

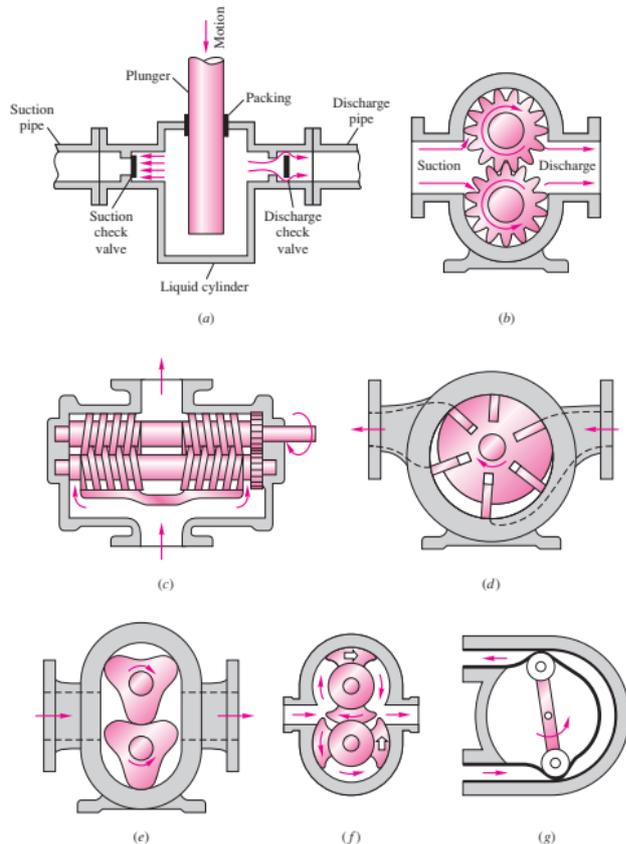
# Bombas

## 1 Introdução

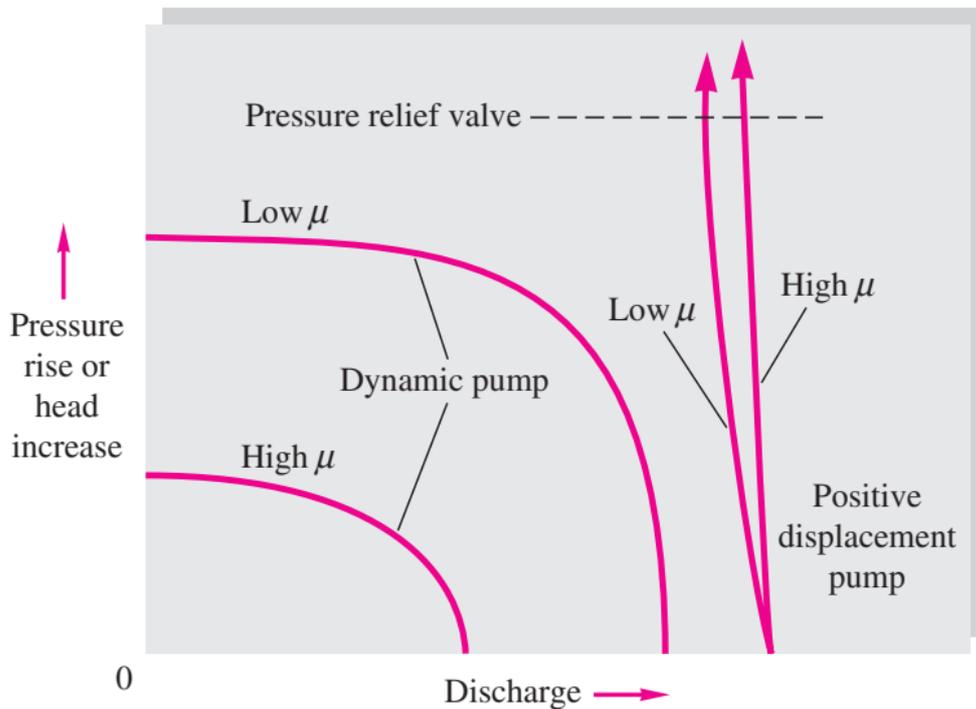
- Máquinas hidráulicas que adicionam energia ao fluido (líquido).
- Têm alta densidade de potência, poucas partes móveis e razoável eficiência.
- Podem ser divididas em bombas de deslocamento positivo (estáticas) e turbobombas (dinâmicas).
- Deslocamento positivo: fluido é forçado para dentro ou para fora de uma câmara por uma mudança de volume da mesma.
- Turbobombas: presença de um rotor que quando gira adiciona energia ao fluido.

