Introdução às Máquinas Hidráulicas

7ª Aula

Bombas Hidráulicas

2019

Bombas Hidráulicas

Análise dimensional surgiu no começo do século XX, fundamentada no Teorema de Buckingham:

"Seja G_1, G_2, G_3 ...G_n um conjunto de n grandezas e constantes físicas dimensionais e k o número total de unidades dimensionais em termos das quais se exprimem as n grandezas G_i. Se um fenômeno físico puder ser descrito através de uma função $F(G_1, G_2, G_3...G_n) = 0$, das grandezas G_i, então este fenômeno também pode ser descrito através de uma função $ø(\Pi_1,\Pi_2...\Pi_{n-r}) = 0$, de n-r coeficientes adimensionais Π_i, independentes, da forma

$$\Pi_i = A_i G_1^{a_i} G_2^{b_i} G_3^{c_i} \dots G_n^{z_i}$$

onde A_i é um número puro, Π_1, Π_2,...,Π_{n-r} constituem um conjunto completo de coeficientes adimensionais e r é igual à característica da matriz dimensional, geralmente igual a k".

Bombas hidráulicas

- Importância do Teorema de Buckingham

- Redução do número de variáveis na descrição do fenômeno.
- Generalização dos resultados obtidos. Redução do trabalho experimental.
- Base do conceito de Semelhança Dinâmica.

Análise Dimensional

- Exemplo de Semelhança Dinâmica:

- Medidores de vazão do tipo de orifício: Diafragma, Bocal e Venturi.
  - A calibração de um medidor de vazão do tipo de orifício é necessária.
  - As normas técnicas fornecem o projeto de medidor de vazão e o valor de C_Q com precisão de 1,5%, em valores adimensionais, que valem para qualquer tamanho do medidor.
- As curvas de desempenho das máquinas hidráulicas são obtidas em laboratório.
  - Usando a semelhança dinâmica o desempenho de uma máquina hidráulica pode ser obtido pelo ensaio de um modelo de tamanho reduzido.

Análise dimensional nas máquinas hidráulicas

Determinação dos parâmetros adimensionais

- Uma máquina hidráulica usa 8 grandezas físicas para duas descrição:
- $\Delta P = f(Q, R, \omega, \rho, \mu, \eta, \alpha)$
  - Em que: ΔP é a diferença de pressão entre a entrada e a saída, em N/m^2;

    Q é a vazão que atravessa a máquina, em m^3/s;

    R é o raio do rotor, em m;

    ω é a velocidade angular do rotor, em rad/s;

    ρ é a massa específica do fluido, em kg/m^3;

    μ é a viscosidade do fluido, em $kg/m.s$

    η é o rendimento, em %;

    α é a abertura do distribuidor (só para turbinas).

Determinação dos parâmetros adimensionais

- O teorema de Buckingham estabelece 5 adimensionais

- $\pi_1 = \Psi = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho(\omega R)^2}$ Coeficiente de pressão
- $\pi_2 = \varphi = \frac{Q}{\omega R^3}$ Coeficiente de vazão
- $\pi_3 = Re = \frac{\rho \omega R^2}{\mu}$ Coeficiente de regime
- $\pi_4 = \eta = \frac{Pot_{saí}}{Pot_{entra}}$ Rendimento
- $\pi_5 = \alpha = \frac{Abertura\ distribuidor}{Abertura\ máxima}$ (Só para turbinas)

Análise dimensional

- Aplicação às Bombas Hidráulicas

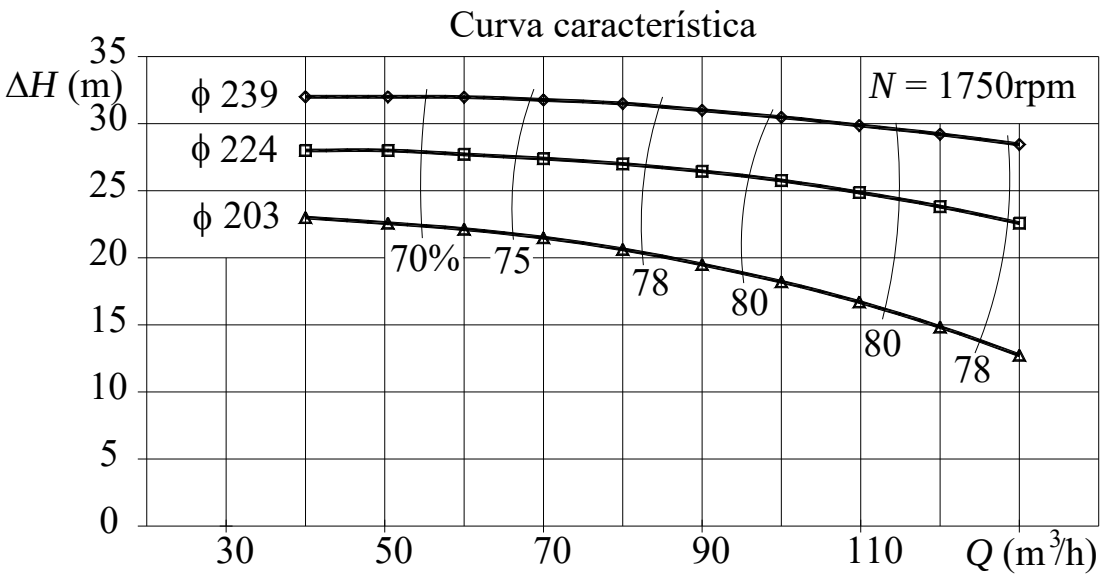
- Como o escoamento nas máquinas hidráulicas é em regime francamente turbulento, o Número de Reynolds, *Re*, deixa de ser importante, então a equação funcional passa a ser:

