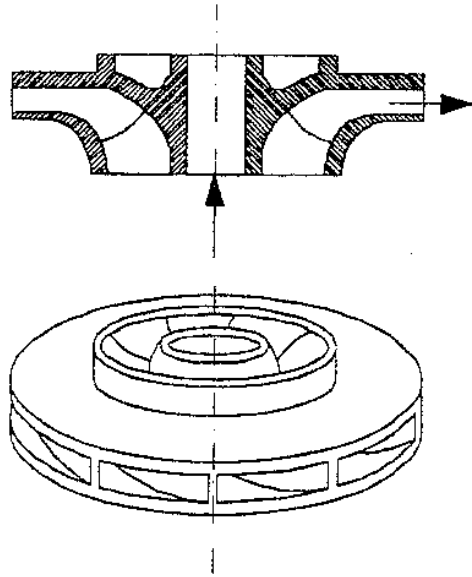


- Mecanismo: rotativo ou linear
- Acionamento: motor de passos com redutor e comandado por um circuito eletrônico de precisão
- Vazão : de 0,5 mililitros por hora até 1 litro por hora e quantidades de 1 ml até 10 litros
- Aplicações médicas

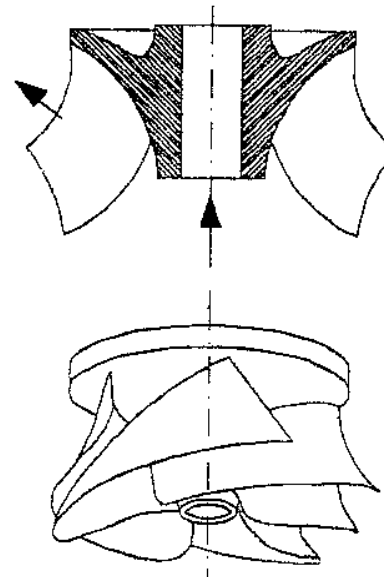
# Comparação entre bombas estáticas e dinâmicas



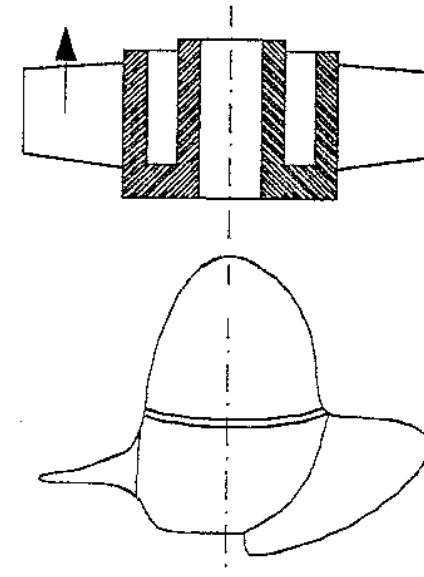
# Classificação das turbobombas quanto à direção principal do escoamento