## Deslocamento positivo:

- (a) Pistão recíproco
- (b) Engrenagens
- (c) Parafuso duplo
- (d) Pás deslizantes
- (e) Lóbulos
- (f) Pistão duplo circunferencial
- (g) Tubo flexível

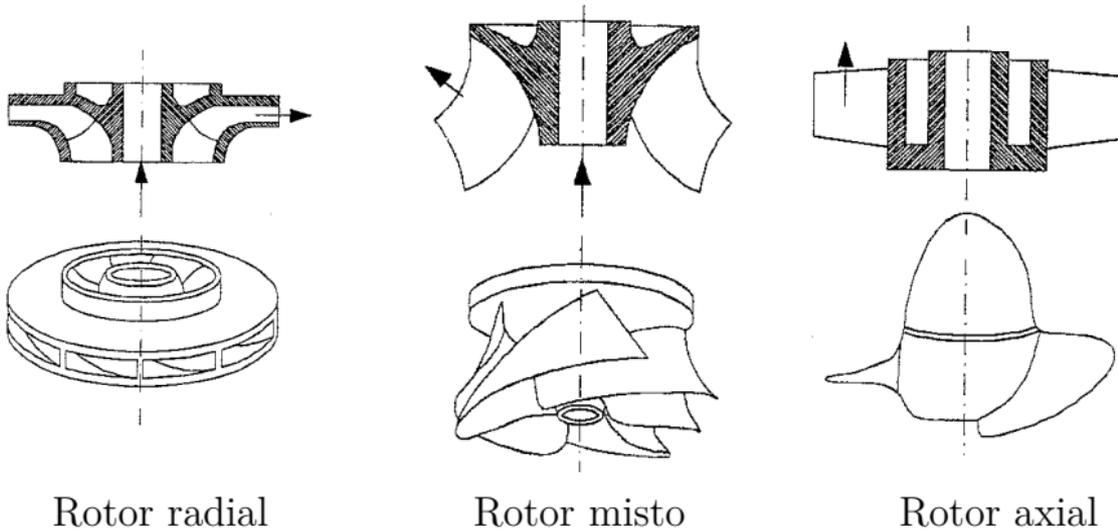


## Comparação entre bombas estáticas e dinâmicas:



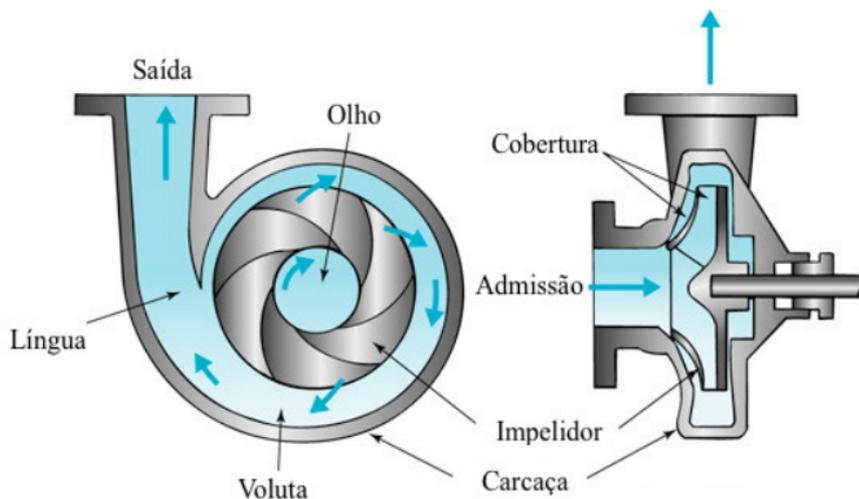
## 1.1 Classificação das turbobombas quanto à direção principal do escoamento

As turbobombas podem ser de escoamento axial, misto ou radial.

