

Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP



TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

Aula 4

Sistemas de esgoto sanitário
Parte 2

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes



Conteúdo – Parte 2

- Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)
 - Estações elevatórias de esgoto (EEE);
 - Interceptores;
 - Sifões invertidos.



ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO

Estações Elevatórias de Esgoto (EEE)



- São instalações destinadas a transferir os esgotos de um ponto (de cota normalmente mais baixa) a outro (de cota normalmente mais elevada), em diversas partes do SES:
 - Na fase de coleta;
 - Na fase de transporte;
 - No processo de tratamento de esgoto;
 - Na disposição final.
- Utilizadas sempre que **não for possível** ou **viável**, por razões técnicas ou econômicas, o escoamento de esgoto por gravidade.



Necessidade de EEE

- As elevatórias justificam-se, em princípio, nos seguintes casos:
 - Terrenos planos e extensos, evitando-se que as canalizações atinjam profundidades excessivas;
 - Áreas novas situadas em cotas inferiores às existentes;
 - Reversão de esgotos de uma bacia para a outra;
 - Descarga de interceptores ou emissários de ETE ou corpos receptores, quando não for possível fazer por gravidade.
- Indispensável o prévio estudo comparativo entre os custos decorrentes da instalação de uma elevatória e o custo devido ao esgotamento por gravidade (se possível!)
- **Evitar sempre que possível, mas utilizar sem receio!**



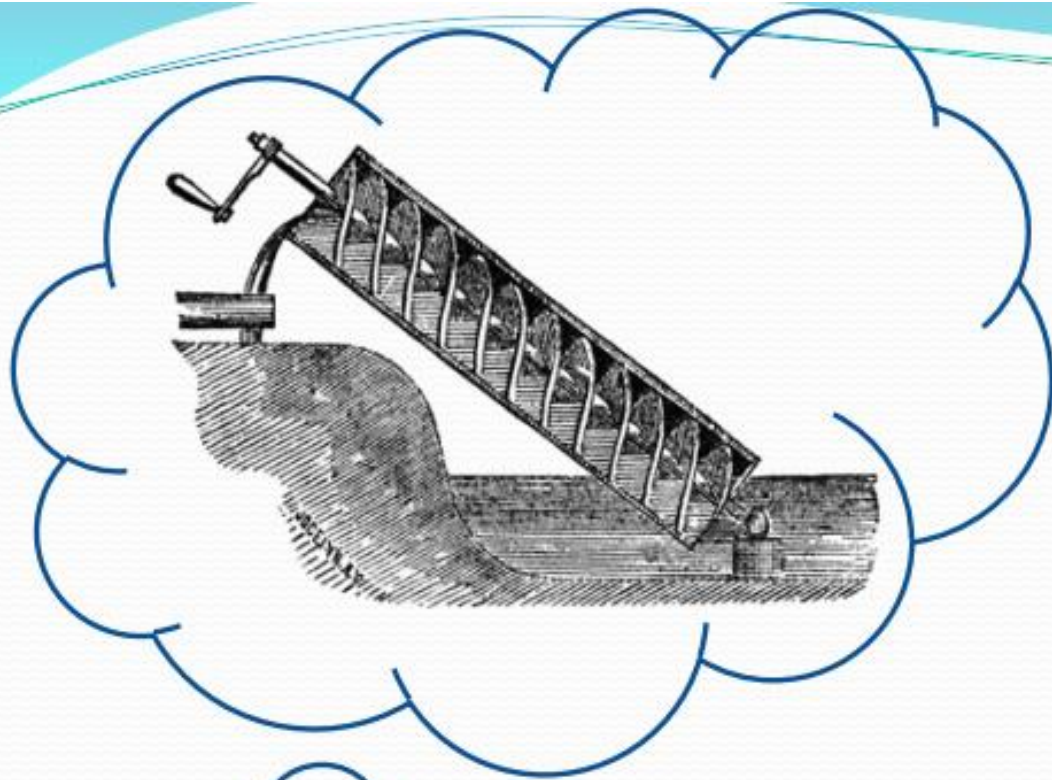
Vazões de projeto

- Devem ser consideradas para o projeto em elevatórias:
 - Vida útil das instalações e equipamentos;
 - Maior ou menor dificuldade de ampliação das instalações;
 - População futura;
 - Taxa de juros e amortização do financiamento;
 - Facilidade ou dificuldade para obtenção de financiamento;
 - Funcionamento da instalação nos primeiros anos, quando trabalha com folga.



Vazões de projeto

- Devem ser consideradas para o projeto em elevatórias:
 - Vazão média no início do plano
 - Dimensões máximas de poço de sucção;
 - Tempo de detenção de esgoto;
 - Vazão máxima no fim do plano
 - Seleção de equipamentos de bombeamento e linha de recalque;
 - Dimensões mínimas do poço de sucção;
 - Período de projeto adotado: 20-25 anos para equipamentos (considerar etapas de implantação), 50 anos para tubulações e edificações.



SeaWorld, San Diego (Shipwreck Rapids)





Estações elevatórias de esgoto

- Adução por:

- Ejetor pneumático;