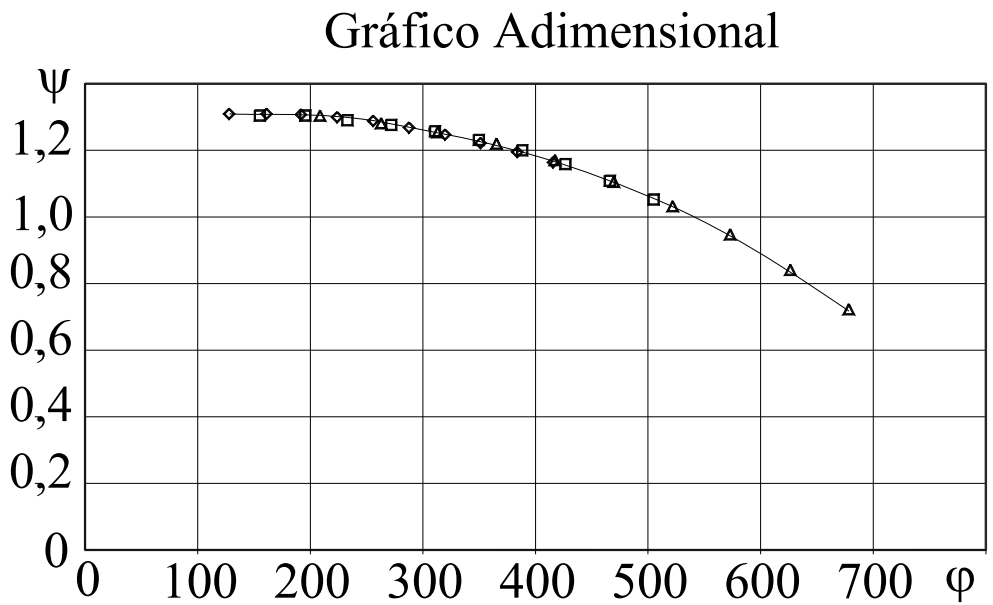
- $\Psi = f(\varphi, \eta)$
- Ou parametrizando:
- $\Psi = f(\varphi)$
- $\eta = f(\varphi)$

Dessa forma uma única curva representa todo o campo de funcionamento de uma bomba hidráulica.

Curva característica de Bba Hidráulica

- Exemplo de adimensionalização





Parâmetros característicos

- Parâmetros utilizados antes do advento da Análise Dimensional

- Rotação específica unitária
- $n_{11} = \frac{N.D}{\sqrt{H}}$
-
- Vazão específica unitária
- $Q_{11} = \frac{Q}{D^2\sqrt{H}}$

[N] = rpm

[D] = m

[H] = m (mca)

[Q] = m (m^3/h)

- Não são parâmetros adimensionais, mas tem relação com eles.

Parâmetros característicos

- Relação com os parâmetros adimensionais

$$n_{11} = 60\,\frac{\sqrt{2.g}}{\pi\sqrt{\Psi}}$$

$$Q_{11} = \frac{\varphi\sqrt{2.g}}{4\sqrt{\Psi}}$$

Como são relacionados com os adimensionais por meio de constantes, os parâmetros característicos apresentam as mesmas propriedades e pode ser usados para obter a semelhança dinâmica.

Parâmetros característicos

- Rotação específica

- $n_{SQ} = \frac{n\sqrt{Q}}{\Delta H^{3/4}}$
-
- $n_S = \frac{n\sqrt{P_u}}{\Delta H^{5/4}}$
-

[n] = rpm

[Q] = m^3/s

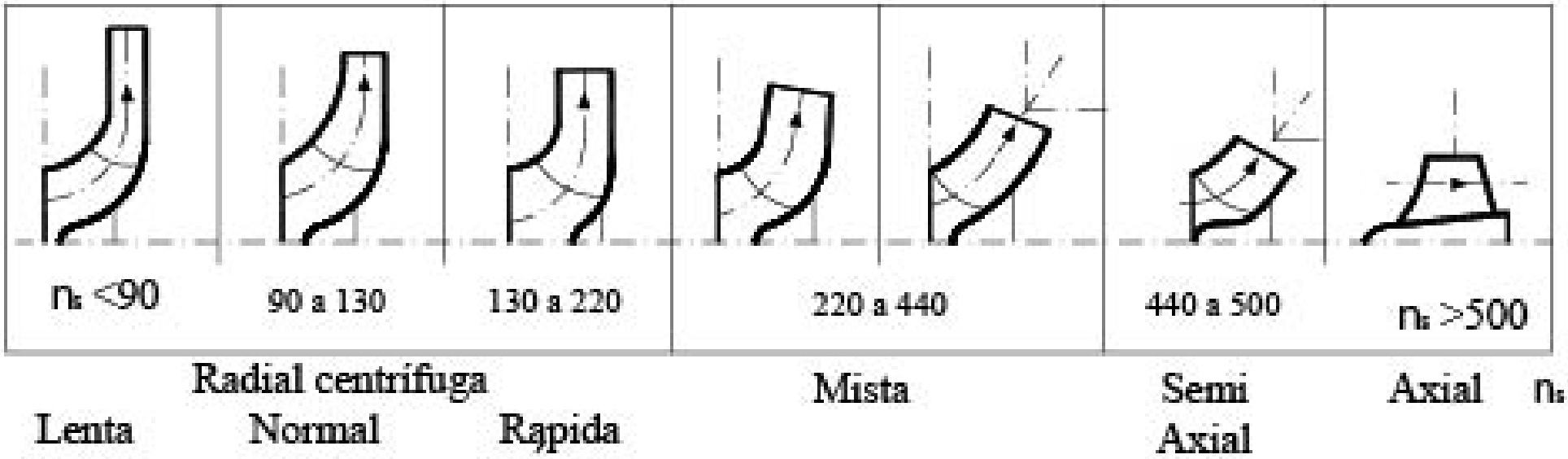
[DH] = m (mca)