Radial



Misto

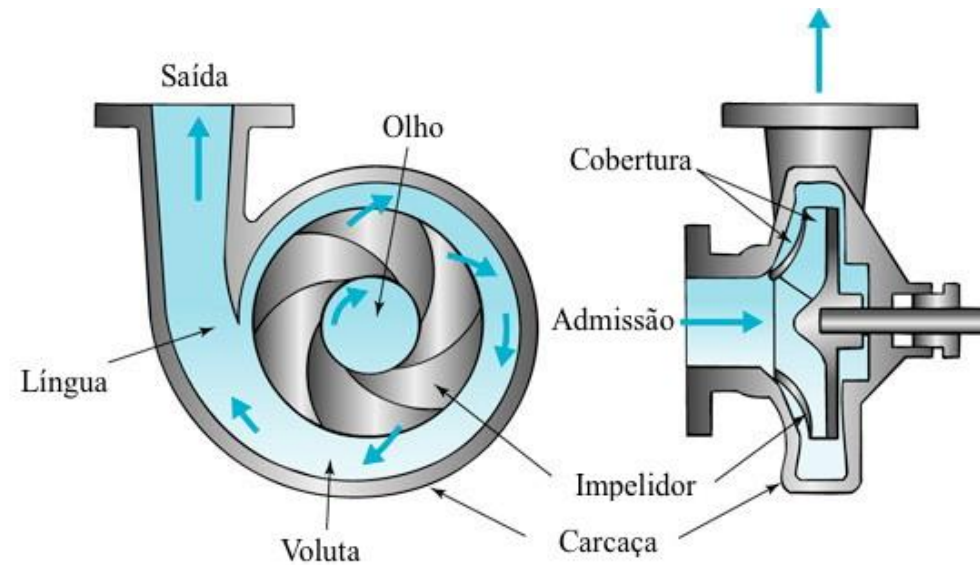


Axial

# Bomba centrífuga

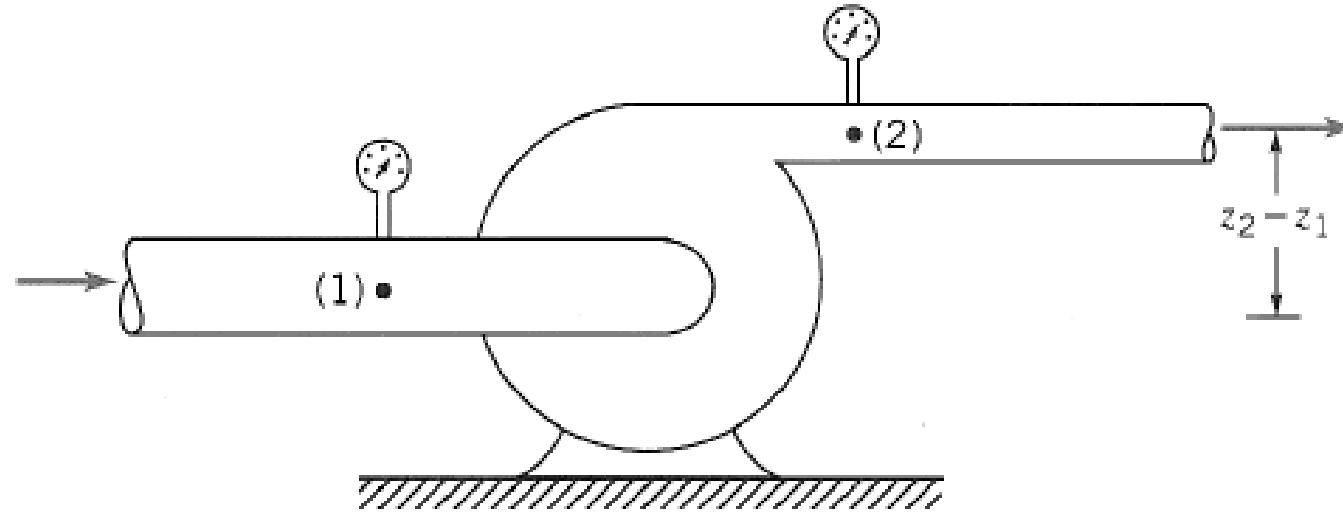
Dois componentes principais:

- Rotor montado em eixo
  - Carcaça (voluta) que envolve o rotor
- 
- Rotores podem ser:
    - Abertos
    - Fechados
    - Simples
    - Dupla sucção
    - Múltiplos estágios