- Bombeamento {
 - Bombas de deslocamento positivo
 - Bombas centrífuga

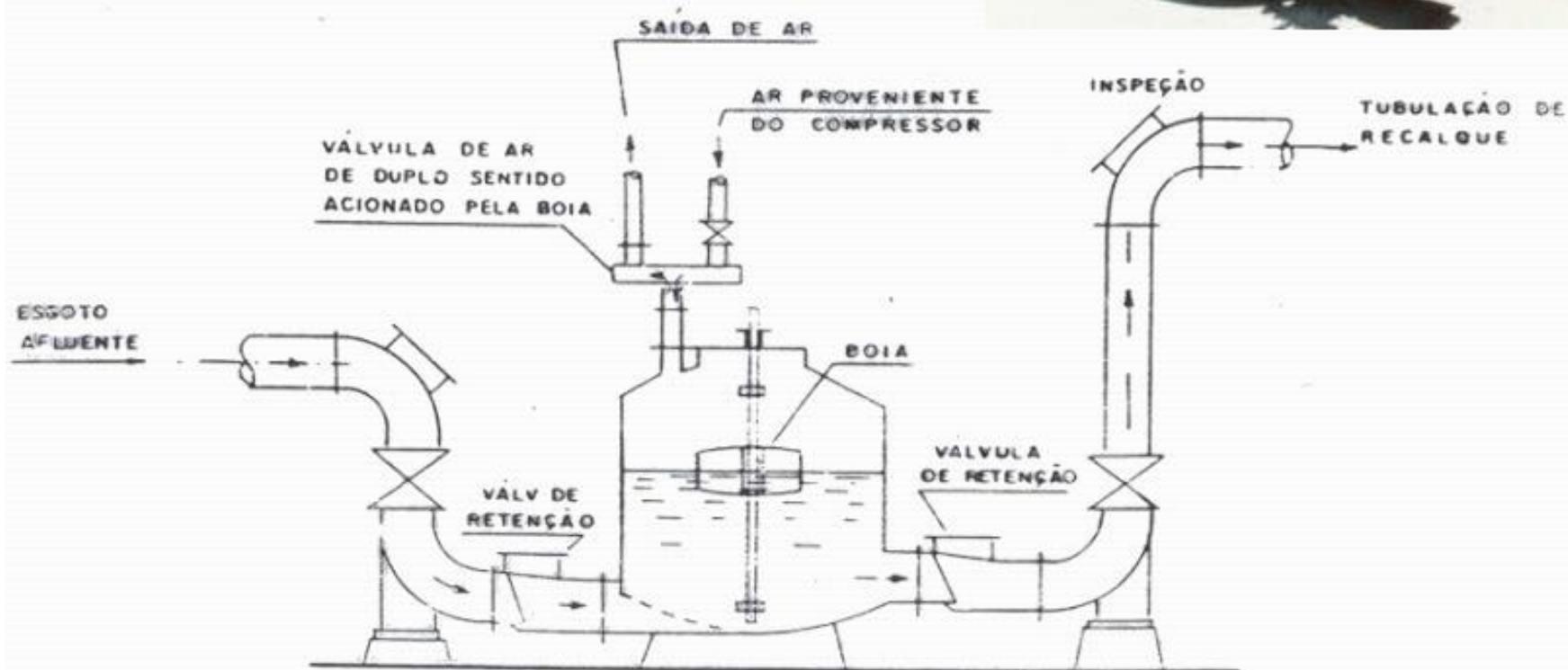


Estações elevatórias de esgoto

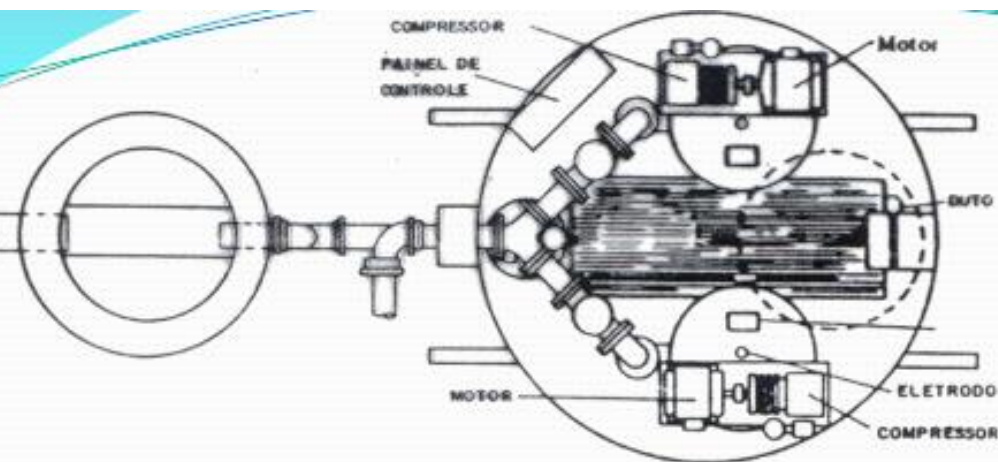
■ Ejetor pneumático

- Utilizado nos locais onde a vazão inicial é pequena e a vazão final de projeto não exceda a capacidade do ejetor;
- Funcionamento:
 - Tanque fechado: entrada de esgoto até determinado nível;
 - Expulsão do ar até enchimento;
 - Após enchimento: injeção de ar comprimido suficiente para promover a descarga do esgoto;
 - Após atingir nível mínimo: parada do ar comprimido;
 - Reinício do ciclo.

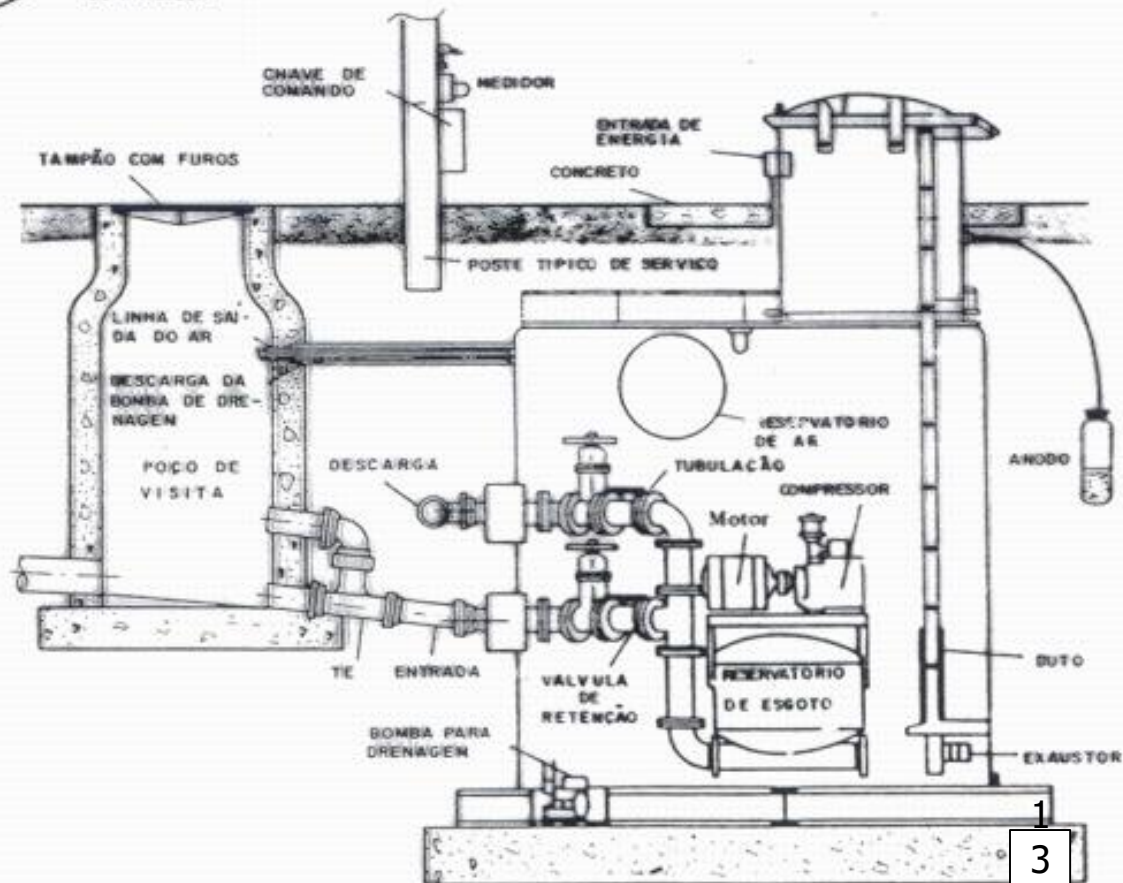
Ejetor Pneumático



Ejetor Pneumático



ar comprimido
 ciclos (1 min)
 tanques (45-680 L)
 vazões pequenas
 (2-38 L/s)