[Pu] = cv

- n_S =3,65. n_{SQ}

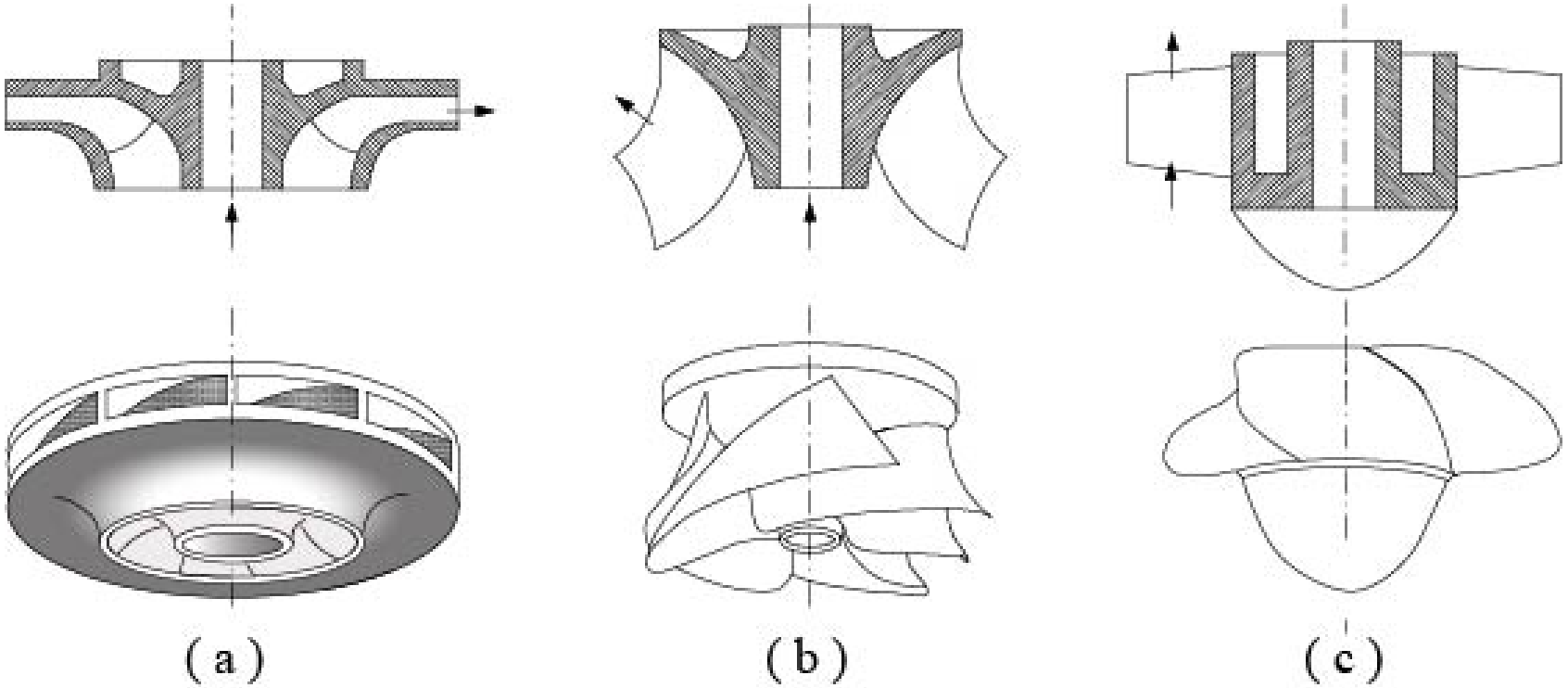
A rotação específica n_S

- Calculada para as condições nominais caracteriza a máquina, definindo tipo de rotor, tamanho e velocidade de rotação.



