

Cavitação - Descrição

Propriedade do fluido:

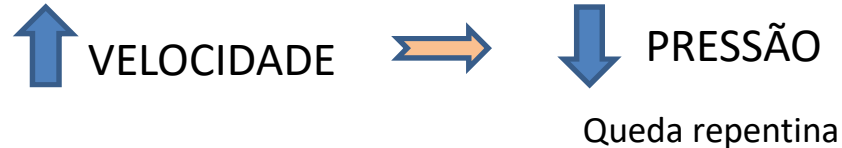
Vaporiza a uma determinada condição de temperatura e pressão.

Teorema de Bernoulli:

Fluido escoando, ao ser acelerado, tem uma redução de pressão

para que sua energia mecânica se mantenha constante
$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h$$

Em certos pontos:
**Vertedor, bomba hidráulica,
turbina, válvula, bocal**



Se pressão cai abaixo da
pressão de vapor

Origina →

VAPOR

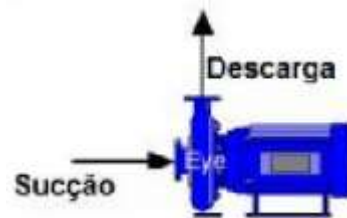
Quando atinge zonas de
alta pressão →

IMPLOÇÃO

Brusca variação de pressão

Altas velocidades ao atingir superfície do rotor
(altas pressões em áreas reduzidas).

Se pressão for maior que resistência do material do rotor → Desgaste



[Vídeo de cavitação de rotor](#)

Cavitação

PROBLEMAS:

- Causa dano ao rotor
- Provoca ruído e vibração na bomba
- Reduz capacidade e eficiência da bomba

Causas:

- altura inadequada da sucção (problema geométrico)
- velocidade de escoamento excessiva (problema hidráulico)
- escorva incorreta (problema operacional)



Mancais

<https://www.abecom.com.br/o-que-sao-mancais/>

são elementos de máquinas que servem para apoio fixo para eixos. Geralmente são compostos de uma estrutura de ferro fundido e bipartida (base tampa), que encerra o casquilho, no qual gira o eixo. Existem alguns tipos de mancais, tais como os de escorregamento, deslizamento ou bucha; rolamento; hidrodinâmicos; hidrostáticos e aerostáticos.



NPSH – Carga de sucção positiva (*Net Positive Suction Head*)

NPSH_d: É uma característica da instalação em que a bomba opera, e da pressão disponível do líquido no lado da sucção.

No caso de bombas, o ponto mais crítico da cavitação ocorre na sucção.

Disponível no sistema

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vapor}}{\gamma} - H_{g,s} - \Sigma\Delta H_s$$

\swarrow Pressão de vapor no local

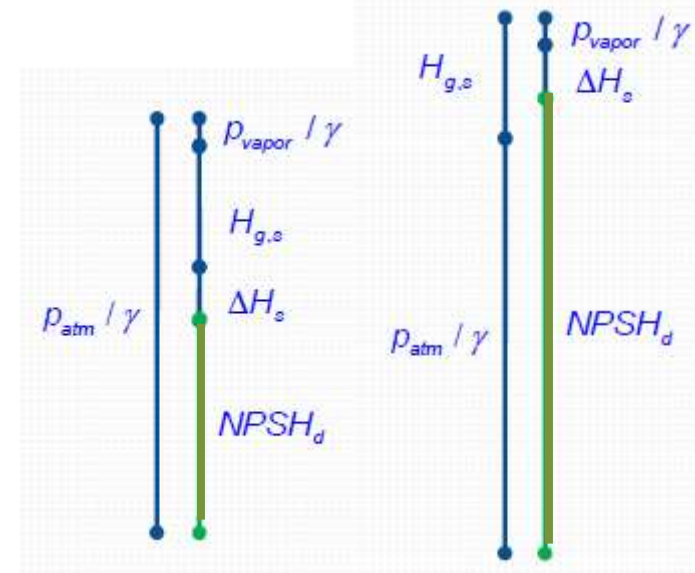
- “NPSH” representa a energia em altura absoluta do líquido no flange de sucção da bomba acima da pressão de vapor deste líquido na temperatura de bombeamento, referenciada à linha de centro da bomba.
- NPSH é calculado para impor limitações às condições de sucção, de modo a manter a pressão na entrada do rotor da bomba acima da pressão de vapor do líquido bombeado.

Bomba não afogada

$$H_{g,s} > 0$$

Bomba afogada

$$H_{g,s} < 0$$



Requerida pela bomba

$NPSH_r$

- Fornecida pelo fabricante
- Depende de elementos de projeto da bomba
- Depende da vazão
- Há casos que se desconhece a curva NPSH

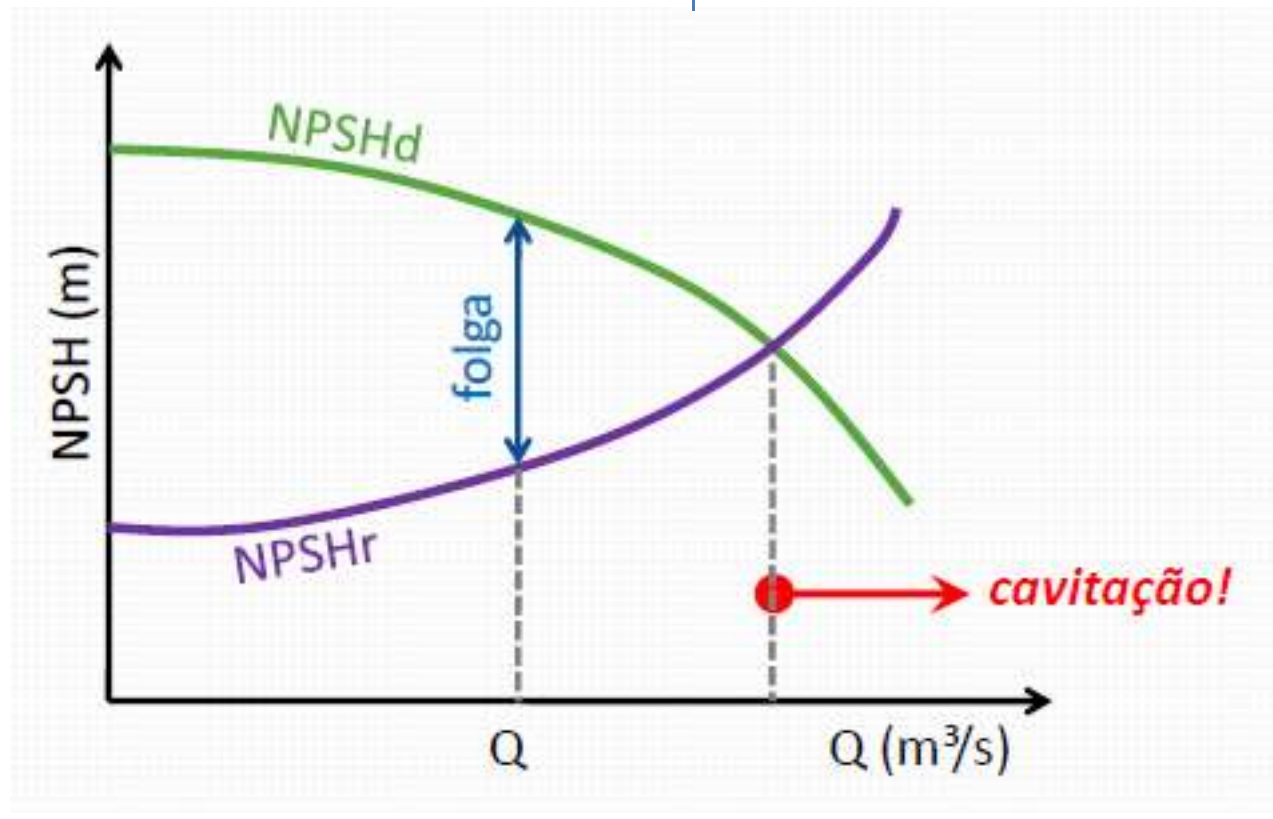
Gráfico

Coefficiente de cavitação
(Coefficiente de Thoma)

Funcionamento da bomba sem cavitação

$$\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r$$

Disponível no sistema
Requerido pela bomba



Folga mínima:
20% e 0,5m
[NBR 12214/92]

Para $Q_{\text{máx}}$ em cada
bomba do sistema:
1m ou 30%

Melhor:
1,5m ou 35%

Propriedades físicas da água

NBR 12215/92

Temperatura (°C)	Pressão de vapor (Pa)	Massa específica (kg/m ³)	Viscosidade cinemática (10 ⁻⁶ m ² /s)
0	611	999,8	1,793
5	872	999,9	1,519
10	1228	999,6	1,309
15	1704	999,0	1,141
20	2337	998,2	1,010
25	3166	997,0	0,896
30	4241	995,6	0,802
35	5622	993,9	0,727
40	7375	992,2	0,661
45	9584	990,2	0,604
50	12335	998,0	0,556

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 98066,52 \text{ Pa} = 0,98 \text{ Bar} = 735,56 \text{ mmHg}$$