## Análise energética

$\dot{Q}$

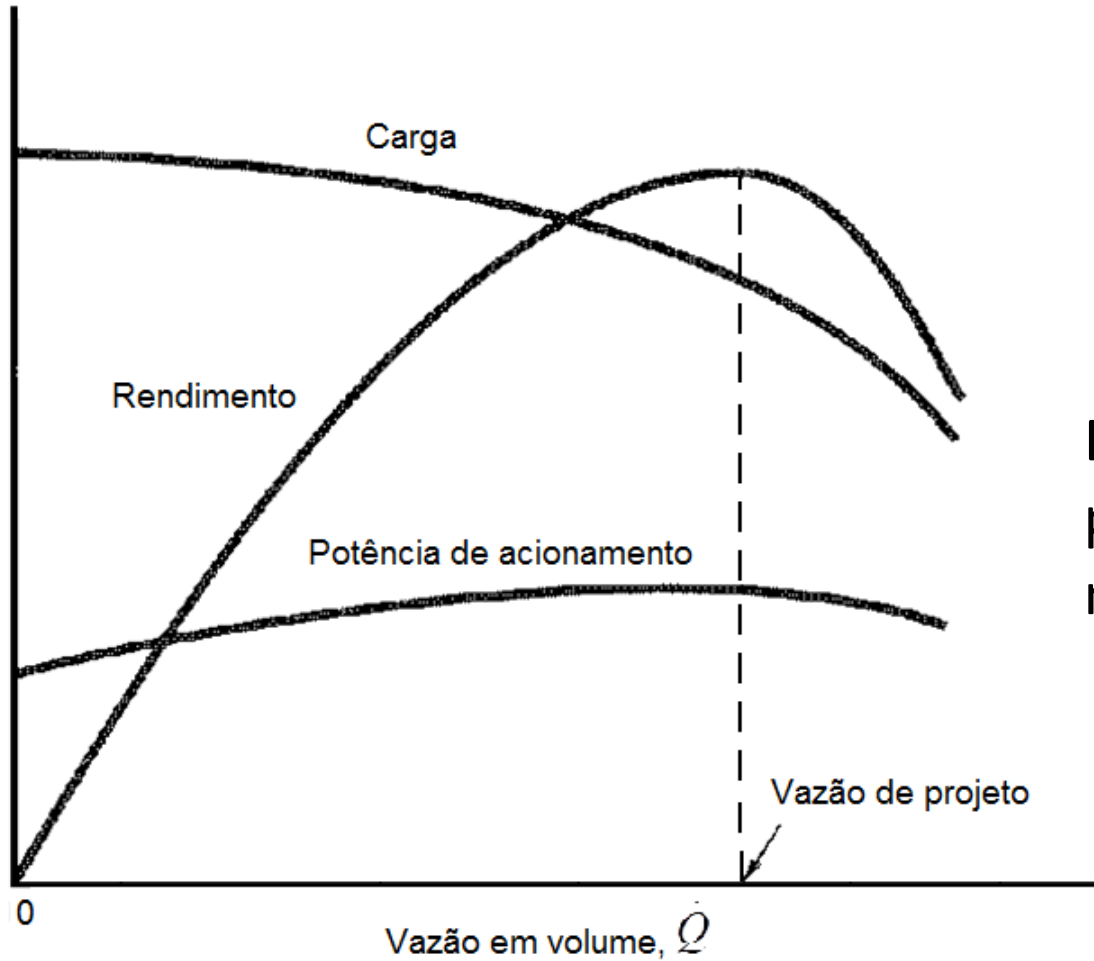


$$h_r = h_e - h_L = \left( \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \bar{V}_2^2}{2g} + z \right)_2 - \left( \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \bar{V}_1^2}{2g} + z \right)_1$$

Potência:  $\dot{W}_f = \gamma \dot{Q} h_r$

Rendimento:  $\eta = \frac{\dot{W}_f}{\dot{W}_m} = \frac{\gamma \dot{Q} h_r}{\omega T}$