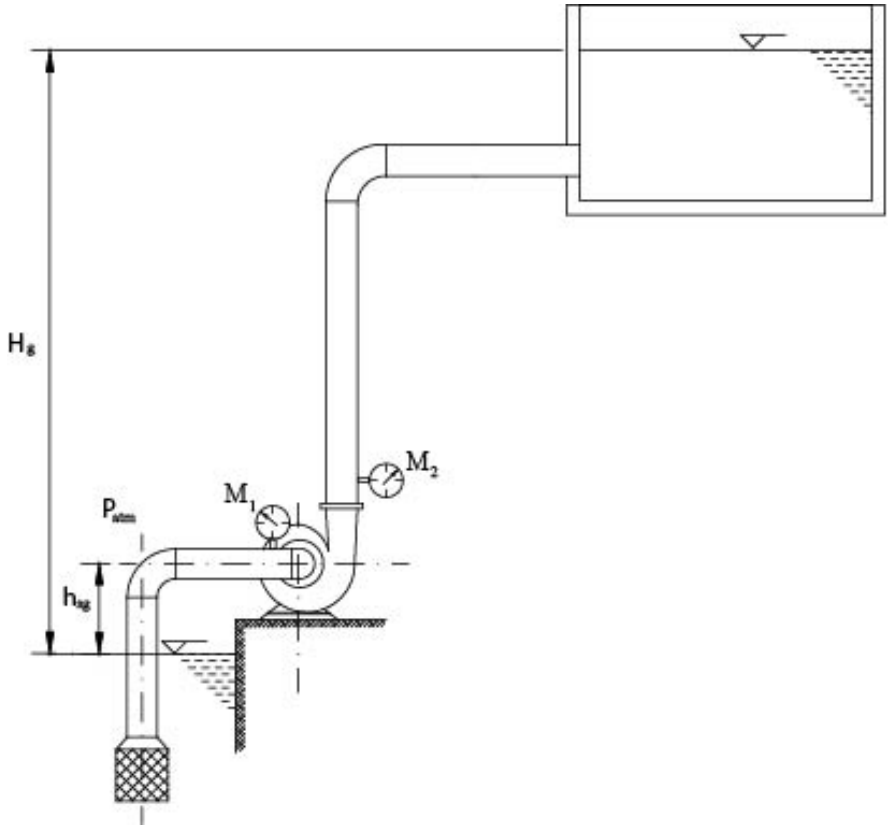
Tipos de bombas hidráulicas

- Bombas hidráulicas de fluxo



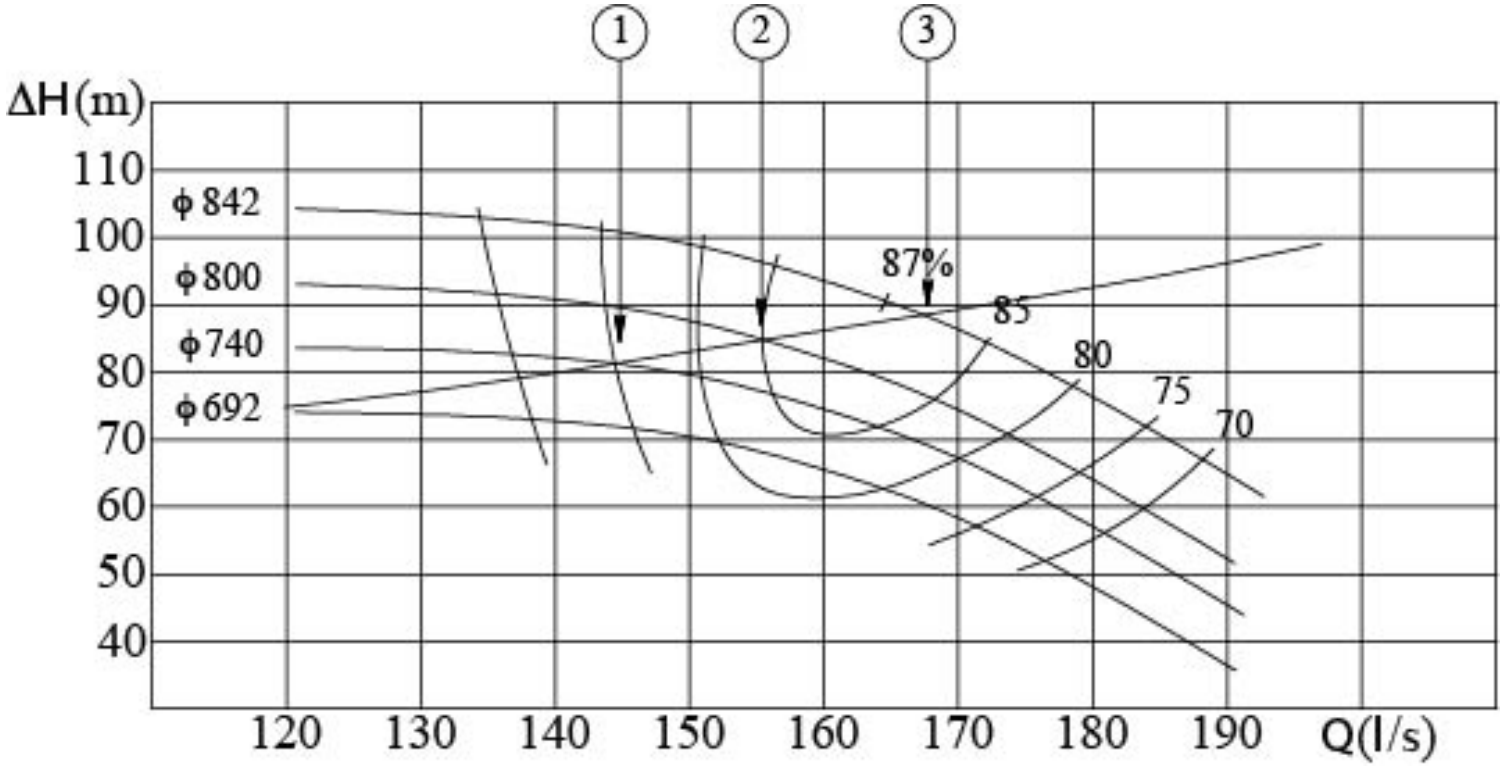
Sistemas de bombeamento

- Instalação básica de uma bomba hidráulica