Cont. Exercício

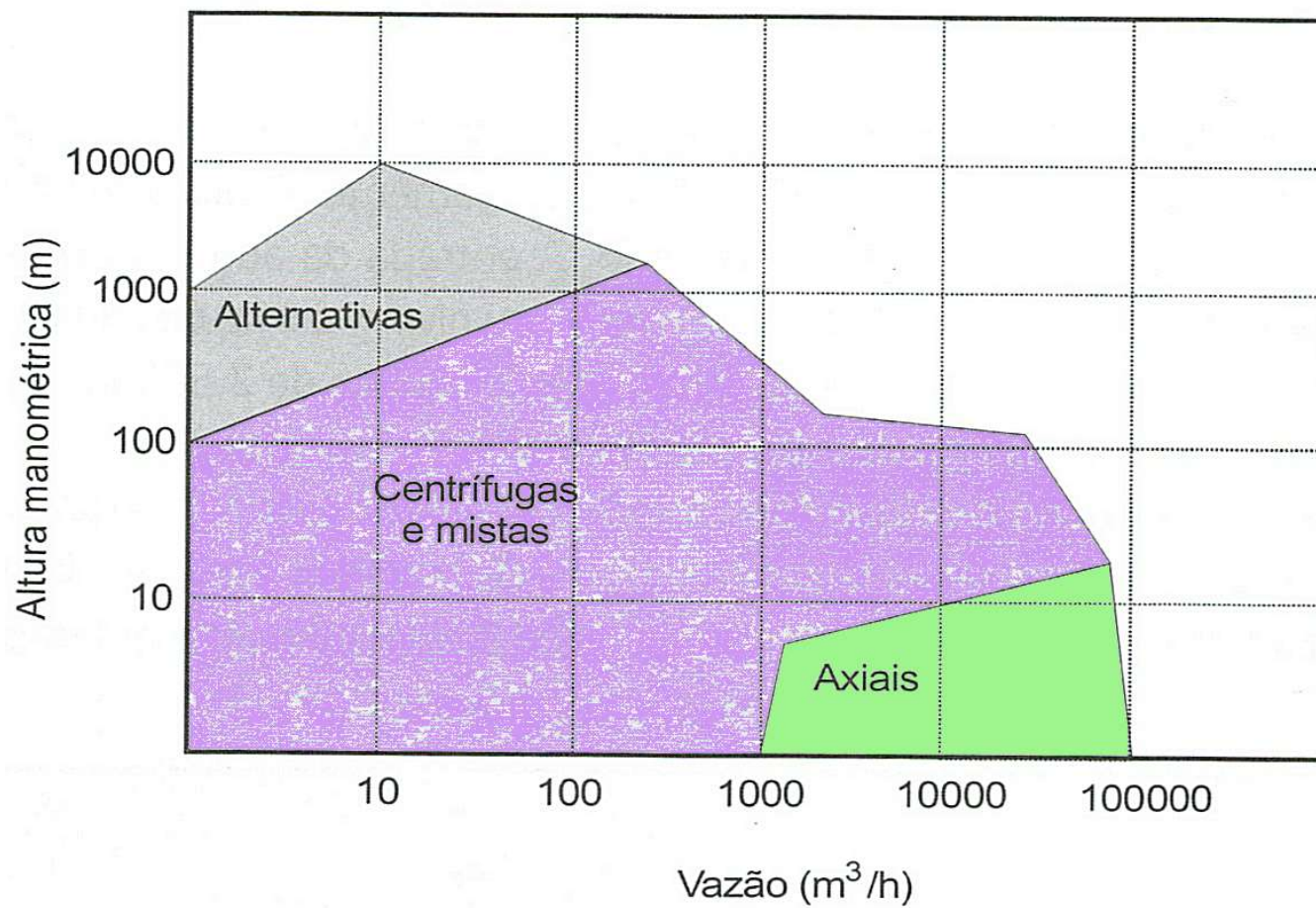


d) O NPSH está adequado? Caso contrário, o que poderia ocorrer na instalação e que medidas corretivas poderiam ser adotadas?

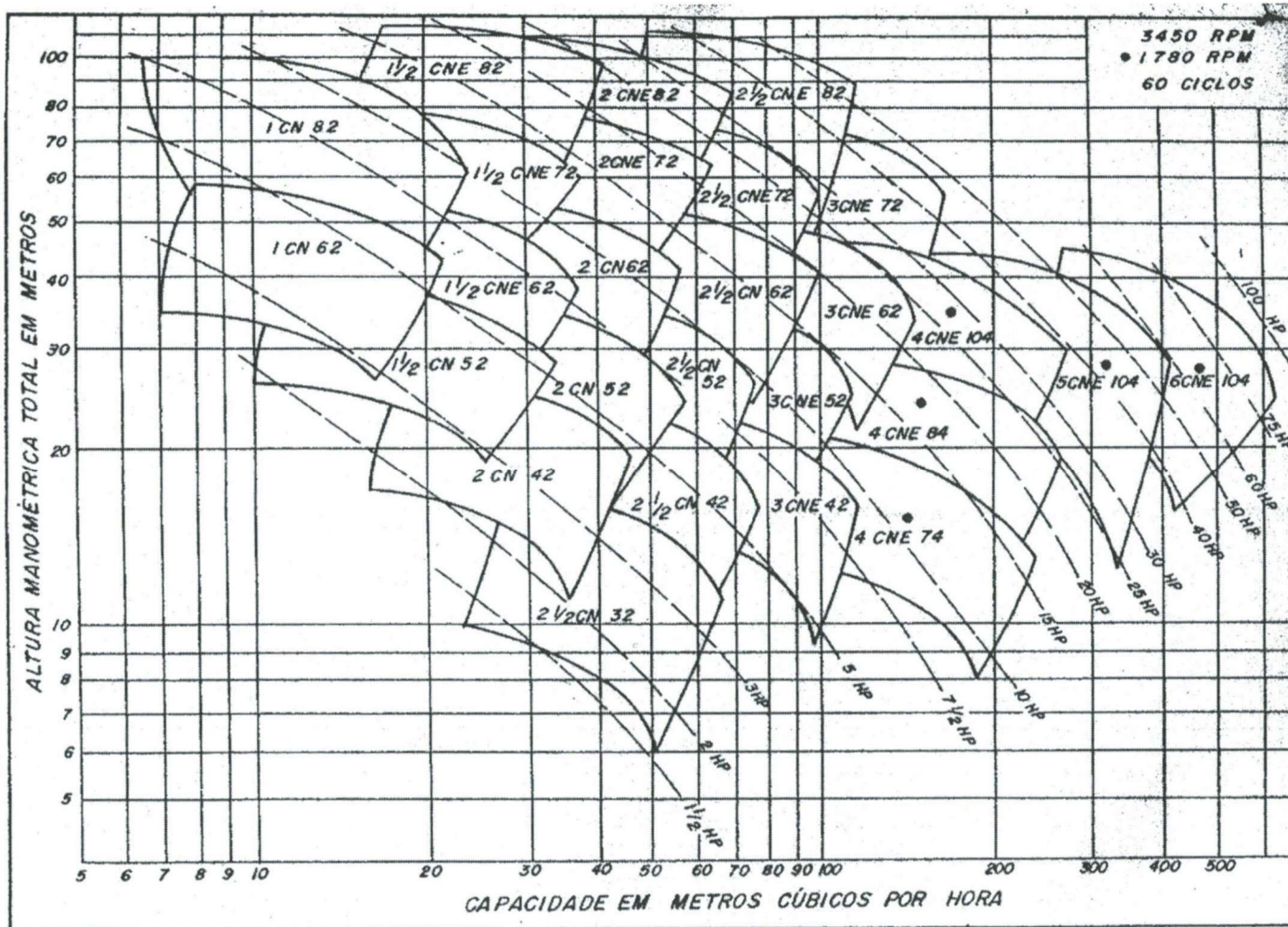
Escolha da bomba

- Ponto de operação: intersecção das curvas características do sistema com da bomba
- Escolha da bomba: pesquisar nas curvas características das bombas disponíveis no mercado aquela que eleva a vazão de projeto à sua respectiva altura manométrica, operando o mais próximo possível de seu ponto de melhor eficiência, ou seja, máximo rendimento.
 - Q_{bomba} não saia dos limites de 60% e 120% da vazão correspondente ao ponto de maior rendimento
- Família de curvas:
 - Deve-se considerar: Variação do nível do poço de sucção, variação da perda de carga pelo envelhecimento da tubulação

Orientação:



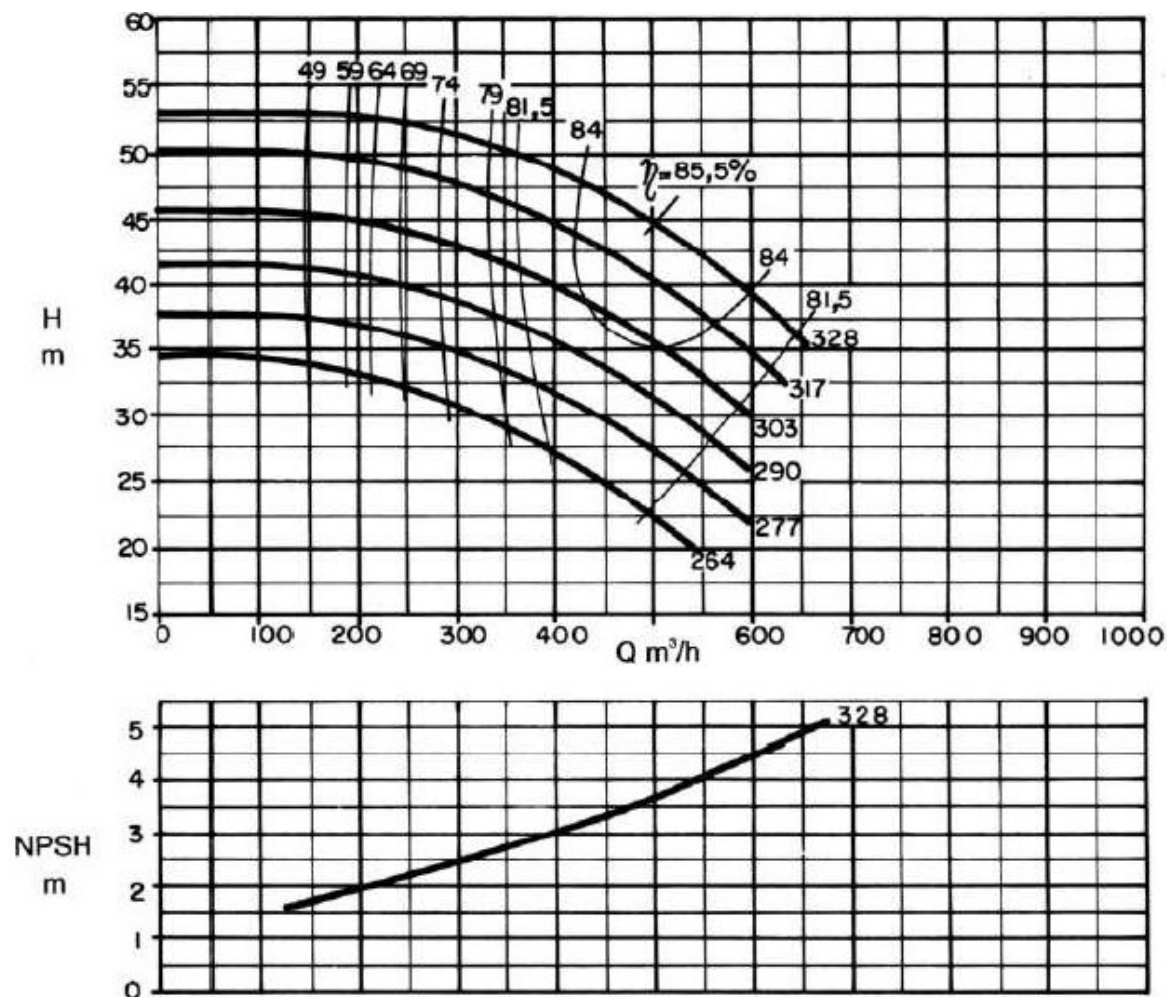
Catálogo do fabricante



Curvas fornecidas pelo fabricante para cada modelo

Cada bomba: Par [Q,H]
– máximo rendimento

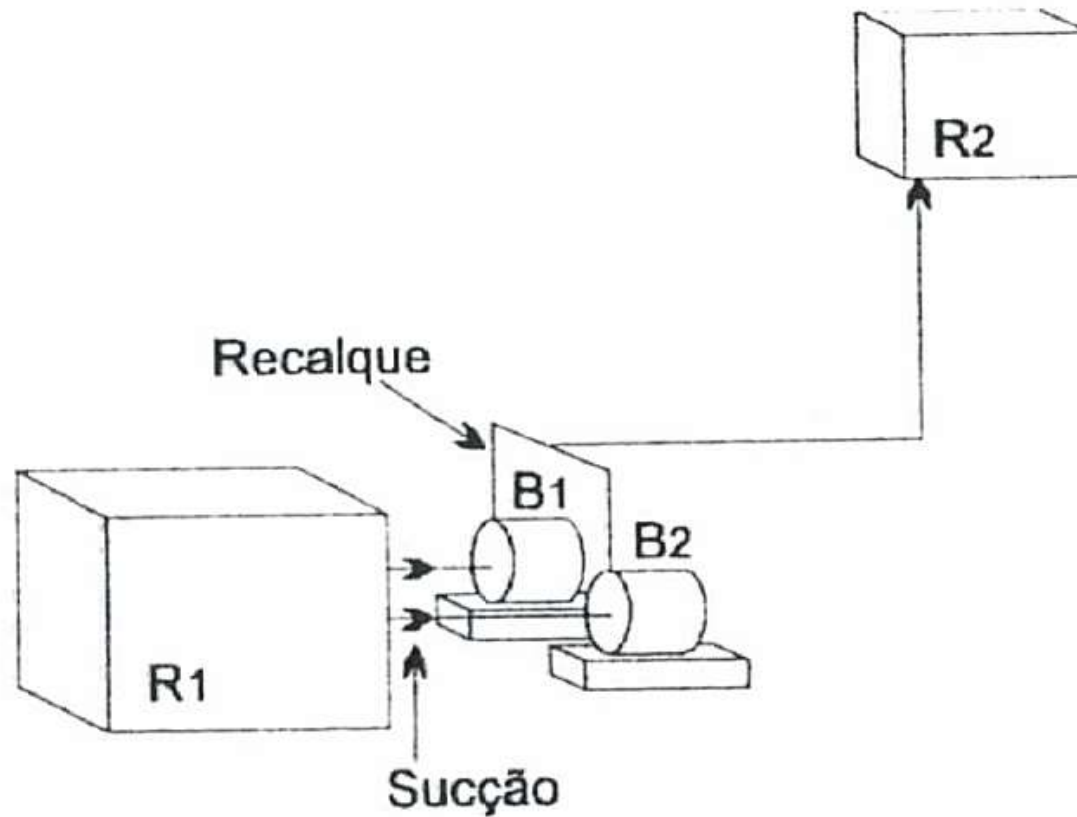
À medida que se
afasta do par
ótimo Q,H →
rendimento cai