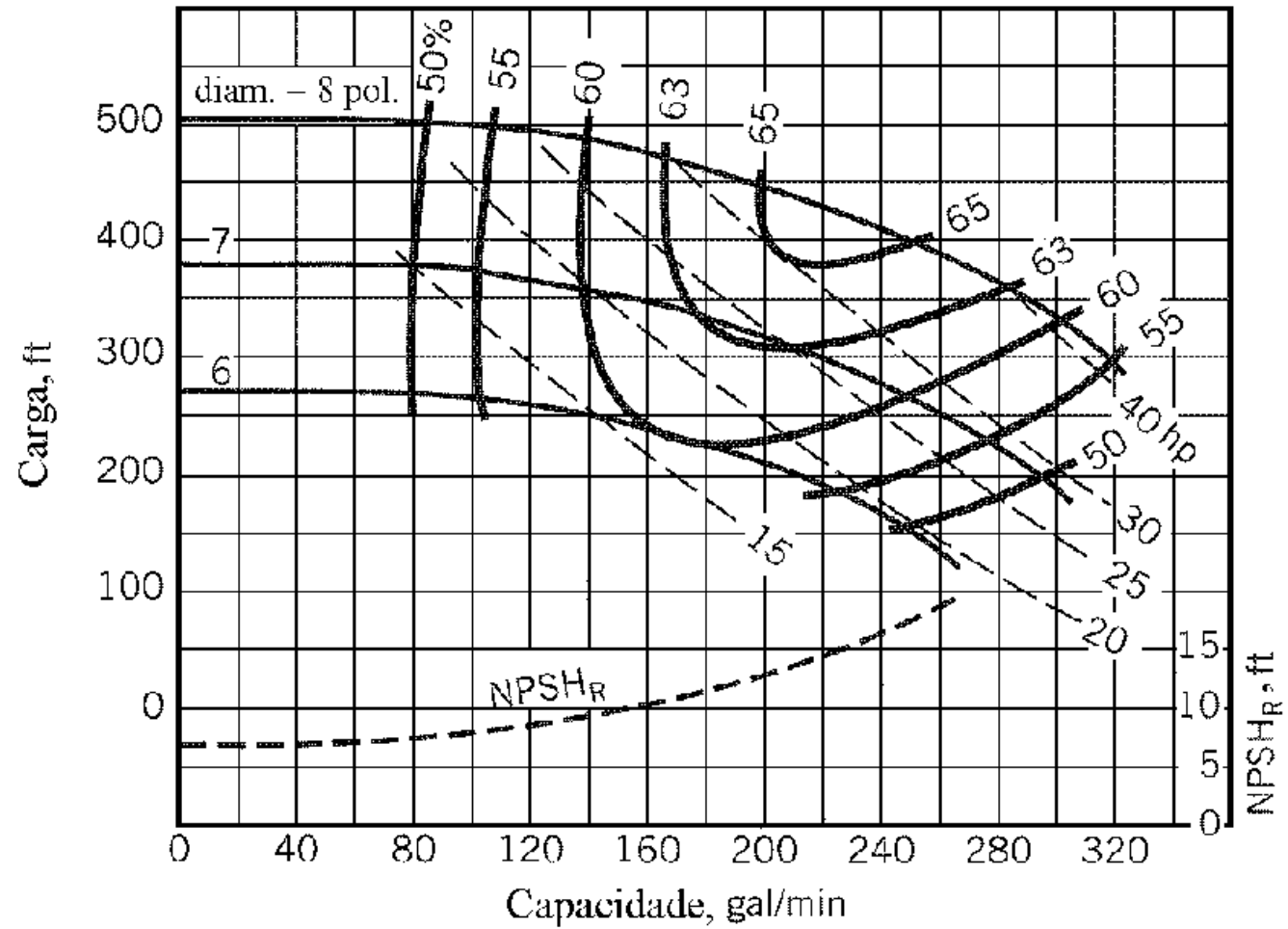
# Curva característica



BEP: best efficiency point = ponto de rendimento máximo



# Curva característica



## NPSH (Net Positive Suction Head)

Parâmetro a ser verificado para evitar a cavitação na entrada da bomba

$$NPSH = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\bar{V}_s^2}{2g} - \frac{p_v}{\gamma}$$

$NPSH_R$  ( NPSH requerido):