Sistemas de bombeamento

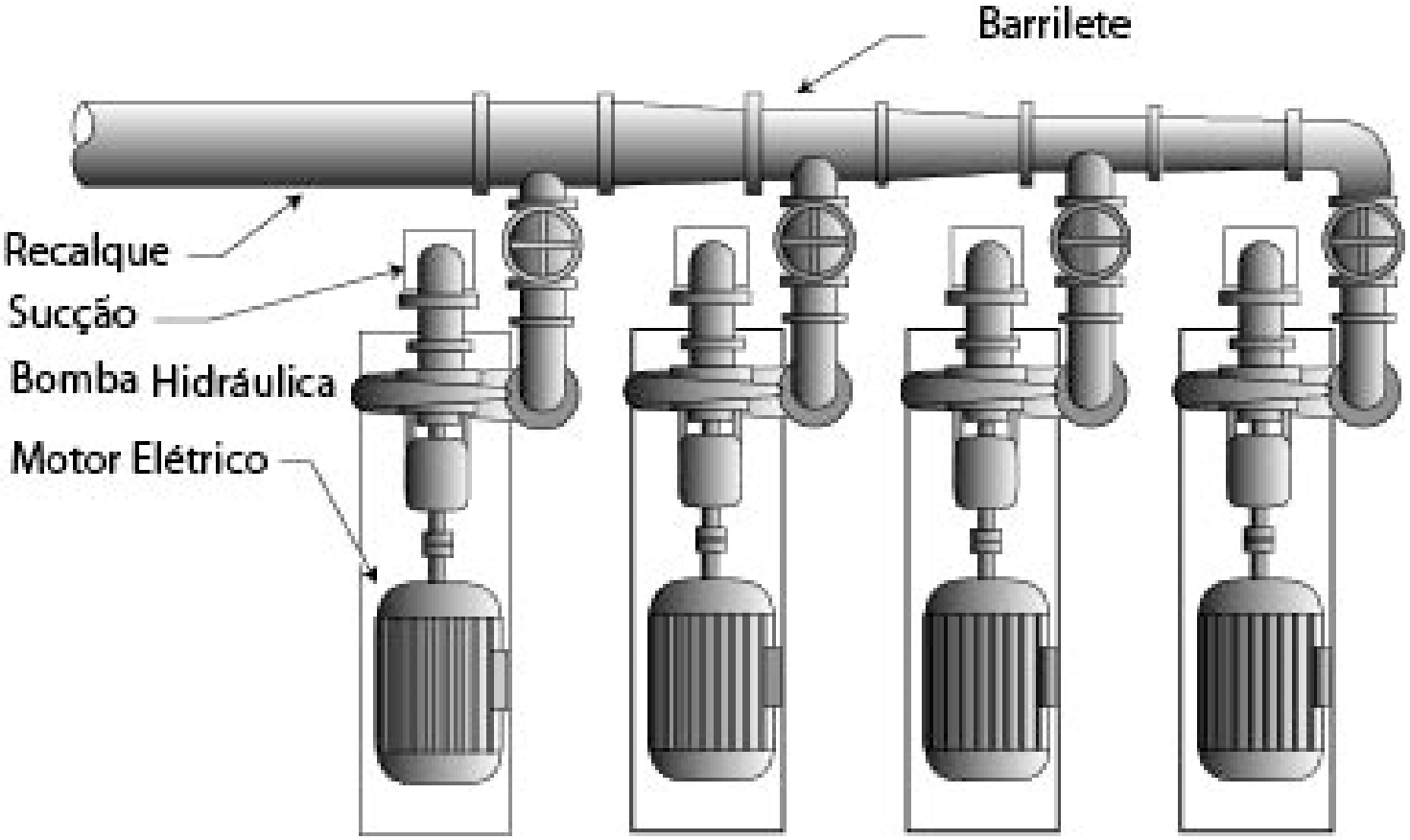
- Ponto de funcionamento



Rotação: 3.550 rpm

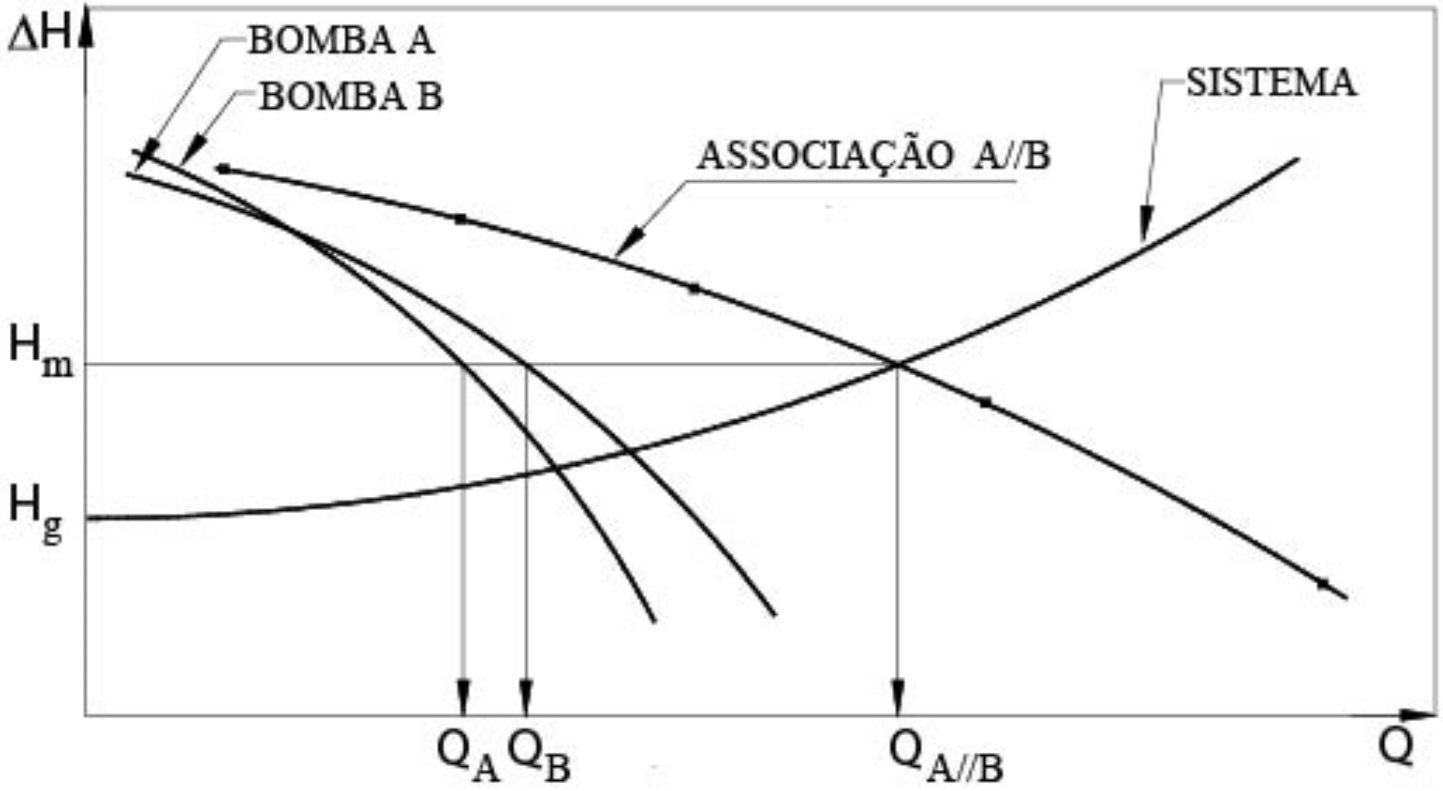
Sistemas de bombeamento