Operação do sistema elevatório

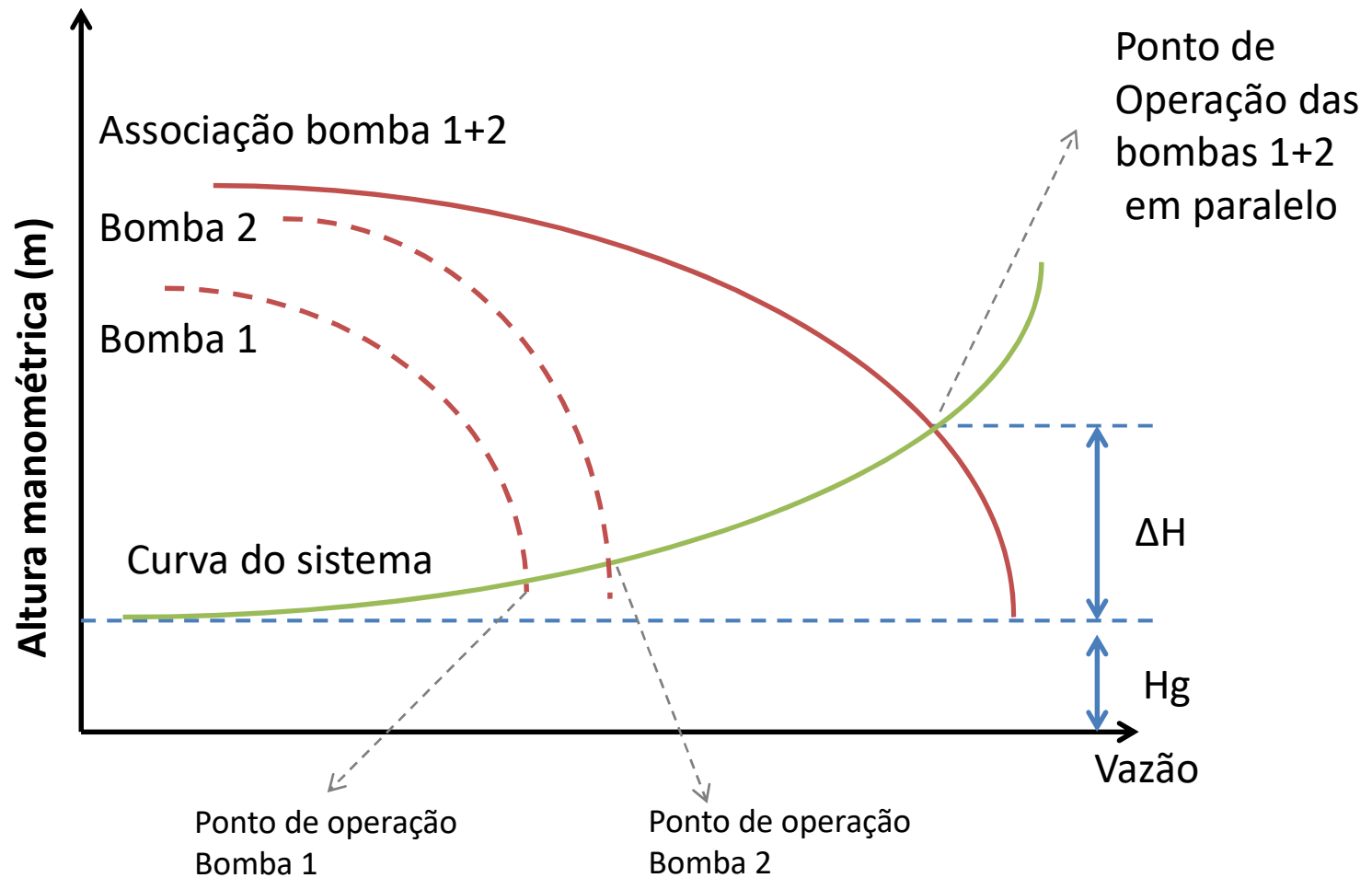
- Bombas em paralelo
- Bombas em série

Bombas em paralelo

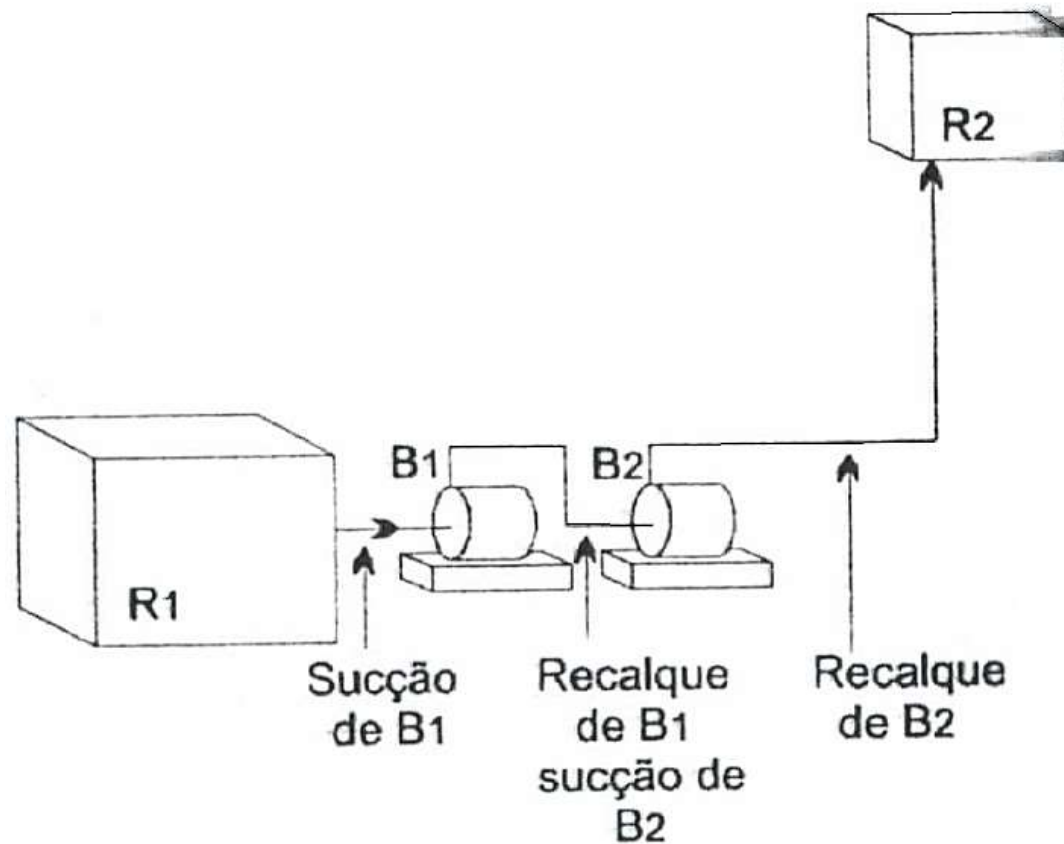


Bombas em paralelo

As vazões são somadas

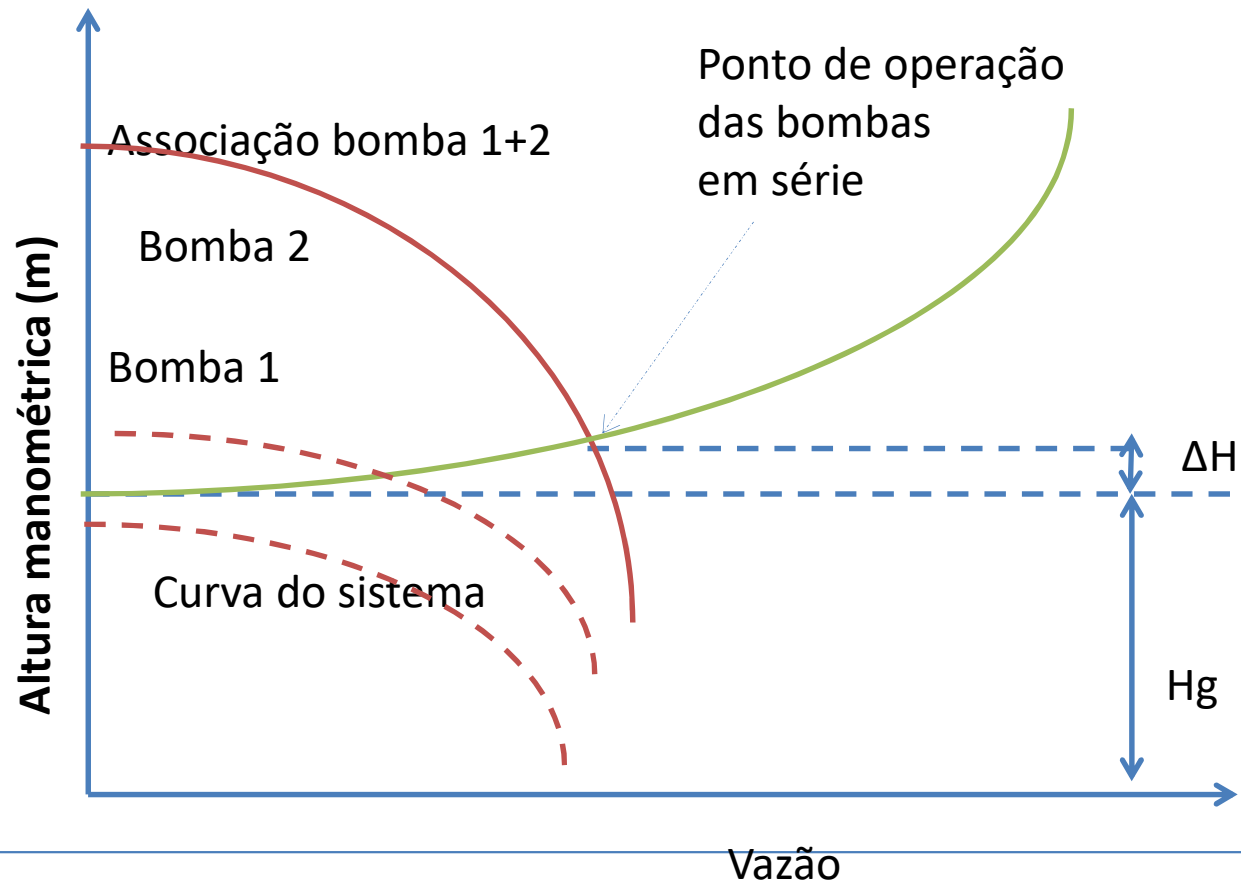


Bombas em série



Bombas em série

As alturas manométricas são somadas



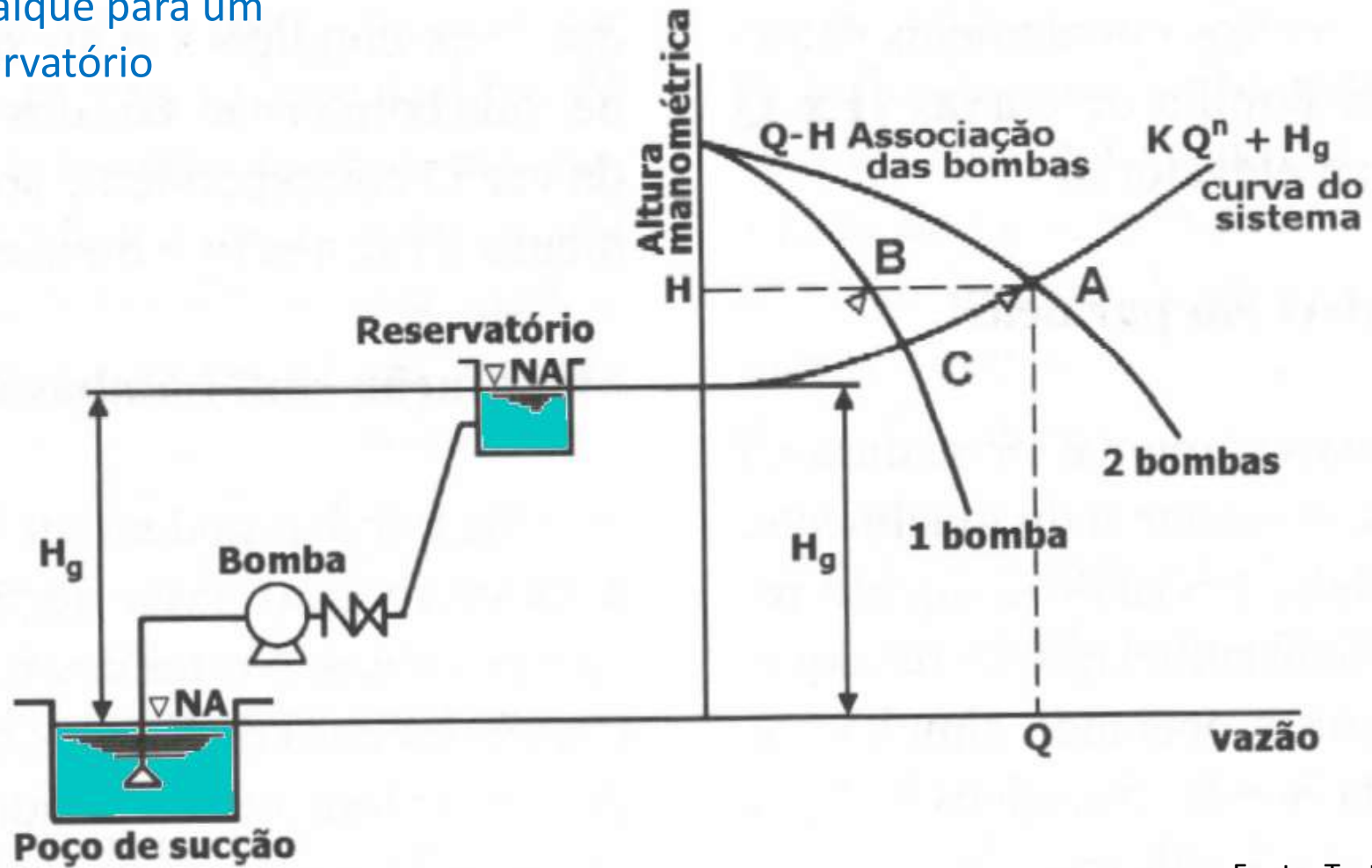
Cont. Exercício



e) Verificar o gasto médio anual de energia considerando a adução 20 h/dia e uma tarifa de 250 R\$/MWh.