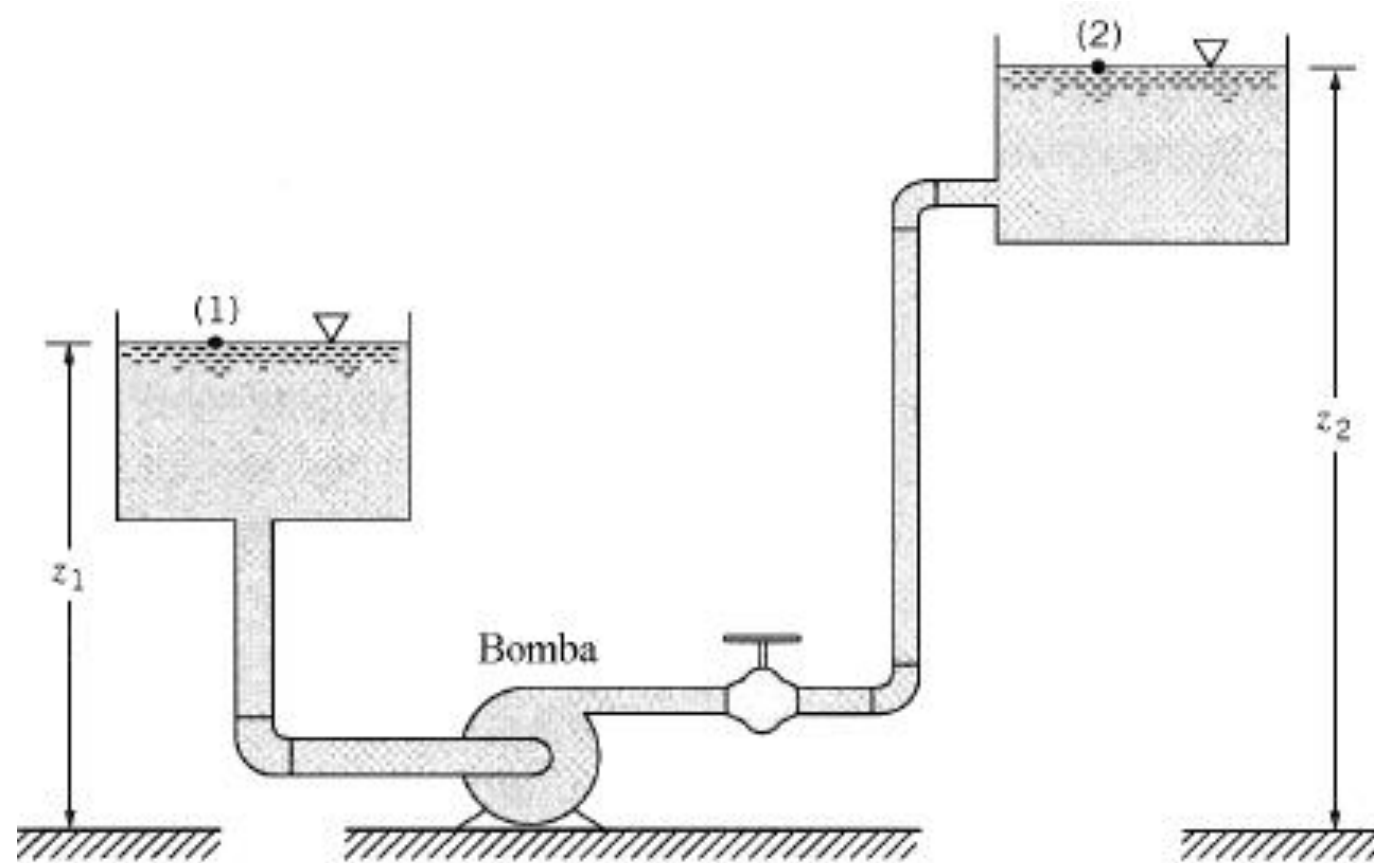
- Deve ser mantido ou excedido para que não ocorra a cavitação
- Variável com vazão
- Determinação experimental

$NPSH_D$  ( NPSH disponível):