- Associação de bombas em paralelo



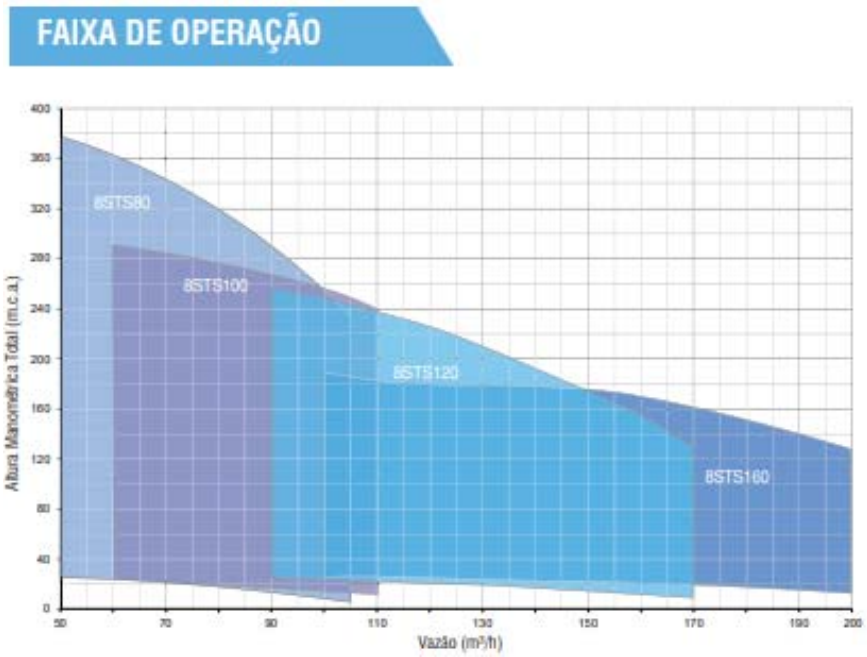
Sistemas de bombeamento

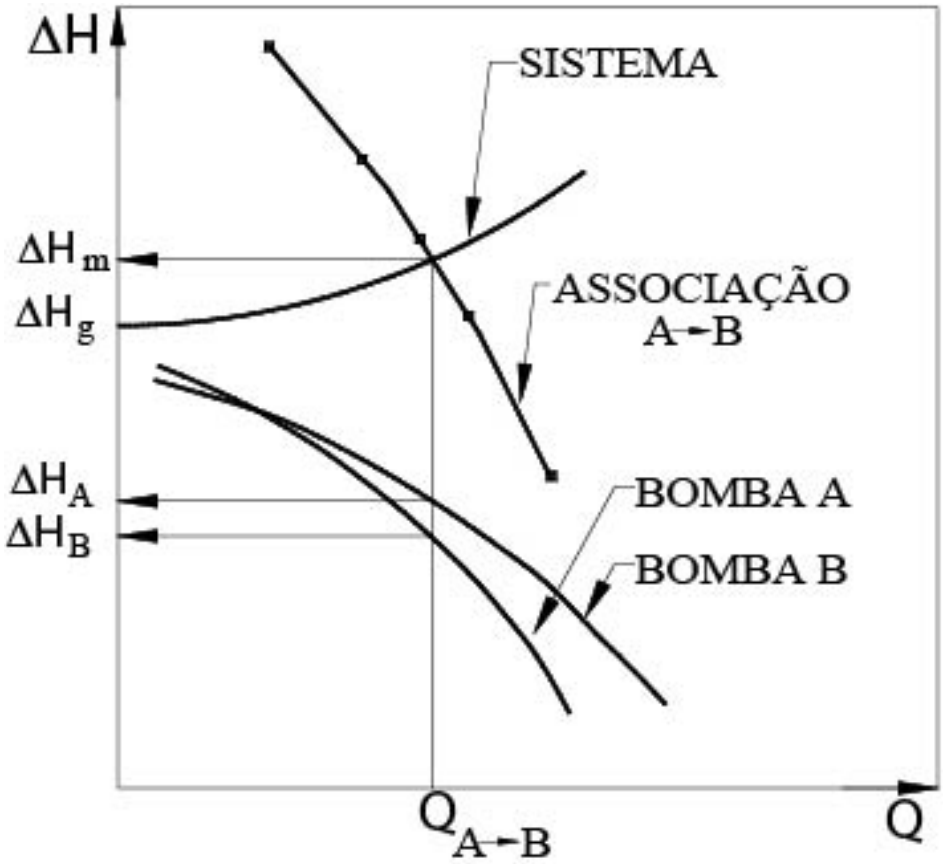
- Ponto de funcionamento nas associações de bombas em paralelo