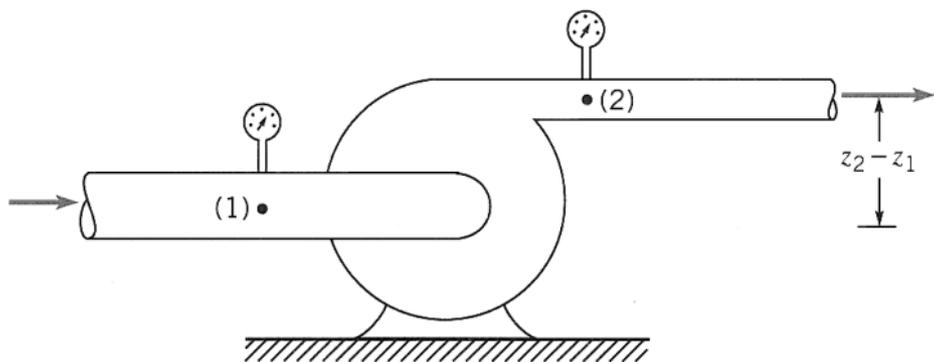


## 1.2 A bomba centrífuga

Bomba radial, com dois componentes principais: um rotor montado num eixo e uma carcaça (voluta) que envolve o rotor. Os rotores podem ser abertos ou fechados e também de simples ou dupla sucção. As bombas podem ter múltiplos estágios.



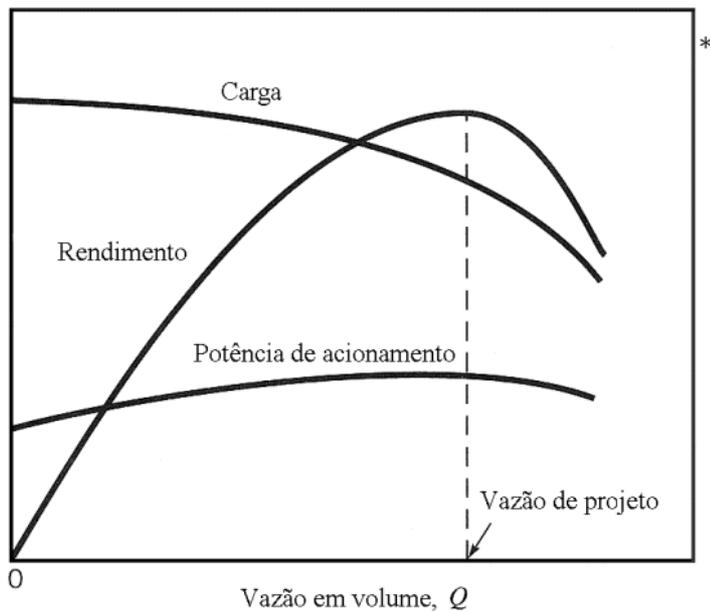
## 2 Análise energética



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

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

## Curva característica:



\* BEP: best efficiency point = ponto de rendimento máximo

---

\*Carga máxima e potência mínima no bloqueio; ponto de máxima eficiência (projeto). Apresentar curvas KSB.



### 3 NPSH (Net Positive Suction Head)

Parâmetro importante para evitar cavitação na entrada da bomba. Sendo o índice  $s$  referente à sucção da bomba e  $p_v$  a pressão de vapor do líquido,

$$\text{NPSH} = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} - \frac{p_v}{\gamma}$$

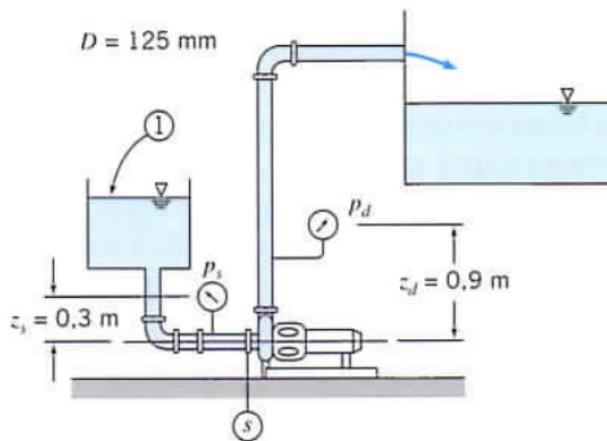
$\text{NPSH}_R$ : NPSH requerido, que deve ser mantido ou excedido para que a cavitação não ocorra. Varia com a vazão e é determinado experimentalmente.