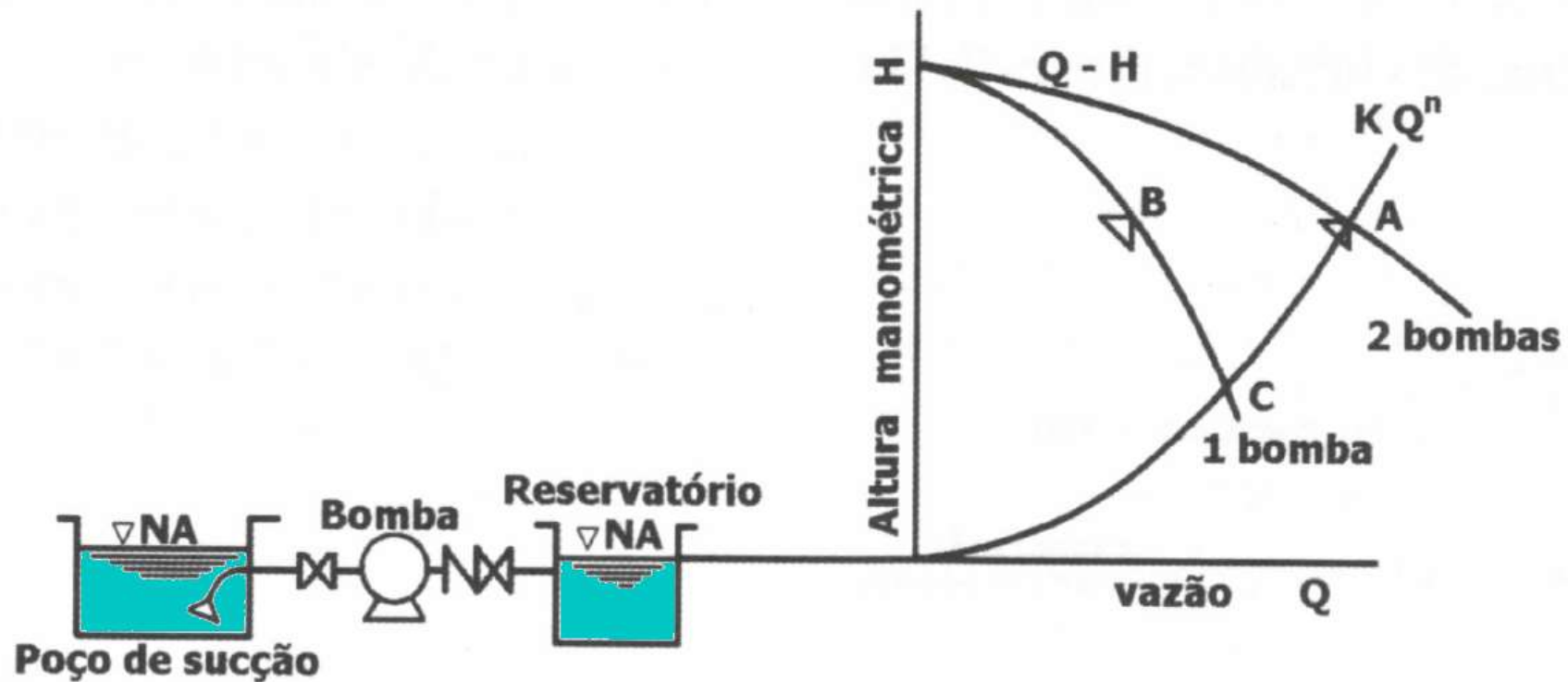
Recalques e suas respectivas curvas

Recalque para um reservatório



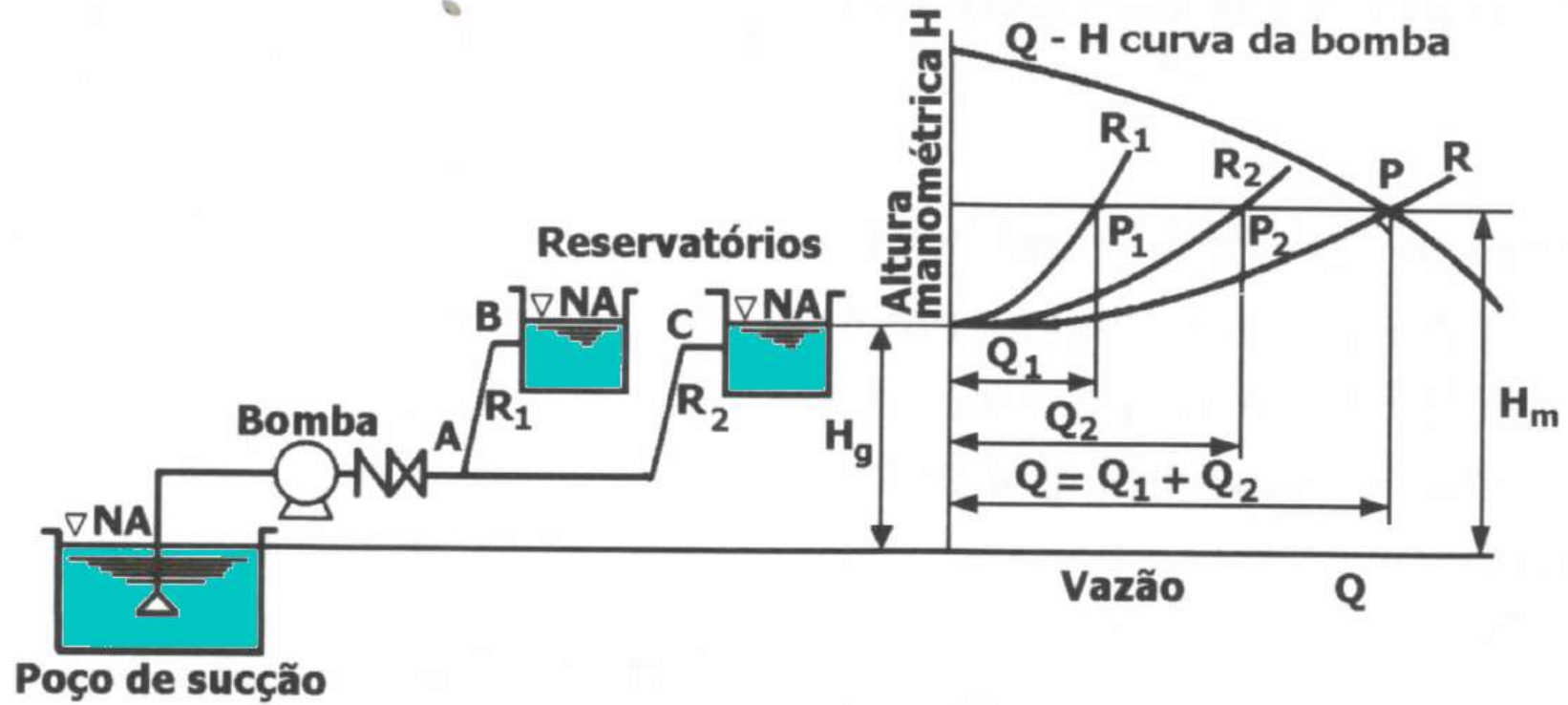
Fonte: Tsutiya

Recalque para um reservatório no mesmo nível da sucção



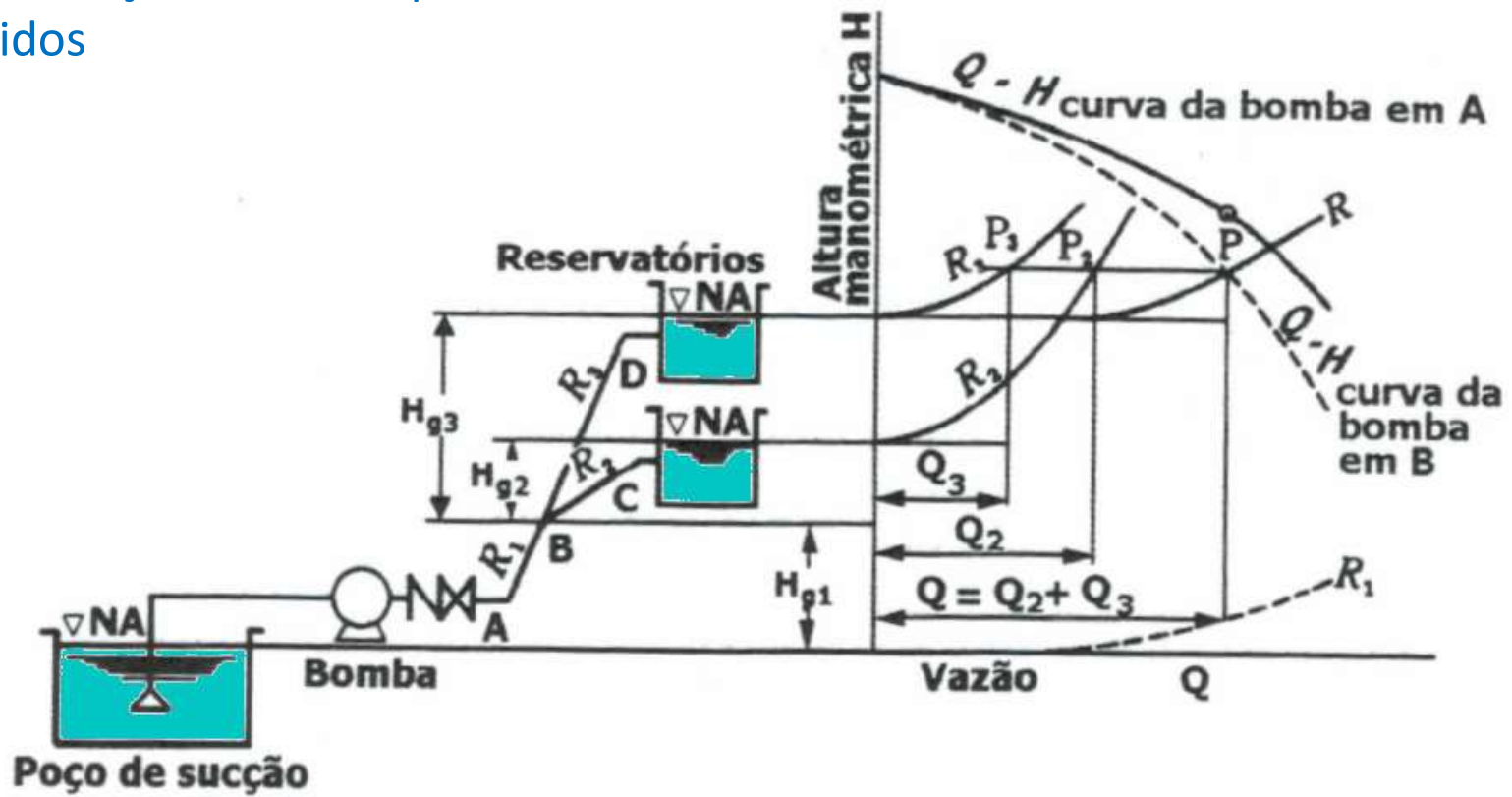
Fonte: Tsutiya

Recalque para dois reservatórios situados em cotas iguais