- Carga que realmente ocorre

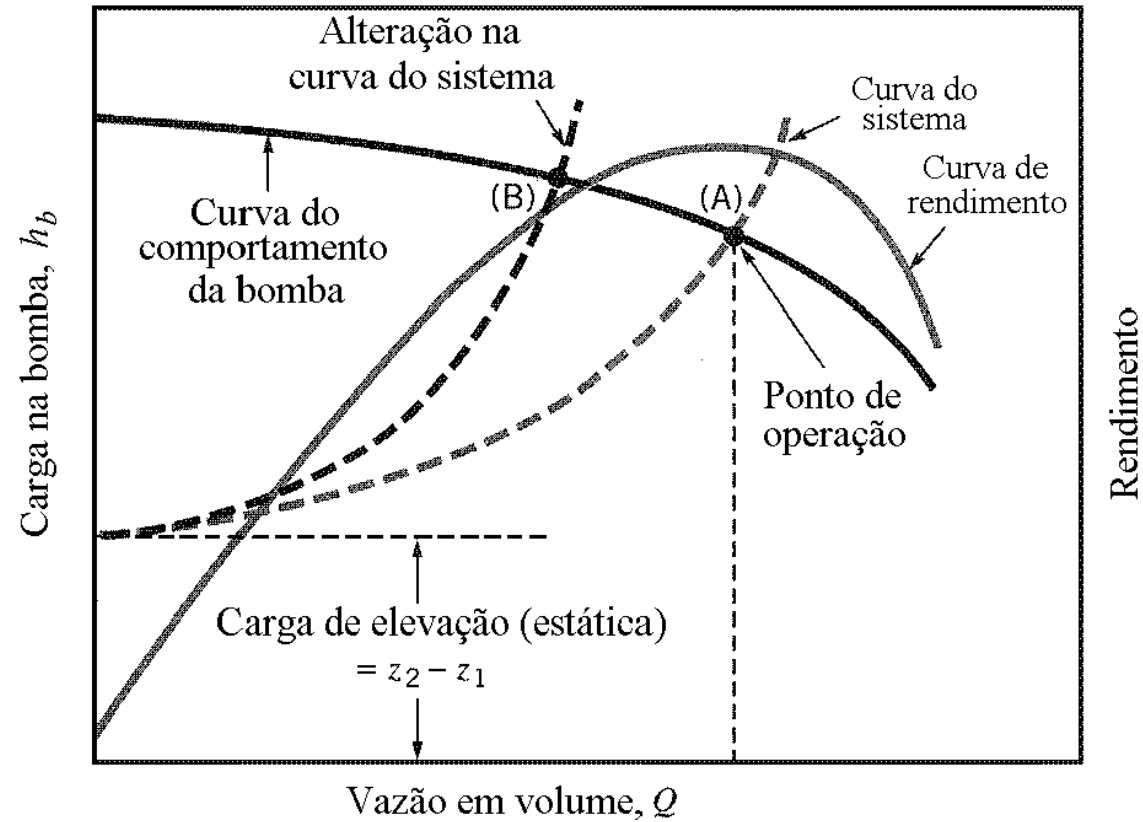
$$NPSH_D \geq NPSH_R$$

## Característica do sistema e seleção da bomba