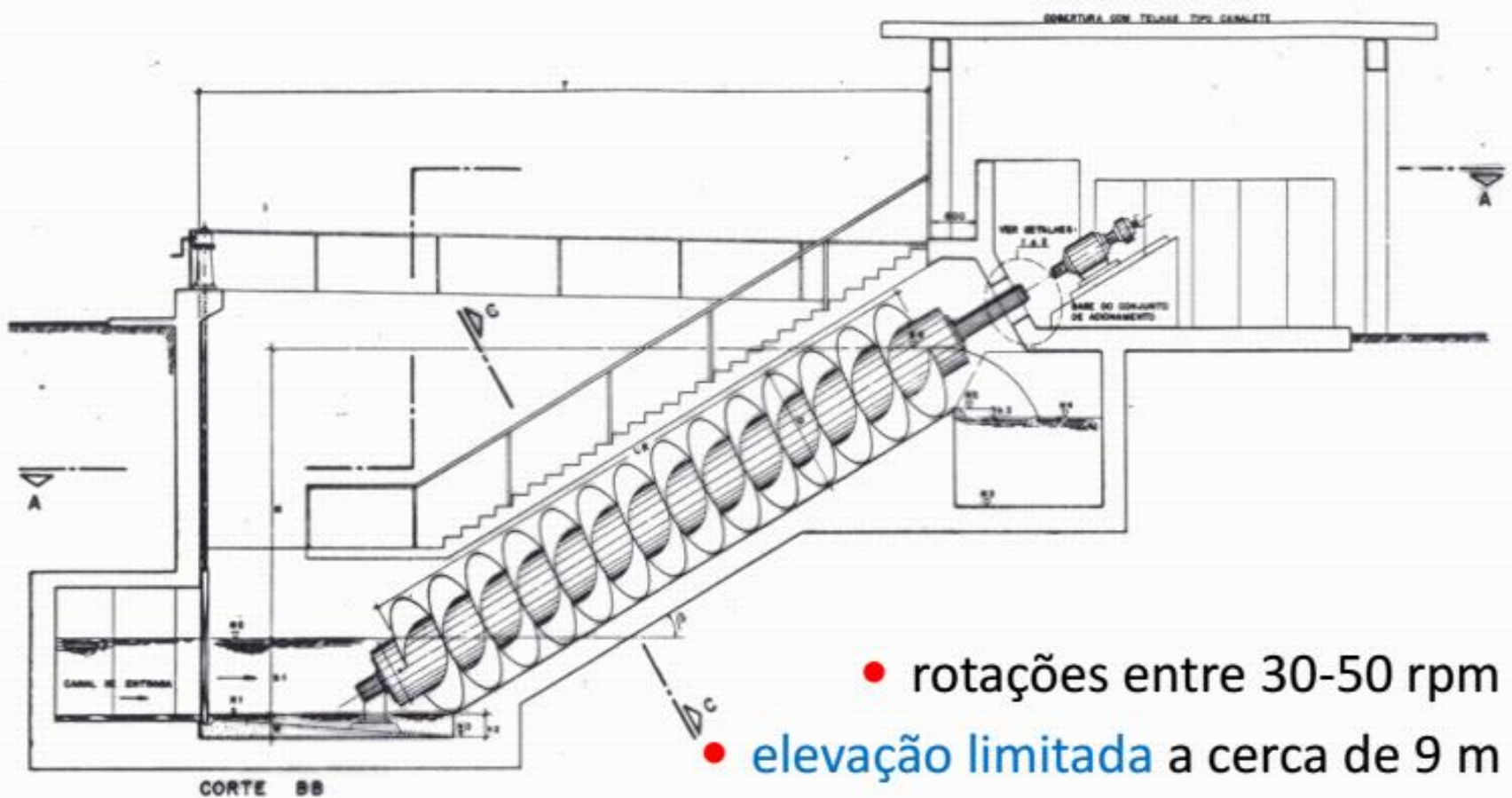
Estações elevatórias de esgoto

■ Bombas parafuso

- Tipo de bombas mais antigo: Parafuso de Arquimedes;
- Ângulo de inclinação: $22 - 40^{\circ}$;
- Limitação: Altura máxima de 9 m
- Rendimento: 60 – 65 % (pequeno porte) e 75 % (grande porte);
- Ligados a motores elétricos de indução (trifásicos);
- Rotação: 30 – 35 rpm.