$\text{NPSH}_D$ : NPSH disponível, representa a carga que realmente ocorre no sistema considerado.

$$\text{NPSH}_D \geq \text{NPSH}_R$$

## Exercício 1

Uma bomba centrífuga Peerless, Tipo 4AE11, é testada a 1750 rpm usando um sistema de escoamento com o layout da figura. O nível de água no reservatório de alimentação está 1 m acima da linha de centro da bomba; a tubulação de sucção consiste em 1,8 m de tubo de ferro fundido reto de 125 mm de diâmetro, um cotovelo-padrão e uma válvula de gaveta totalmente aberta. Calcule o  $NPSH_D$  na entrada da bomba para uma vazão volumétrica de  $230 \text{ m}^3/\text{h}$  de água a  $30^\circ\text{C}$ . Compare com o  $NPSH_R$  da bomba para esta vazão. (Use dados de perda singular do Fox & McDonald)



Calcule o  $NPSH_D$  na entrada da bomba para uma vazão volumétrica de  $230 \text{ m}^3/\text{h}$  de água a  $30^\circ\text{C}$ . Compare com o  $NPSH_R$  da bomba para esta vazão. (Use dados de perda singular do Fox & McDonald)

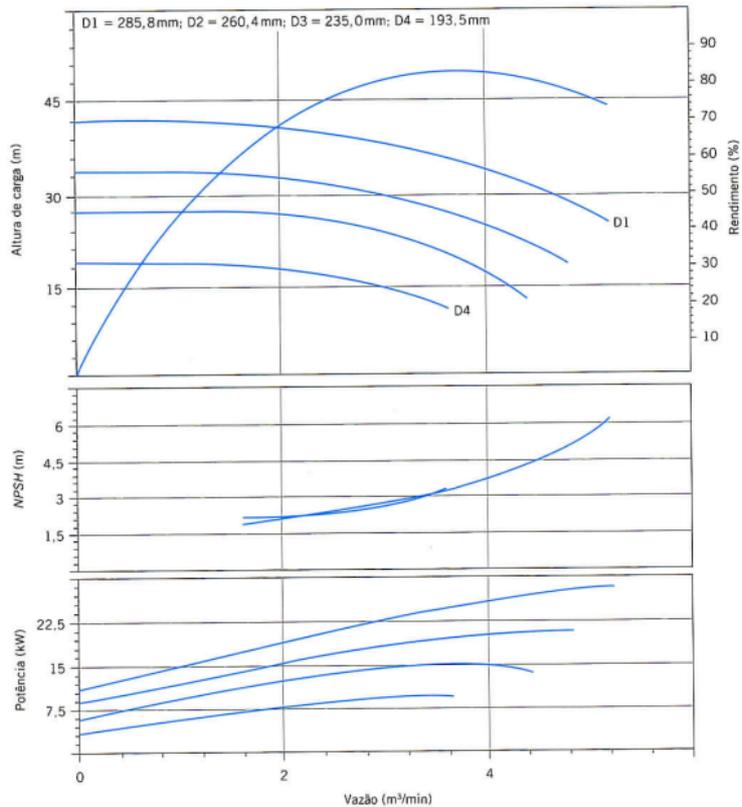
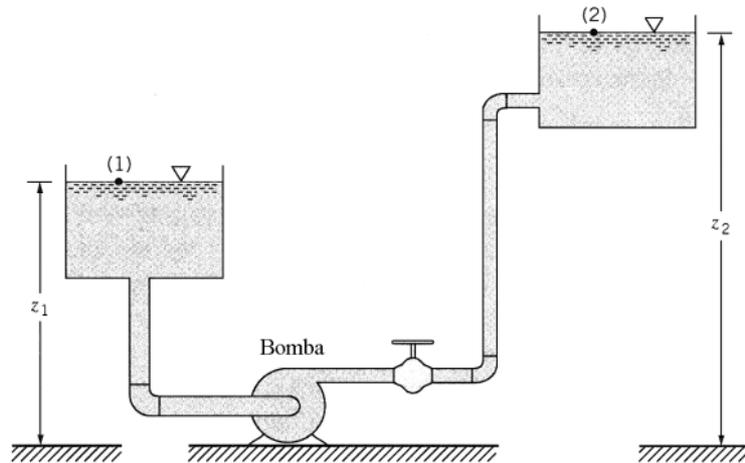
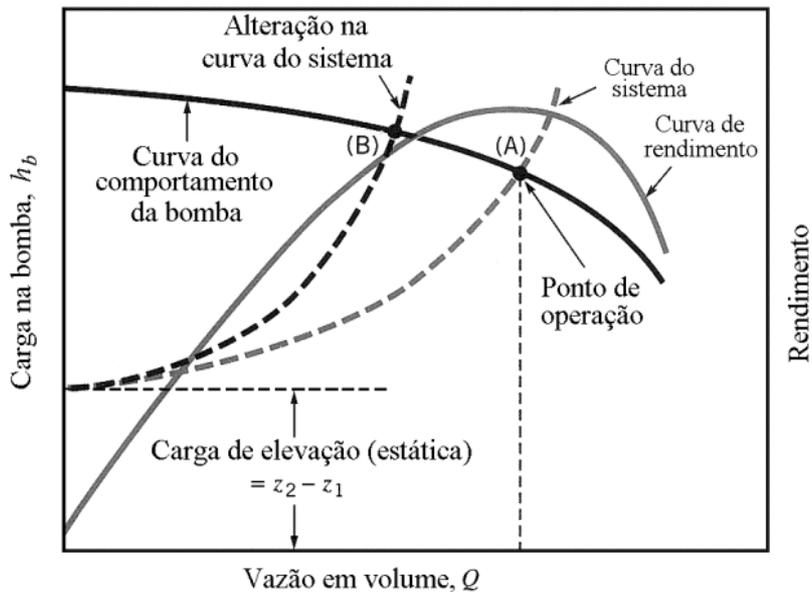