Sistemas de bombeamento

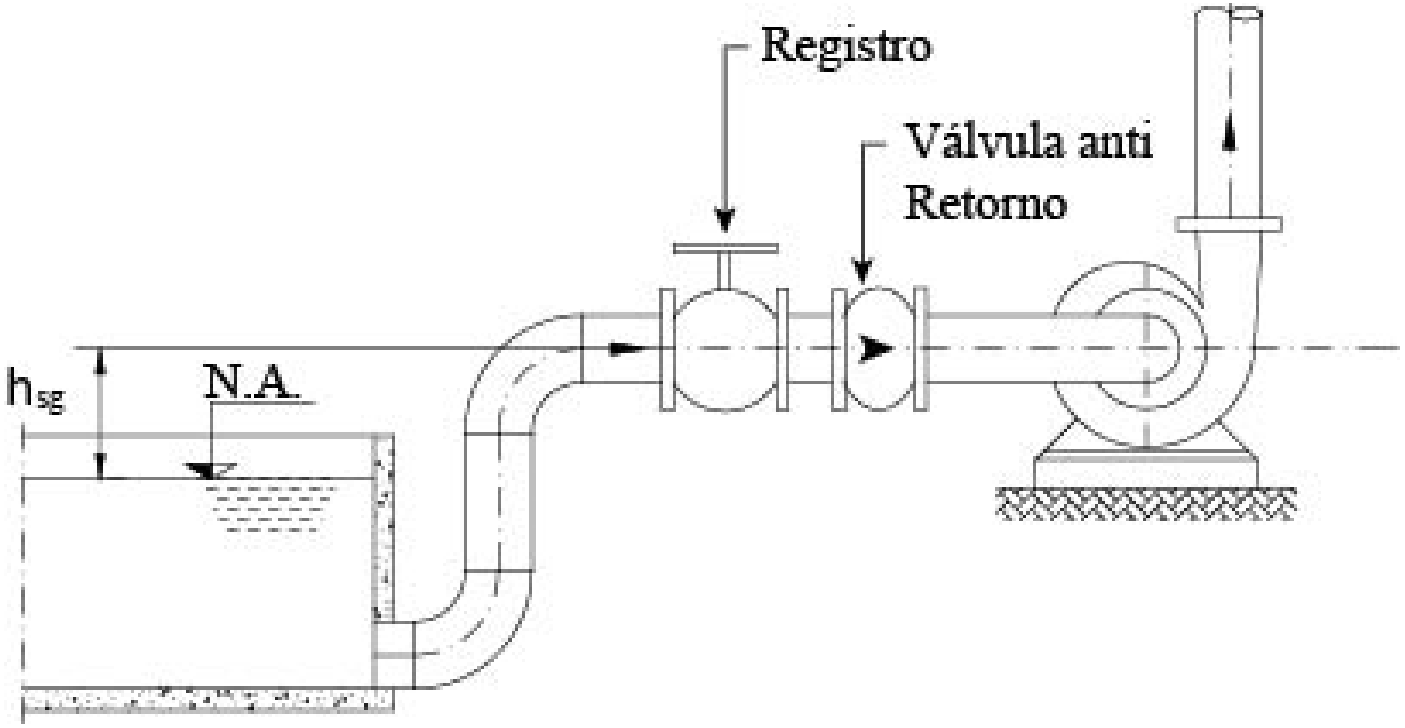
- Associação de bombas em série





Sistemas de Bombeamento

- A linha de sucção nas bombas de fluxo.



Sistemas de bombeamento

- Problema da cavitação na linha de sucção

- A pressão na entrada da bomba depende da geometria do duto de sucção e a energia disponível pode ser calculada por:
- $NPSHd = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} - h_{sg} - \Delta h_{perdas}$
- O fabricante fornece o NPSHr requerido pela bomba para evitar a cavitação e deve ser observada a relação:
- NPSHd > NPSHr

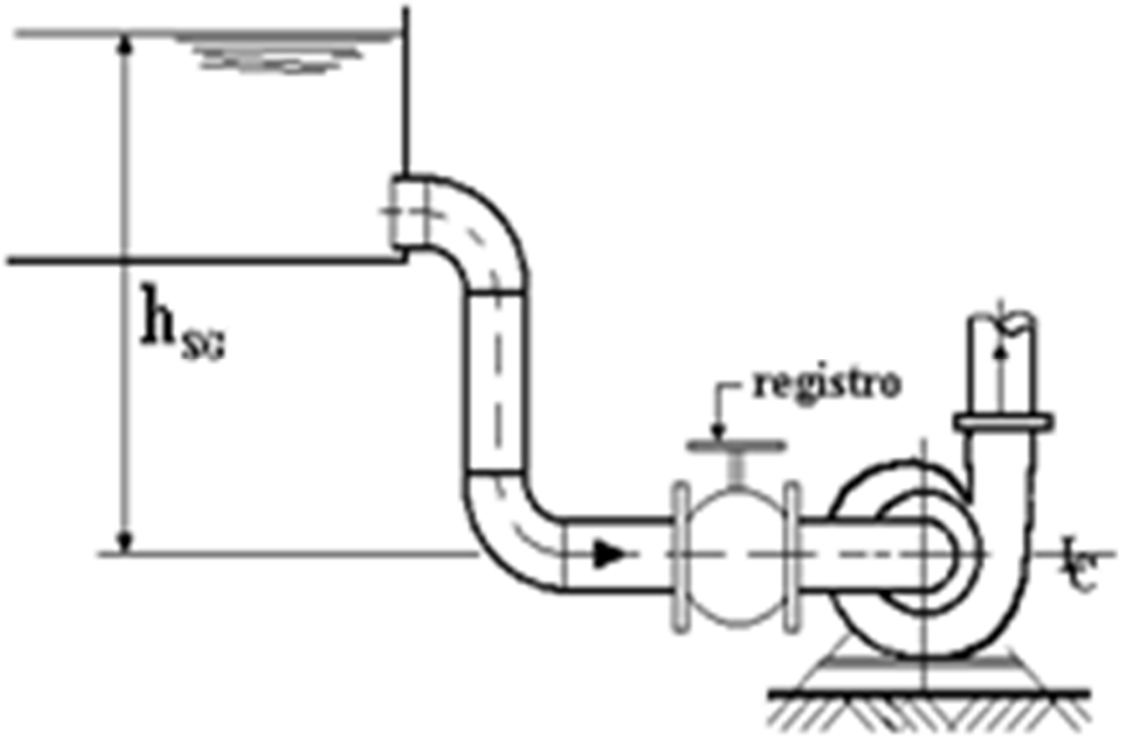
Sistemas de bombeamento

- Cavitação

- Ocorre quando a pressão em algum ponto da máquina diminui e se aproxima da pressão de vapor, Pv. Nesse ponto o fluido evapora formando bolhas de vapor (cavidades) e acumulando energia. Ao passar para um ponto da máquina com maior pressão ocorre a implosão das bolas e a energia é liberada provocando desgaste e aumentando a corrosão química.
- O aparecimento da cavitação, além dos problemas de corrosão, causa perda de rendimento, aparecimento de vibração e ruído excessivo.