Bombas de deslocamento positivo

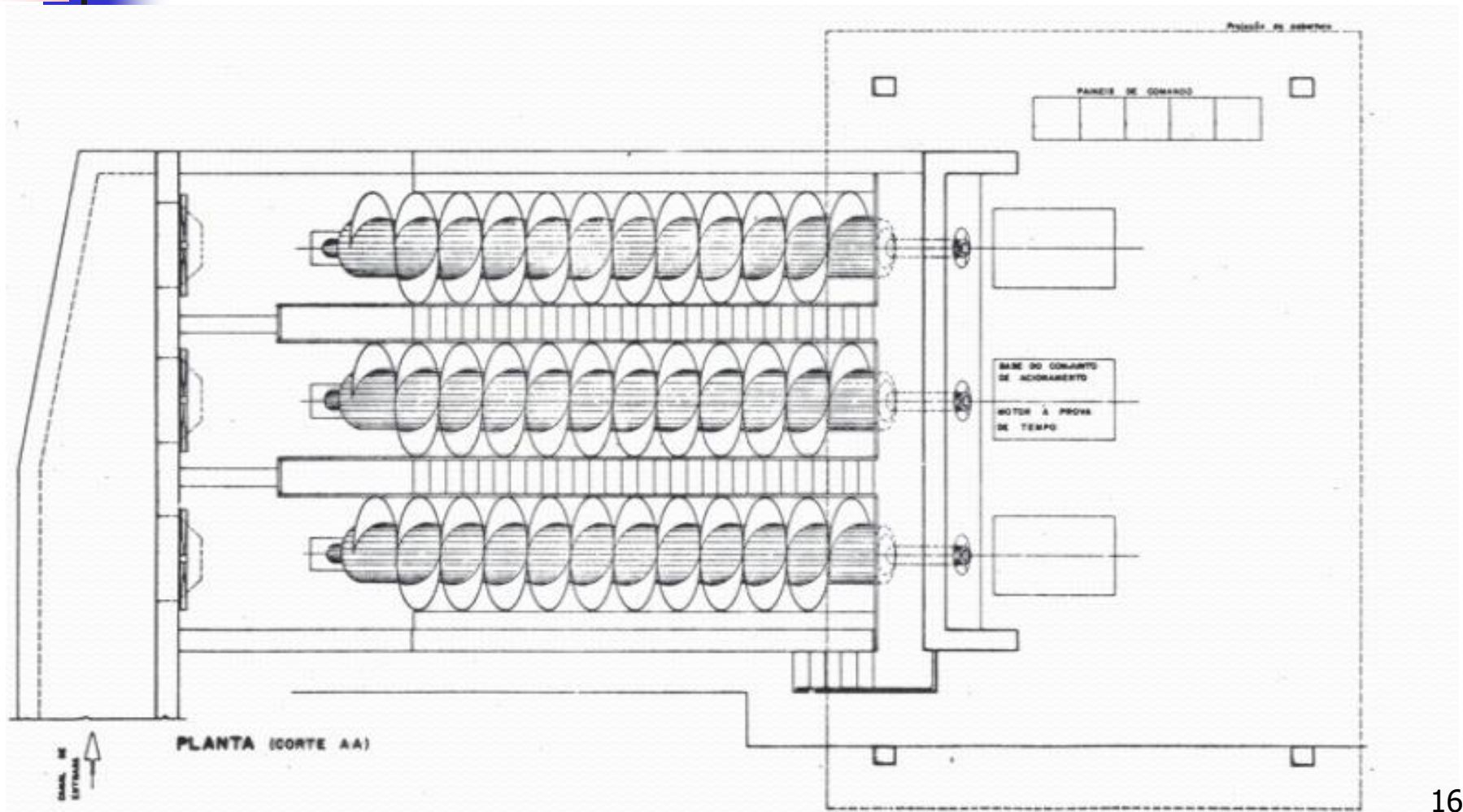
EEE: Bombas Parafuso



- rotações entre 30-50 rpm
- **elevação limitada** a cerca de 9 m
- instaladas em ângulos de 22-40 graus

Bombas de deslocamento positivo

EEE: Bombas Parafuso



Bombas Utilizadas em EEE: Bombas Parafuso



Bombas utilizadas em EEE: Bombas Parafuso





Estações elevatórias de esgoto

■ Bombas centrífugas

- Elemento rotativo dotado de pá (rotor);
- Fornece trabalho mecânico (energia cinética) para movimentar o líquido;
- Composição: rotor e carcaça;
 - Pás do rotor impulsionam o líquido em direção à carcaça, proporcionando acréscimo de pressão e velocidade;
 - Carcaça: Formato espiral, para recebimento do líquido que sai do rotor;

Bombas centrífugas

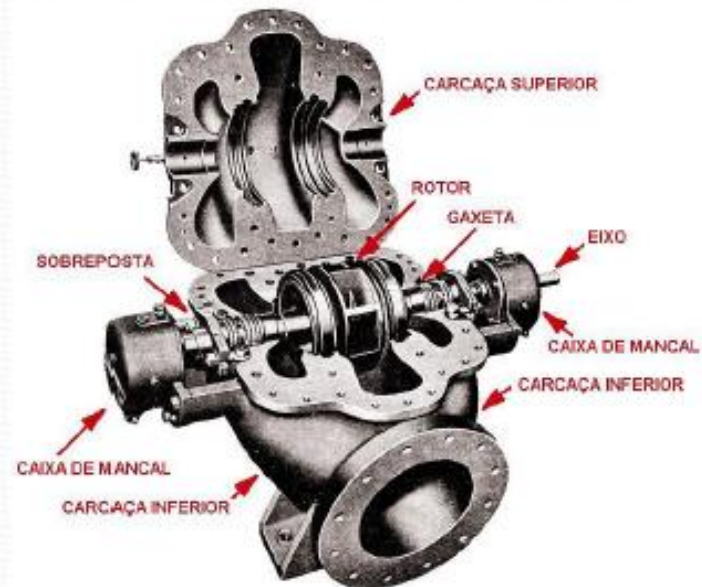
- Componentes

- Carcaça, rotor, vedação e mancal.

Corte de uma bomba centrífuga horizontal de simples estágio



Corte de uma bomba centrífuga de simples estágio com rotor de dupla sucção

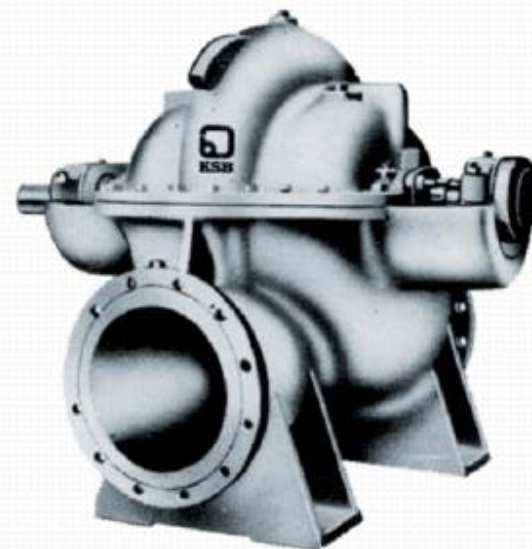


Bombas centrífugas

- Carcaça



Bomba centrífuga com carcaça tipo voluta com rotor radial fechado de sucção simples