Fonte: Tsutiya

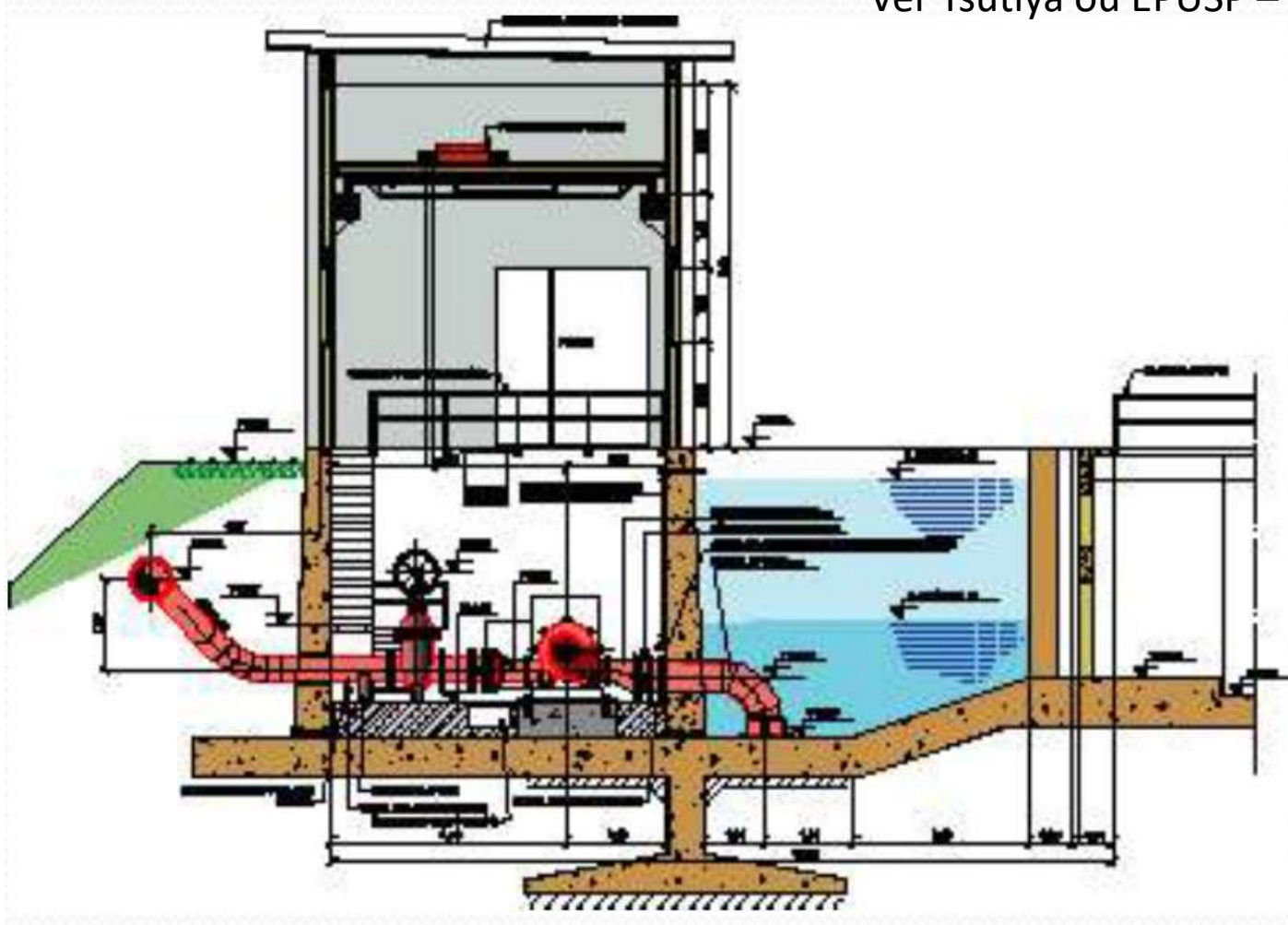
Recalque para dois reservatórios alimentados por tubulações de recalque divididos



Fonte: Tsutiya

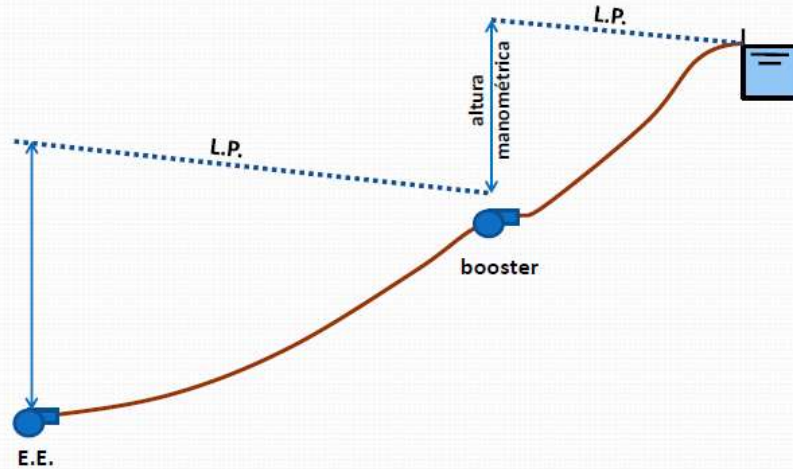
Projeto

Ver Tsutiya ou EPUSP – PHD2412

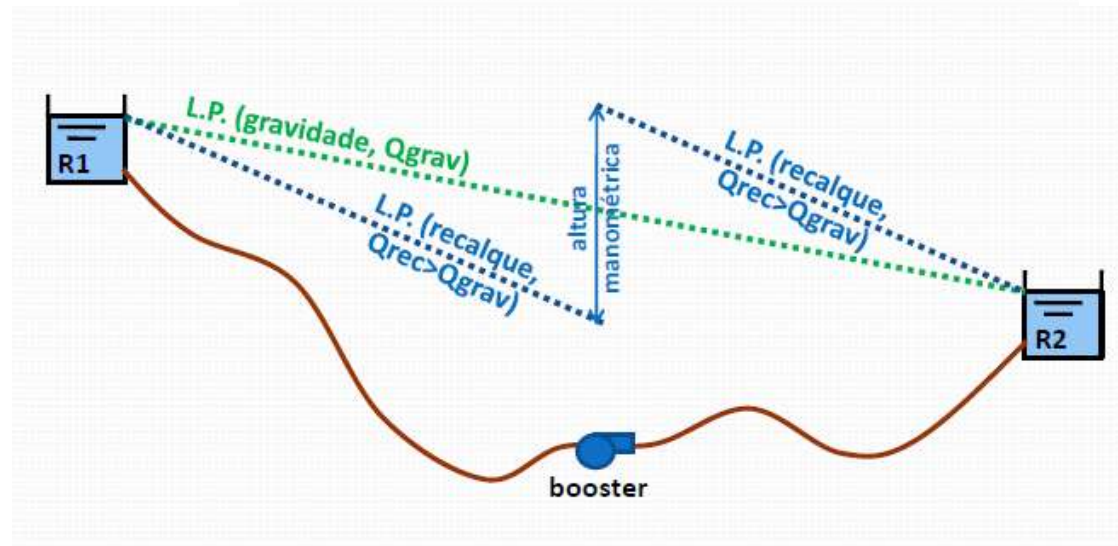


Booster

Para reforço no bombeamento (em série)