Fig. D.3 Curva de desempenho da bomba Peerless 4AE11 para 1750 rpm.

## 4 Característica do sistema e seleção da bomba



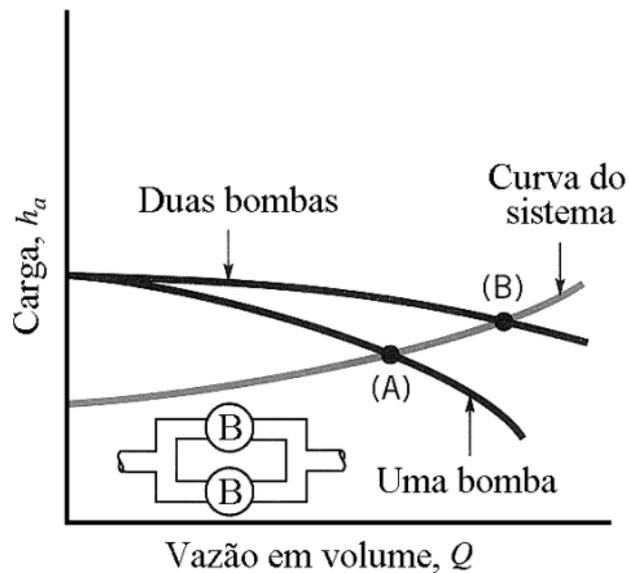
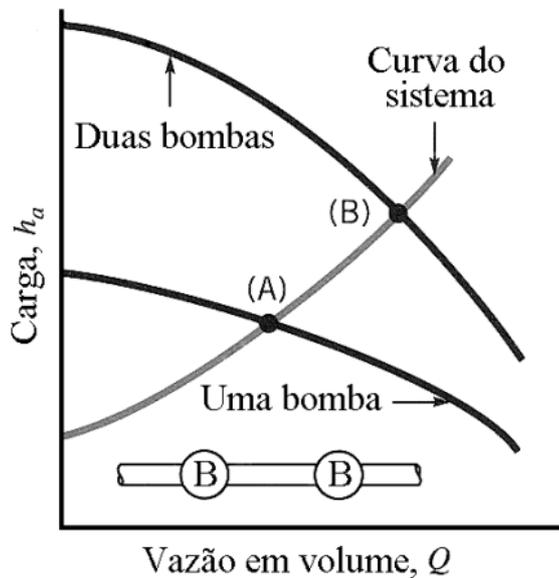
$$h_b = z_2 - z_1 + h_{L_T} \approx z_2 - z_1 + KQ^2$$



Controle da vazão pode ser feito pela rotação ou pela perda de carga.

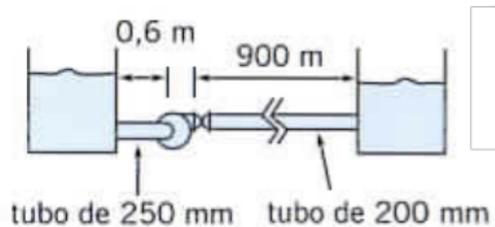
As bombas podem ser arranjadas em série ou em paralelo para fornecer maior carga ou vazão, respectivamente.