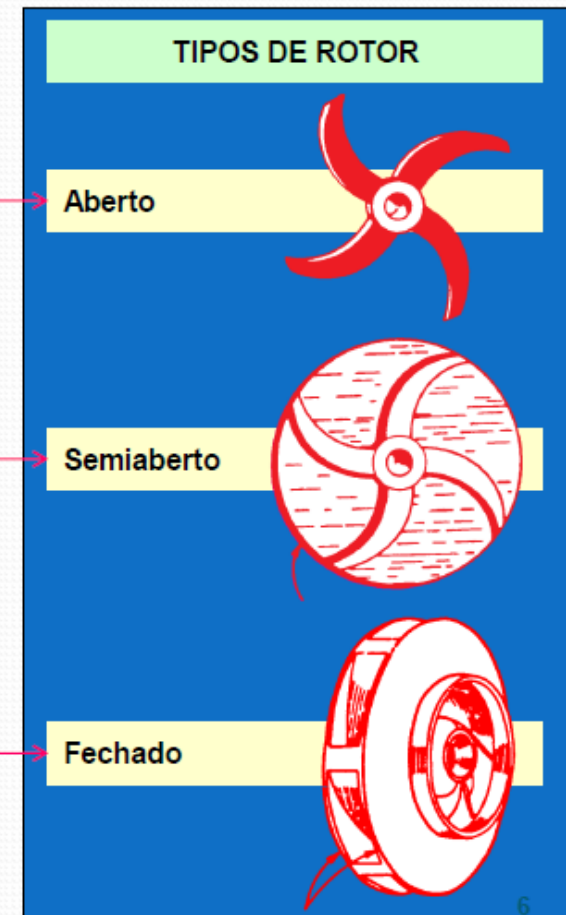


Bomba centrífuga bipartida axialmente com rotor radial de dupla sucção

Bombas centrífugas

■ Rotor

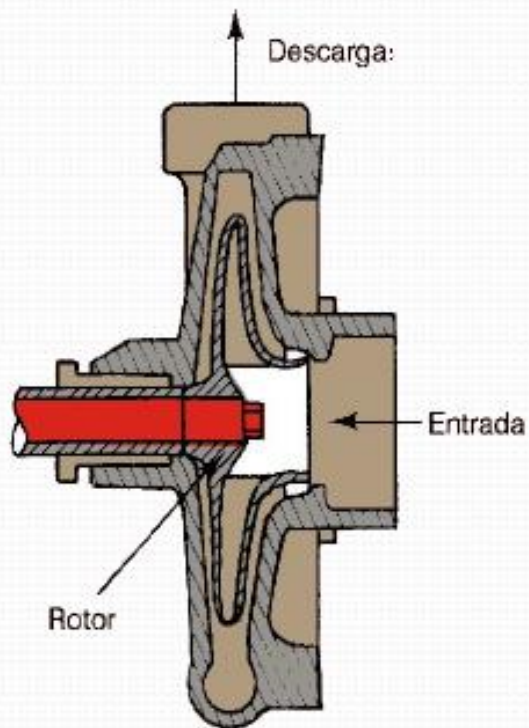
- Quanto à admissão de líquido
 - Rotor de simples sucção
 - Rotor de dupla sucção
- Quanto às paredes
 - Rotor aberto
 - Rotor semi-aberto
 - Rotor fechado
- Quanto à direção de saída do líquido
 - Rotor de fluxo axial
 - Rotor de fluxo radial
 - Rotor de fluxo misto