Para aumentar a vazão de bombeamento

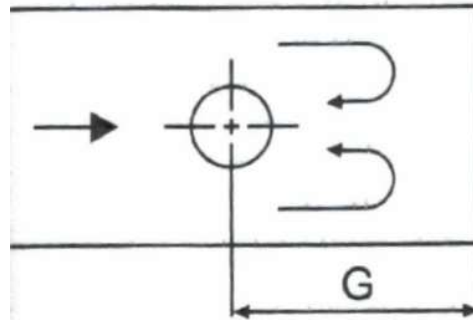


Poço de sucção

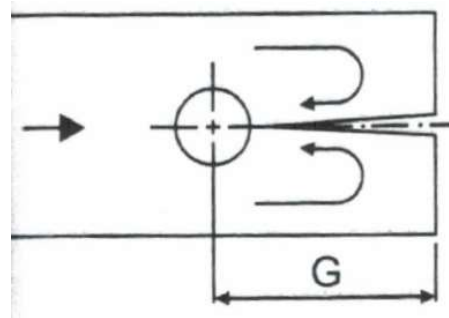
Estrutura de transição que recebe água afluyente e as coloca à disposição para recalque

NÃO RECOMENDADO

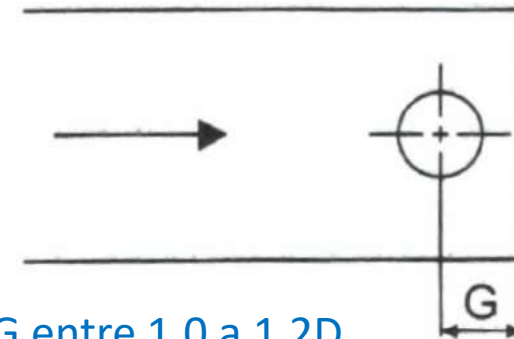
Turbulência no escoamento atrás do tubo de sucção. Se distância entre a parede e o tubo é grande, pode haver formação de **vórtice**.



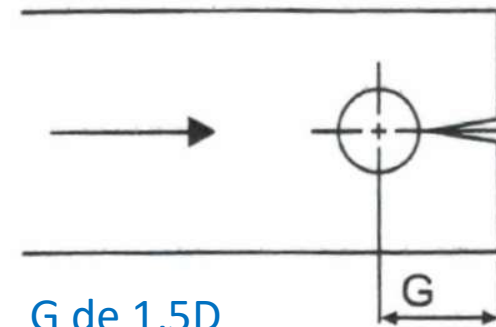
X



RECOMENDADO



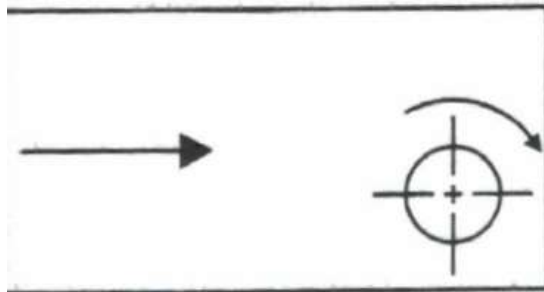
G entre 1,0 a 1,2D



G de 1,5D

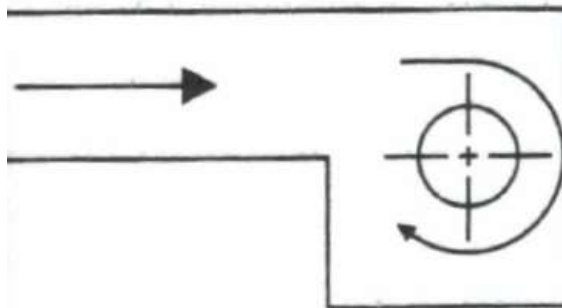
NÃO RECOMENDADO

X

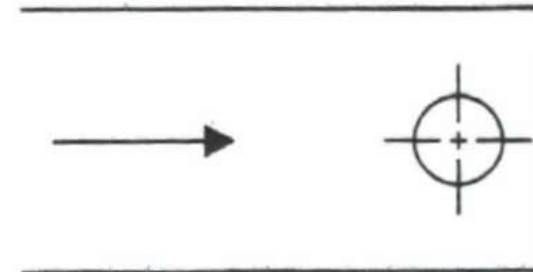


Desenvolvimento de escoamento rotacional.

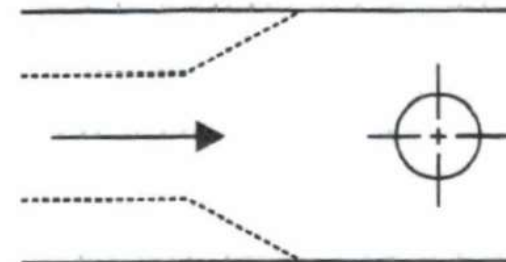
X



RECOMENDADO



O tubo deve ser deslocado para o centro do poço de sucção.

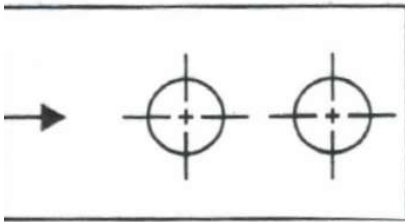


O centro da entrada do canal deve ser alinhada com o centro do poço de sucção.

NÃO RECOMENDADO

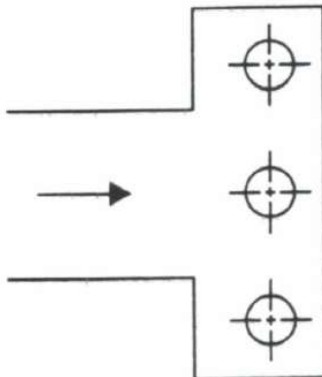
O primeiro tubo de sucção causa turbulência no segundo tubo.

X



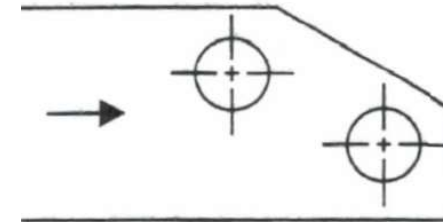
- Escoamento turbulento

X

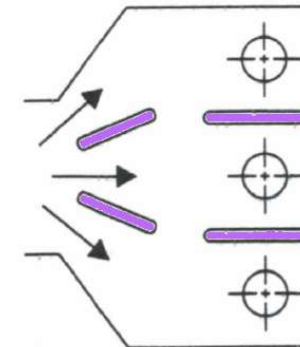


RECOMENDADO

Mudança de direção nos tubos de sucção

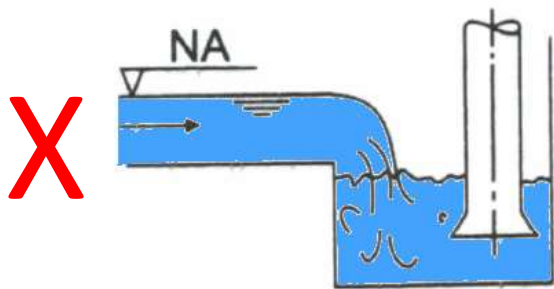


Divisórias na entrada e entre os tubos

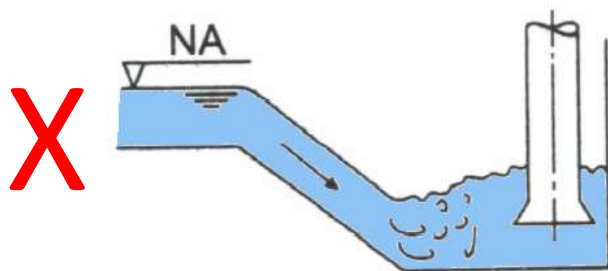


NÃO RECOMENDADO

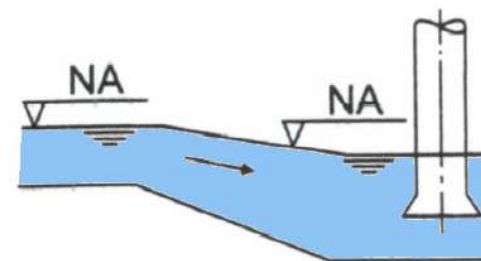
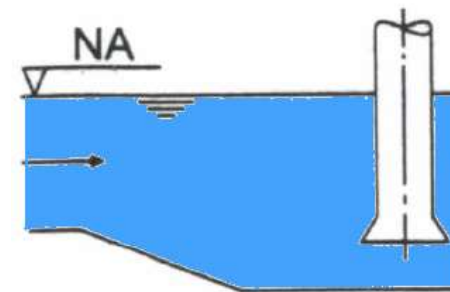
- Escoamento ~~X~~ turbulento
- Entrada de ar