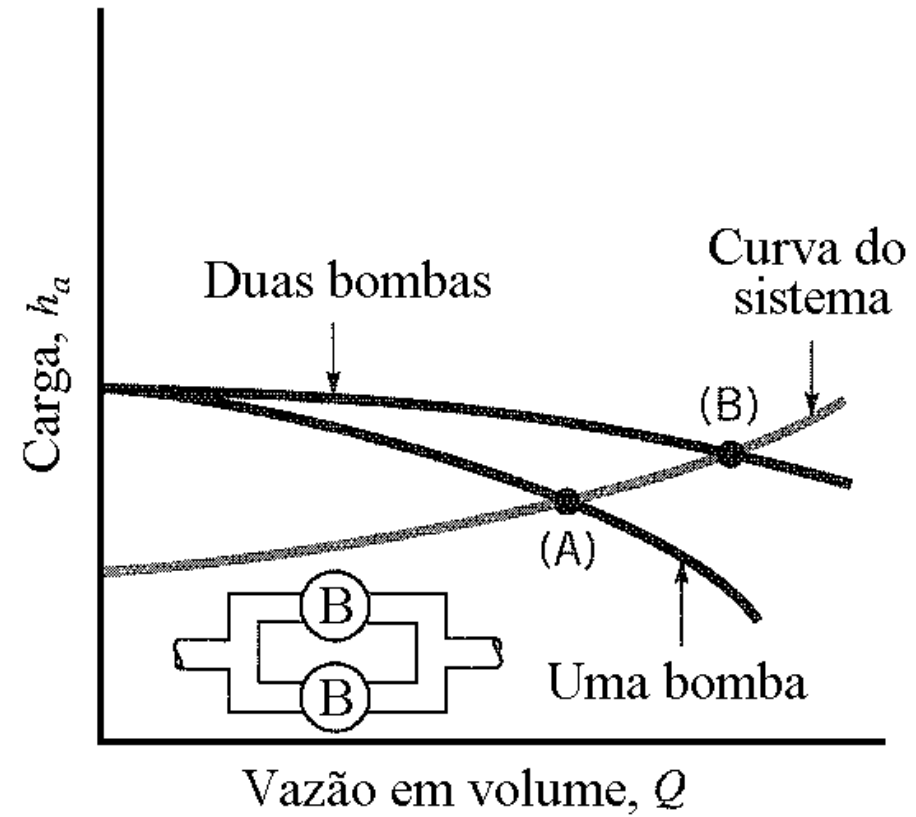
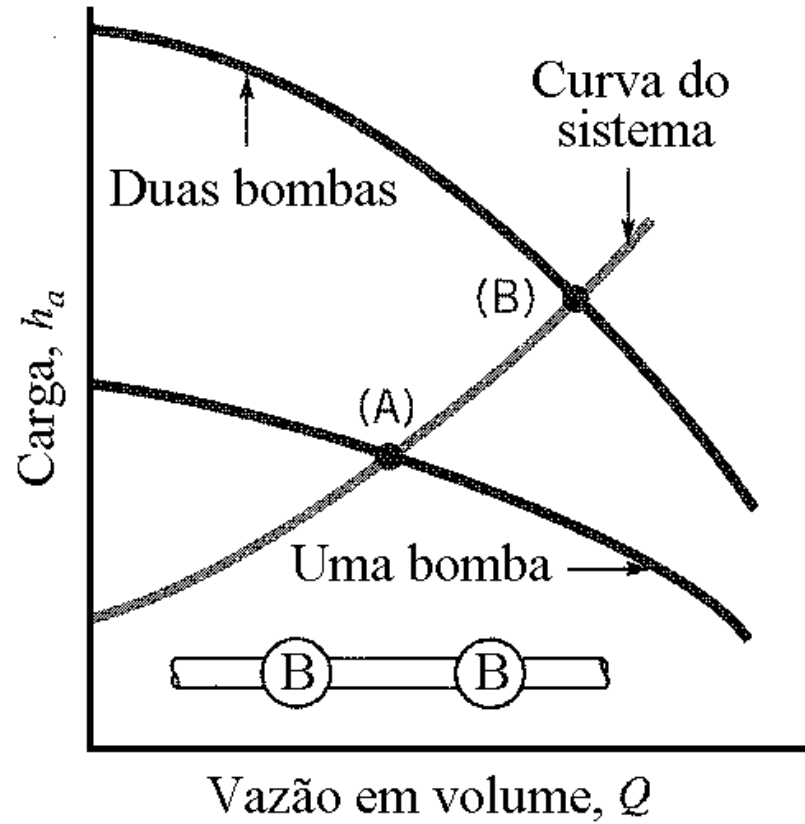
$$h_b = z_2 - z_1 + h_{LT} \approx z_2 - z_1 + K\dot{Q}^2$$