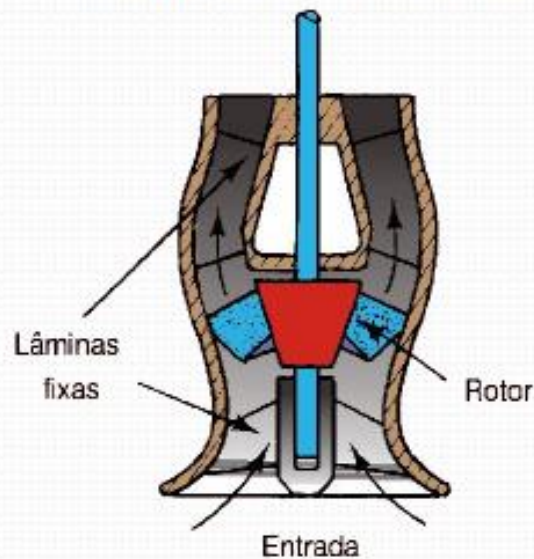
Bombas centrífugas

- Rotor: Trajetória do líquido no rotor

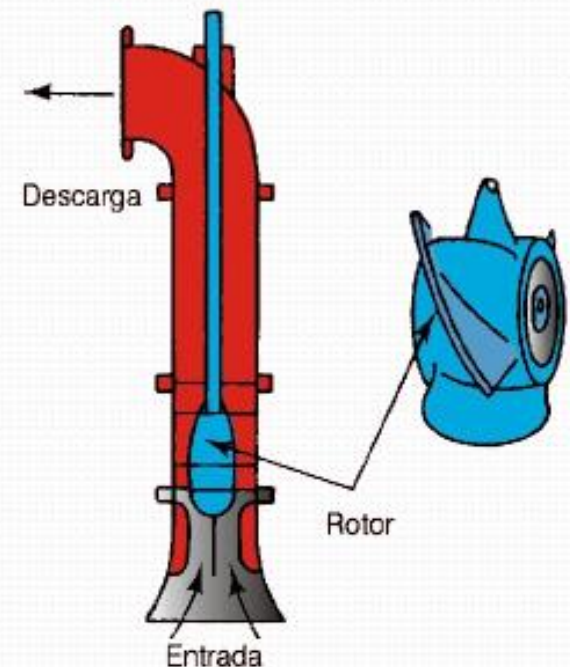
Bombas de fluxo radial



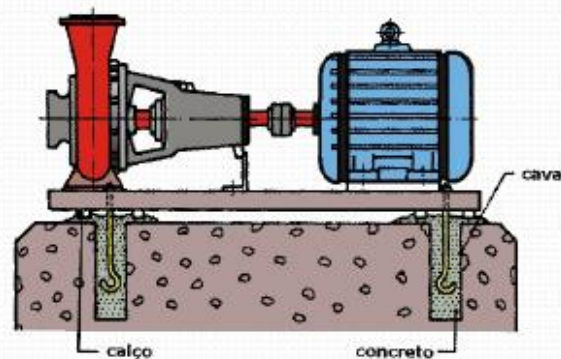
Bomba de fluxo axial



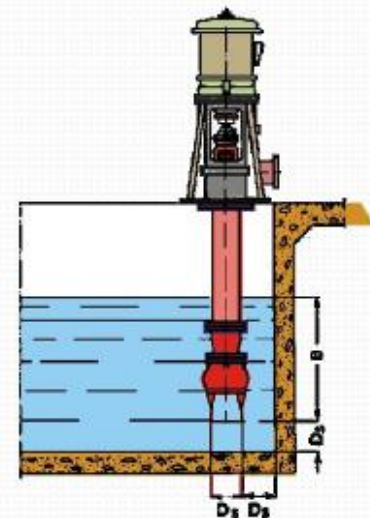
Bombas de fluxo misto



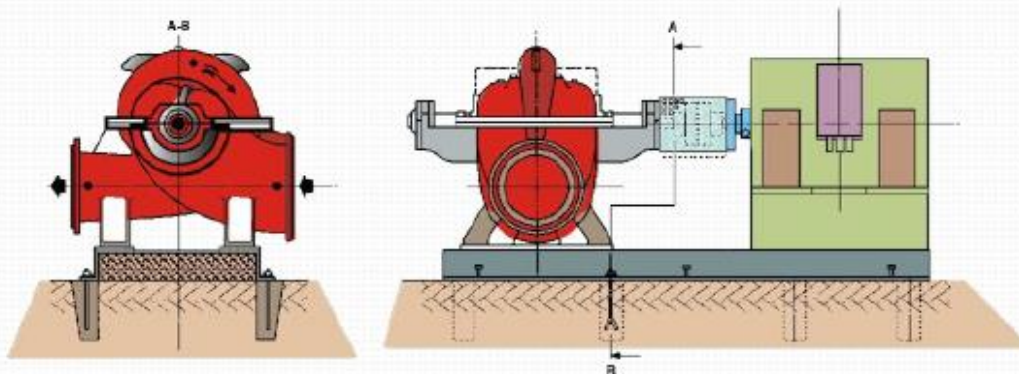
Bombas centrífugas: Instalação



Eixo horizontal de sucção simples



Eixo vertical prolongado



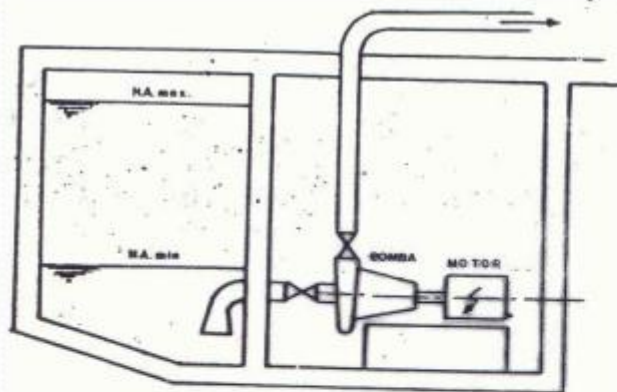
Bipartida sucção dupla (base única para bomba e motor)



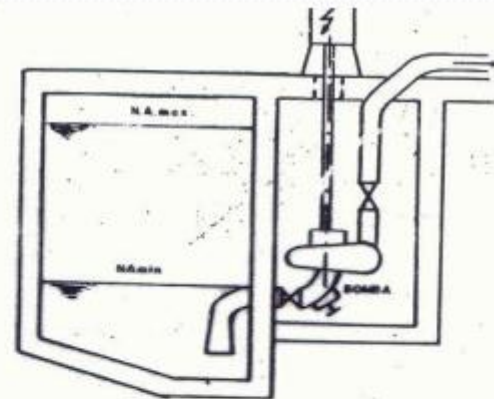
Bombas centrífugas utilizadas em EEE

- Devido aos sólidos em suspensão e vazões variáveis;
 - Rotores abertos;
 - Bombas afogadas/submersas ou auto-escorvantes (sem válvula de pé);
 - Eixo horizontal: afogadas ou auto-escorvantes;
 - Eixo vertical: afogadas (poço seco) ou submersas;
 - Automatização (partidas e paradas frequentes)