- Escoamento supercrítico



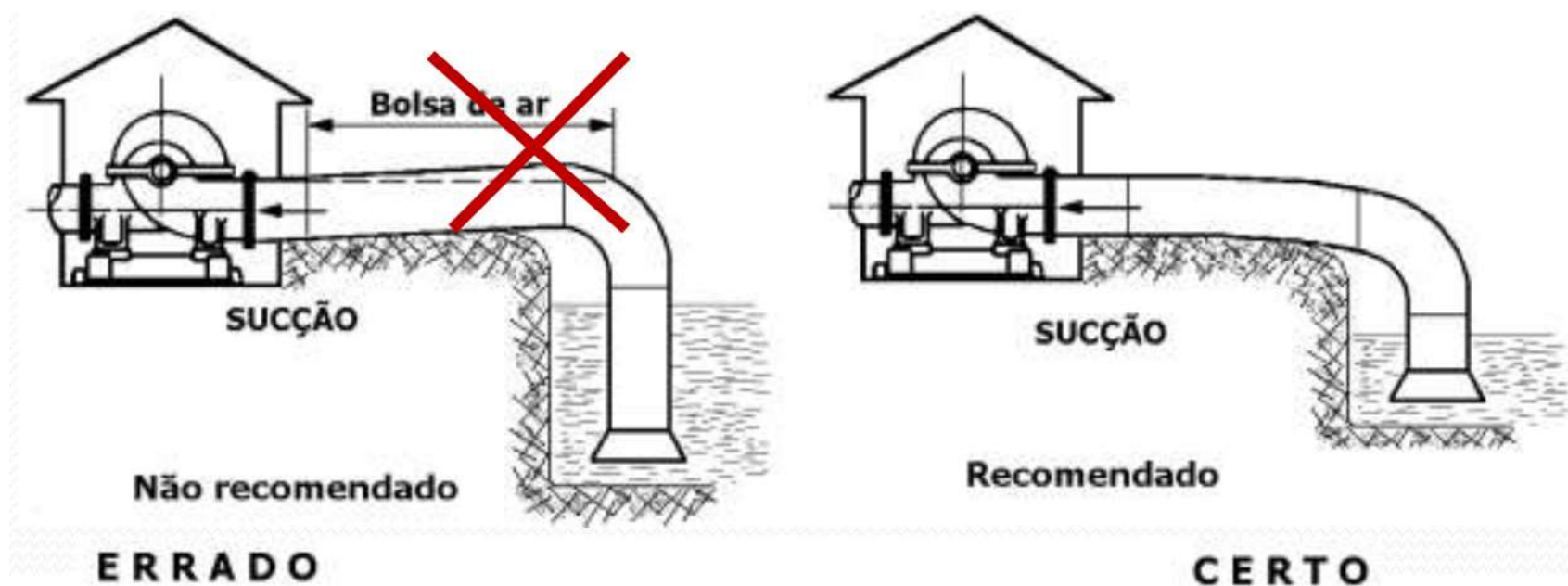
RECOMENDADO



Tubulação de sucção

- Deve ser a mais curta possível e sempre ascendente ou horizontal.
- Evitar peças especiais.
- Norma ABNT NBR 12214/92: Estabelece velocidades mínimas e máximas (alguns autores e entidades recomendam valores diferentes)

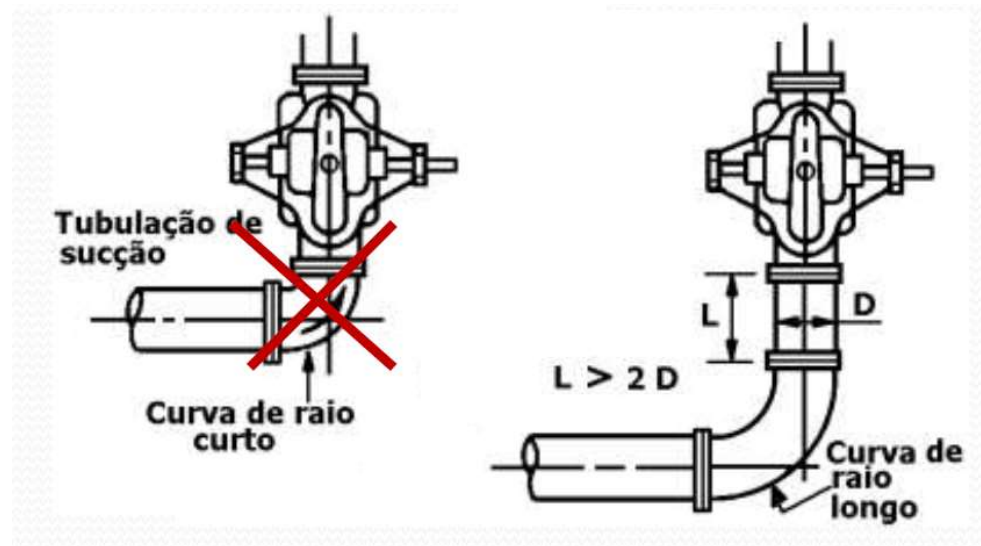
Inclinação ascendente



Redução excêntrica



Curva de raio longo



NBR 12214/92

Tubulação de sucção

DN	$V_{\text{máx}}$ (m/s)
50	0,70
75	0,80
100	0,90
150	1,00
200	1,10
250	1,20
300	1,40
400	1,50

Tipo de material transportado

Tipo de material transportado	$V_{\text{mín}}$ (m/s)
Matéria orgânica	0,30
Suspensões siltosas	0,30
Suspensões arenosas	0,45

Barrilete

Tubulação de aço ou ferro fundido:

$$V_{\text{máx}} = 3,00 \text{ m/s}$$

Para outros materiais:
ver recomendação do fabricante

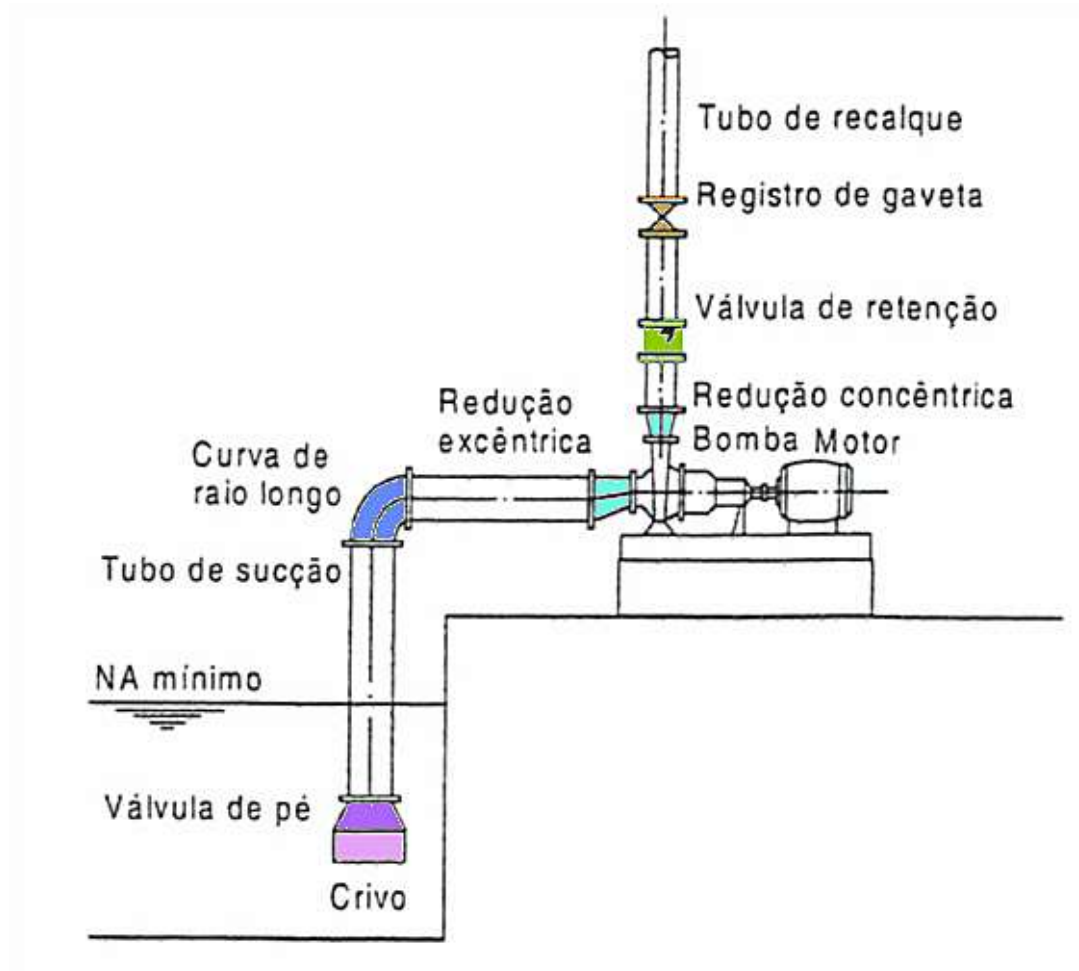
$$V_{\text{mín}} = 0,60 \text{ m/s}$$

Regra comum:

$$D_S = 2 \cdot D_R$$

Para bombas afogadas, as velocidades podem ser maiores, desde que justificado.

Órgãos acessórios



Literatura

- Tsutiya, Milton Tomoyuki. 2006. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 643p. 4ª. Edição
- Figuras: EPUSP – PHD2412
- Cirilo, José Almir et al. (Org.) Hidráulica Aplicada. 2ª. edição rev. e ampl. – Porto Alegre: ABRH, 2003
- Heller, Léo & Pádua, V.L. 2010. Abastecimento de água para consumo humano. Ed. UFMG. 2ª.Ed.
- NBR 12214/92 Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público