## Característica do sistema e seleção da bomba



- Controle da vazão pode ser feito pela rotação ou pela perda de carga
- As bombas podem ser arranjadas em série ou em paralelo para fornecer maior carga ou vazão, respectivamente

## Arranjos em série e paralelo



## Parâmetros adimensionais e leis de semelhança

$$f(\rho, \mu, D, N, \dot{Q}, E, \dot{W}_m) = 0$$

$\rho$ : massa específica

$\dot{Q}$ : vazão volumétrica

$\mu$ : viscosidade dinâmica do fluido

$\dot{W}_m$ : potência consumida pela bomba

$D$ : diâmetro do rotor da bomba

$E = gh_r$ : energia por unidade de massa fornecida ao fluido

$N$ : rotação do rotor

$$\left( \frac{gh_r}{N^2 D^2}, \frac{\dot{Q}}{ND^3}, \frac{\dot{W}_m}{\rho N^3 D^5}, \frac{\rho ND^2}{\mu} \right) = 0$$

## Parâmetros adimensionais e leis de semelhança

$$\Pi_1 = \frac{gh_r}{N^2 D^2} = C_H: \text{coeficiente manométrico}$$

$$\Pi_2 = \frac{\dot{Q}}{ND^3} = C_Q: \text{coeficiente de vazão}$$

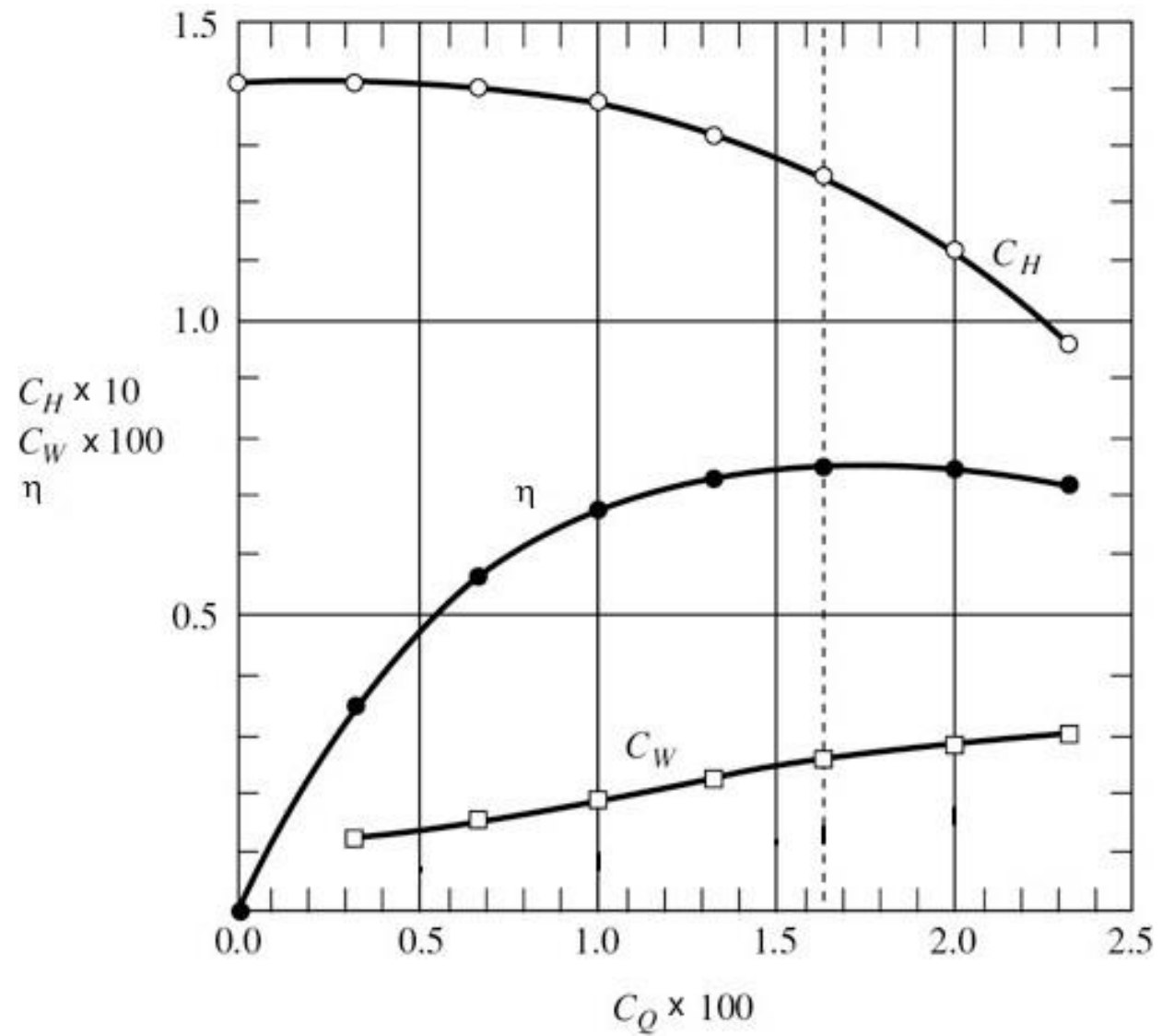
$$\Pi_3 = \frac{\dot{W}_m}{\rho N^3 D^5} = C_{\dot{W}}: \text{coeficiente de potência}$$

$$\Pi_4 = \frac{\rho ND^2}{\mu} = \text{Re}: \text{número de Reynolds}$$

$$\Pi_3' = \frac{C_{\dot{W}}}{C_{\dot{Q}} C_H} = \eta$$

Máquinas hidráulicas operam em Re elevado  $\longrightarrow$  Baixa influência de Re  $\longrightarrow$  Análise restrita a  $C_H$ ,  $C_Q$  e  $\eta$

## Curvas representativas





## Leis especiais de semelhança

Mantidos  $C_Q$  e  $D$ , temos:

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{h_{r1}}{h_{r2}} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \quad \frac{\dot{W}_{m,1}}{\dot{W}_{m,2}} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

Mantidos  $C_Q$  e  $N$ , temos:

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3} \quad \frac{h_{r1}}{h_{r2}} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad \frac{\dot{W}_{m,1}}{\dot{W}_{m,2}} = \frac{D_1^5}{D_2^5}$$

## Rotação específica

$$N_s = \frac{C_{\dot{Q}}^{1/2}}{C_H^{3/4}} = \frac{[\dot{Q}/(ND^3)]^{1/2}}{[gh_r/(N^2D^2)]^{3/4}} = \frac{N\sqrt{\dot{Q}}}{(gh_r)^{3/4}}$$

$$N_s \uparrow \begin{cases} \dot{Q} \uparrow \\ h_r \downarrow \end{cases}$$

$$N_s \downarrow \begin{cases} \dot{Q} \downarrow \\ h_r \uparrow \end{cases}$$