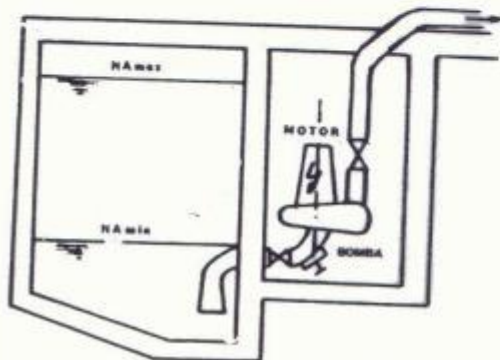
Elevatórias Convencionais de Poço Seco



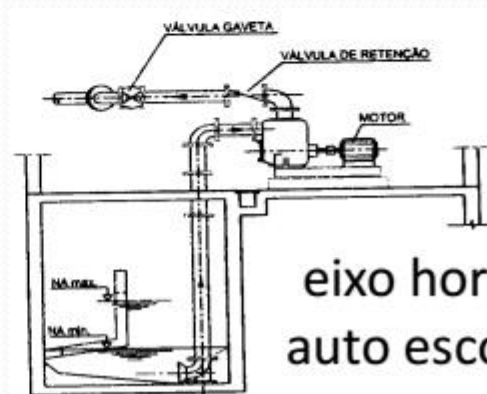
eixo horizontal



eixo vertical prolongado



eixo vertical

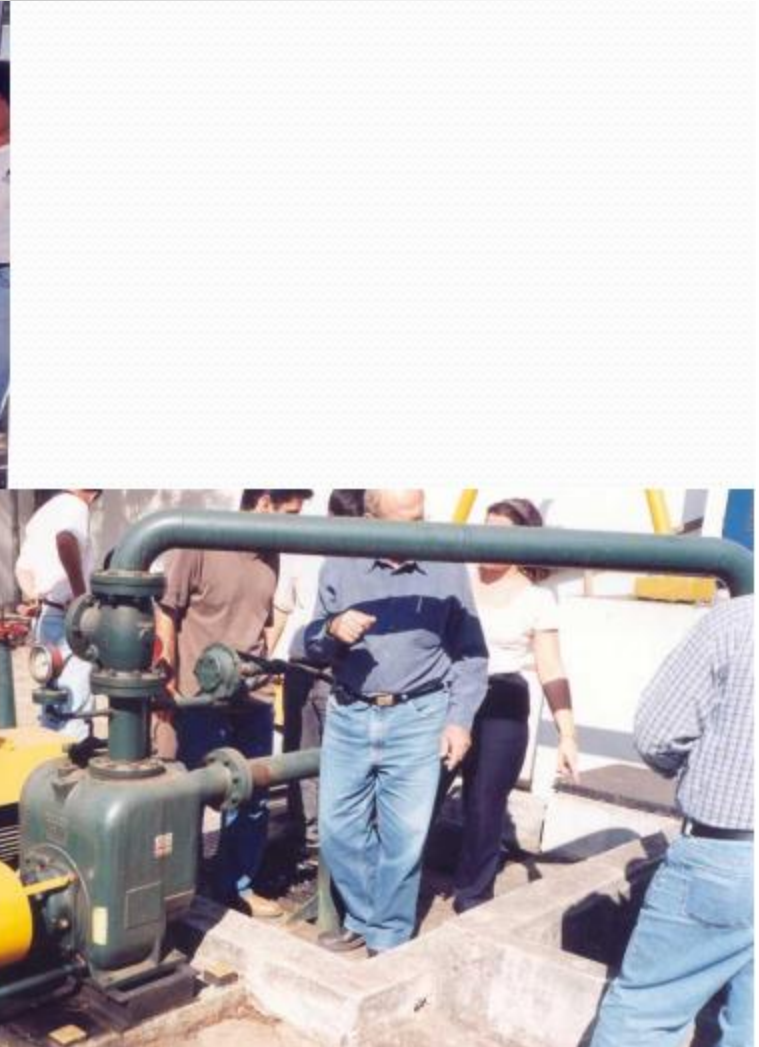


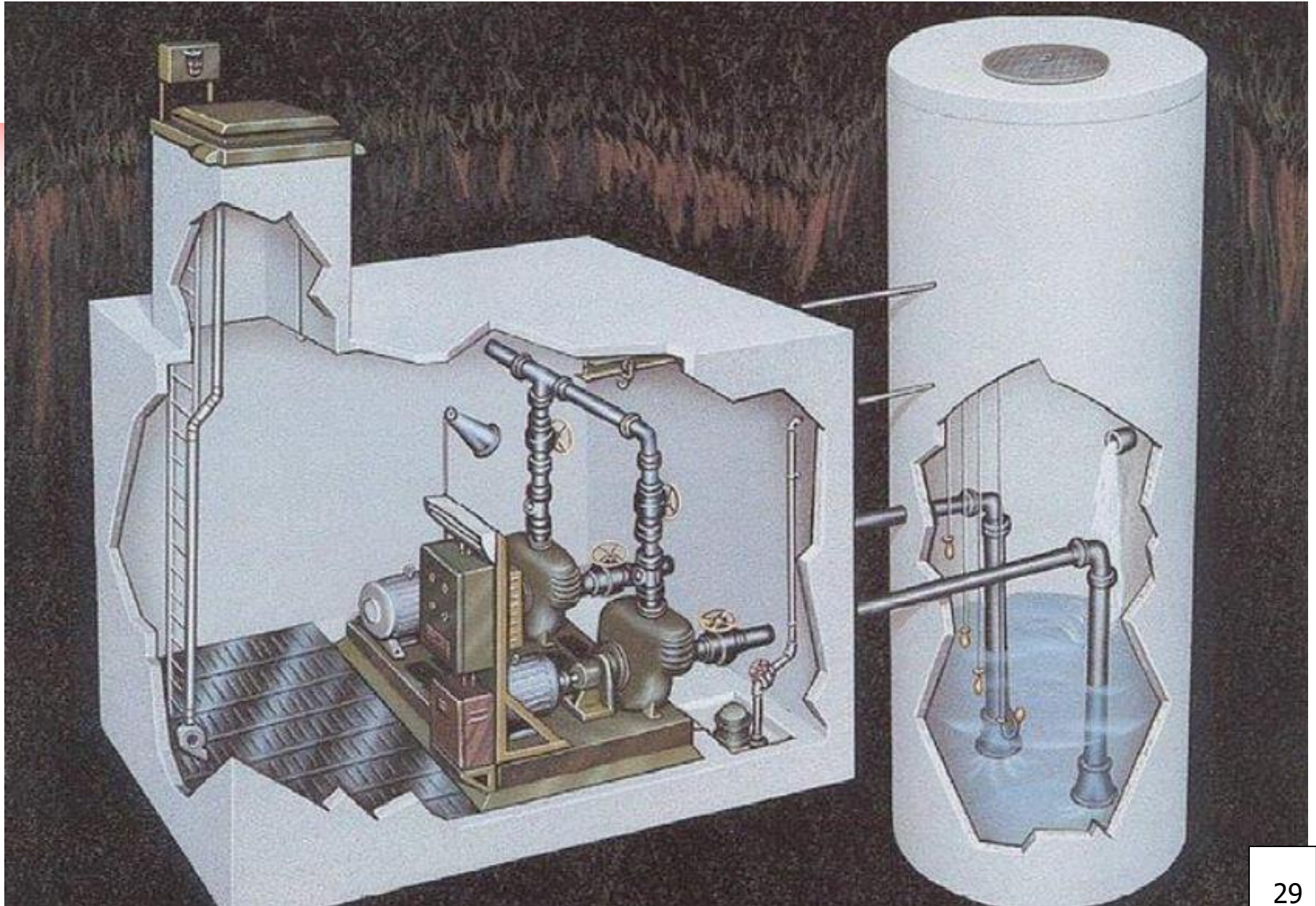
eixo horizontal,
auto escorvante

Exemplo com poço seco e eixo vertical

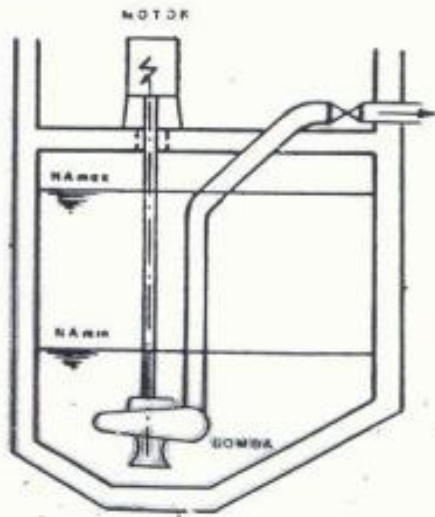


Exemplo com bomba auto- escorvante

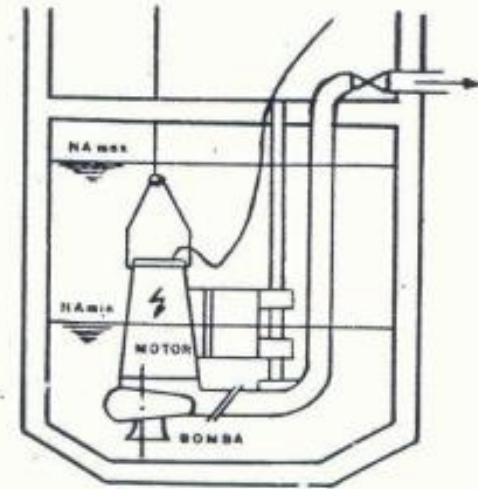




Elevatórias convencionais com poço úmido



eixo vertical prolongado,
bomba submersa

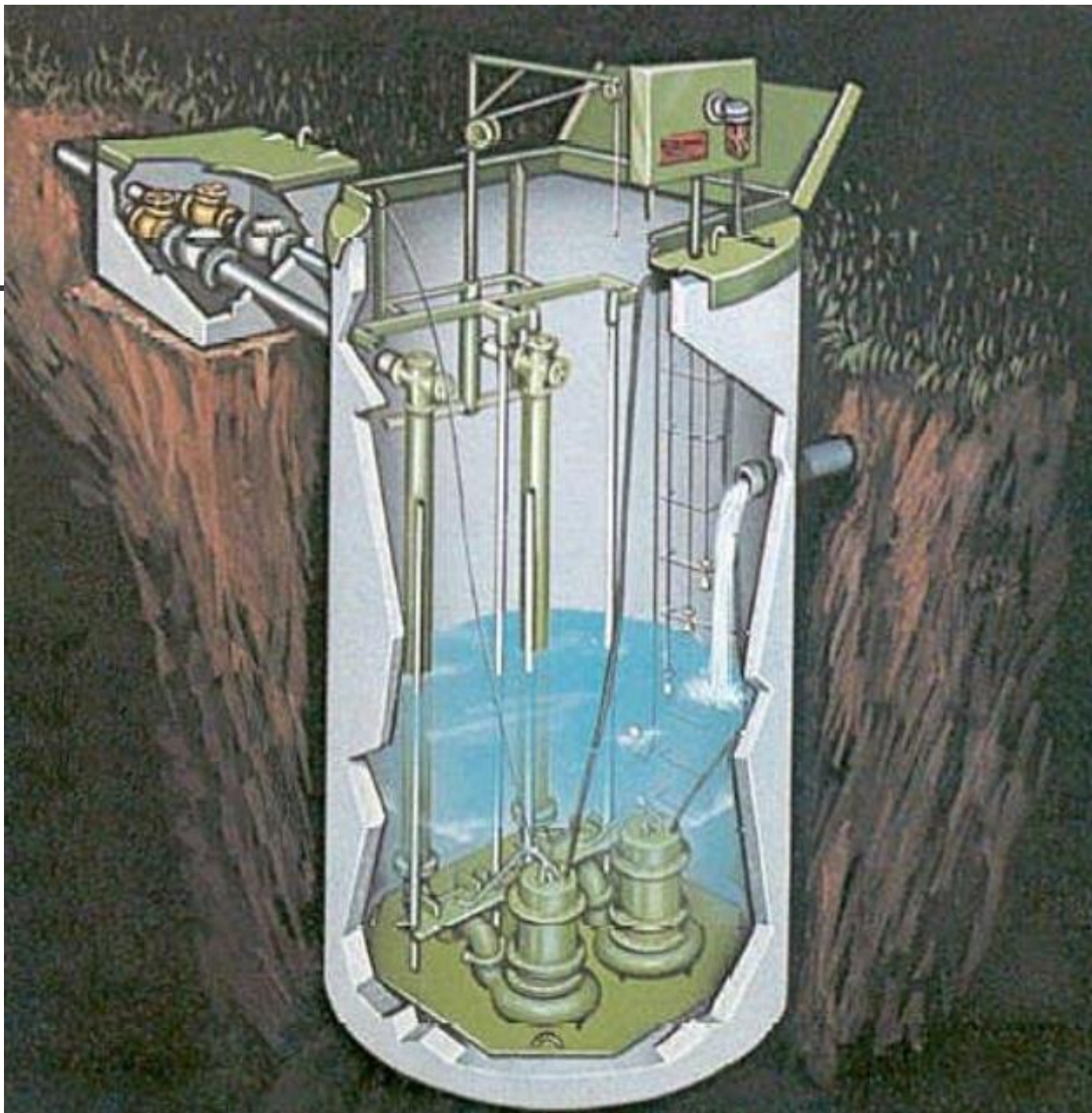