Arranjos em série e paralelo:



## Exercício 2

Uma bomba cuja curva de carga pode ser aproximada por uma parábola dada por  $h_b = h_0 - AQ^2$ , onde  $h_0 = 17\text{ m}$  e  $A = 2527,7\text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$ , é usada para bombear água através do sistema da figura. Sabendo que os tubos são de ferro fundido, encontre o ponto de operação do sistema.



## 5 Parâmetros adimensionais e leis de semelhança

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

$\rho$ : massa específica do fluido

$Q$ : vazão em volume

$\mu$ : viscosidade dinâmica do fluido

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

$D$ : diâmetro do rotor da bomba

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

$N$ : rotação do rotor

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

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

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

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

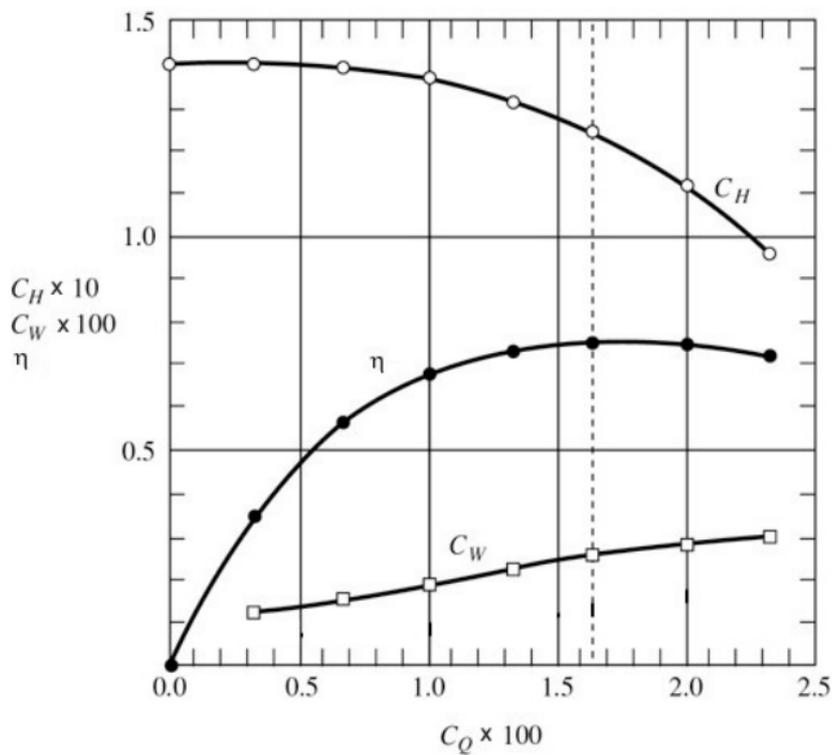
$$\Pi_4 = \frac{\rho ND^2}{\mu} = Re: \text{ número de Reynolds}$$

O rendimento,  $\eta$ , pode ser obtido combinando-se os adimensionais  $C_W$ ,  $C_Q$  e  $C_H$ :

$$\Pi'_3 = \frac{C_W}{C_Q C_H} = \frac{\gamma Q h_r}{\dot{W}_m} = \eta$$

As máquinas hidráulicas normalmente operam com números de Reynolds elevados, atingindo o regime completamente turbulento, de forma que as variações no número de Reynolds não têm praticamente nenhuma influência nos demais adimensionais. Assim, para o estudo das máquinas hidráulicas devem ser analisados os adimensionais  $C_H$ ,  $C_Q$  e  $\eta$ .

Curvas representativas:



## 5.1 Leis especiais de semelhança

Mantidos  $C_Q$  e  $D$ , temos:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{h_{r_1}}{h_{r_2}} = \frac{N_1^2}{N_2^2}, \quad \frac{\dot{W}_{m,1}}{\dot{W}_{m,2}} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

Mantidos  $C_Q$  e  $N$ , temos:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3}, \quad \frac{h_{r_1}}{h_{r_2}} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad \frac{\dot{W}_{m,1}}{\dot{W}_{m,2}} = \frac{D_1^5}{D_2^5}$$

## 5.2 Rotação específica

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

Também depende do coeficiente de vazão, mas é usualmente especificado na condição de máxima eficiência.  $N_s$  alta significa  $Q$  alta e  $h_r$  baixa, e  $N_s$  baixa significa  $Q$  baixa e  $h_r$  alta.