Sistemas de bombeamento

- Controle da cavitação. Montagem afogada ou altura de sução negativa.

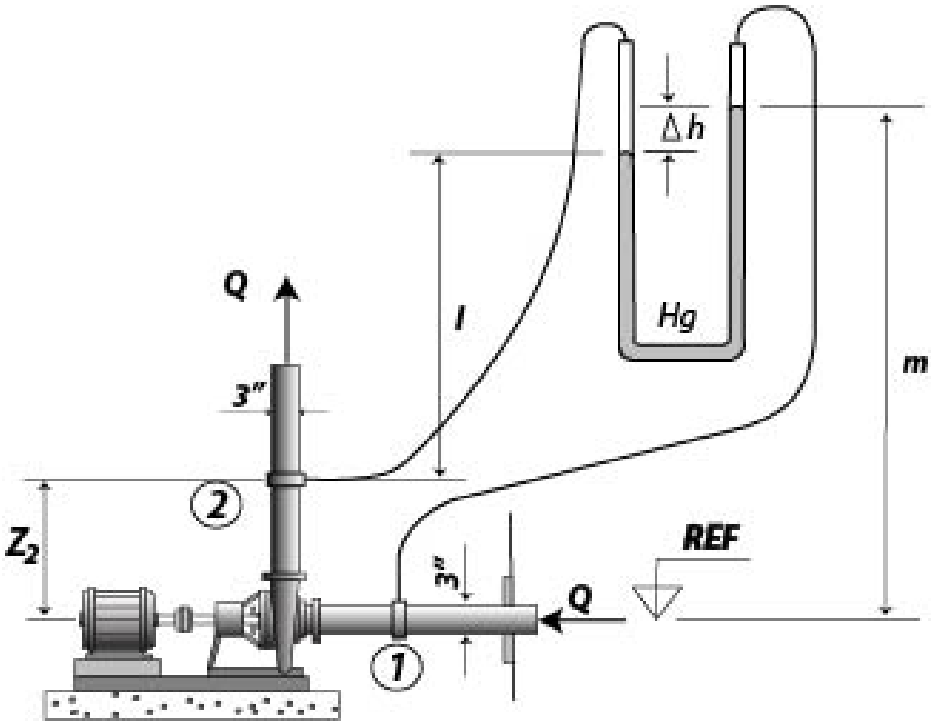


Sistema de bombeamento

- Laboratório: Levantamento da curva característica de uma B.H.

Bancada de Ensaio para levantamento da curva característica de bombas hidráulicas.

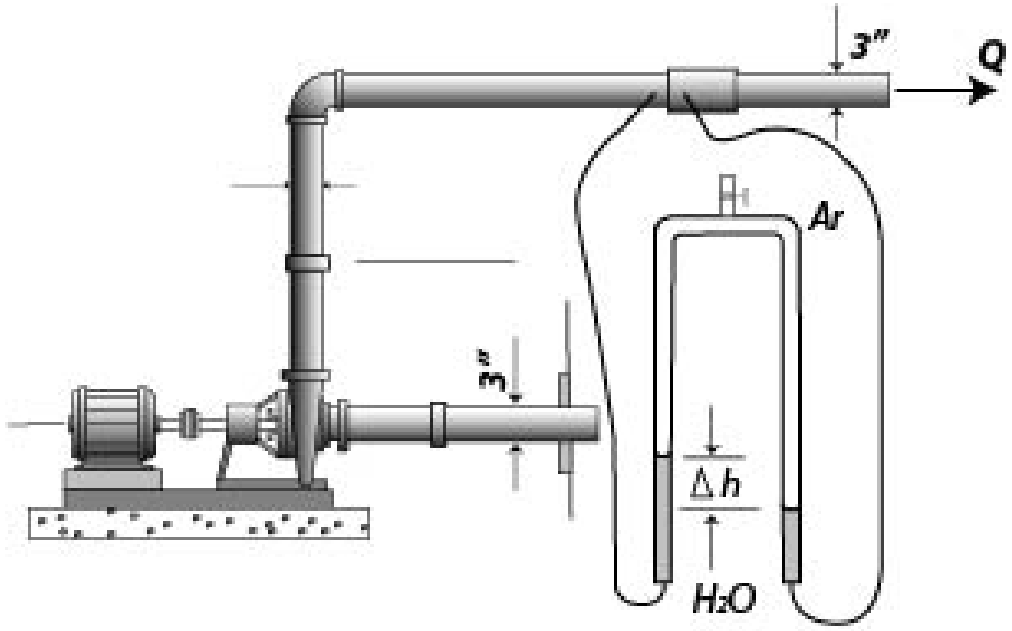
Medida da diferença de pressão manométrica na bomba hidráulica por Manômetro de tubo em U, usando mercúrio como fluido manométrico.



Sistema de bombeamento

- Laboratório: Levantamento da curva característica de uma B.H.

Montagem do Medidor de Vazão

Medidor tipo Venturi

Medida da diferença de pressões no Venturi feita por Manômetro de tubo em U, usando ar como fluido manométrico. (piezômetros interligados).