conjunto motor-bomba
submerso



**Poços de sucção
com bombas
submersíveis**





Conjunto motor-bomba submersível

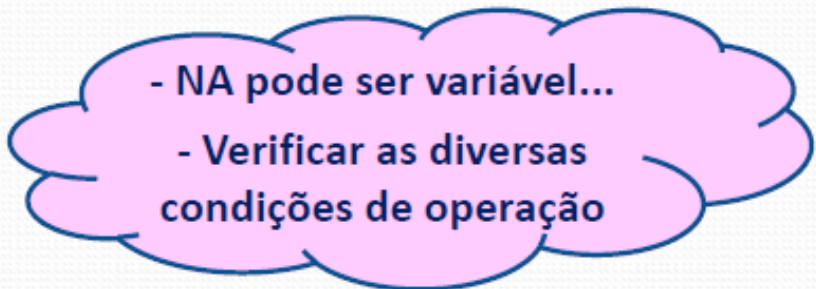




Seleção dos Conjuntos Motor-Bomba

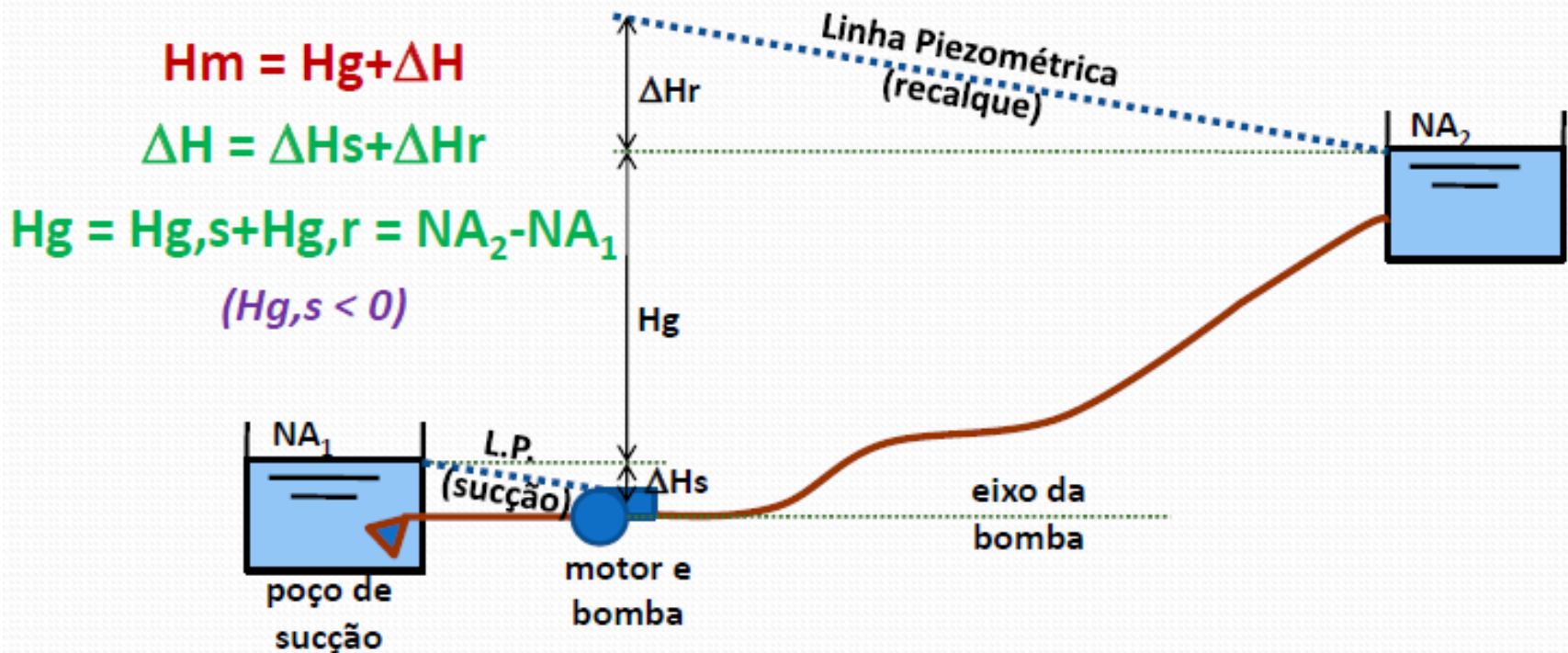
- Grandezas e curvas características das bomba e do sistema
 - Capacidade ou vazão de bombeamento;
 - Altura geométrica de sucção;
 - Altura geométrica de recalque;
 - Altura geométrica total;
 - Carga de velocidade ou carga cinética;
 - Altura manométrica total;
 - Potência fornecida pela bomba;
 - Eficiência ou rendimento da bomba.

Bomba horizontal não afogada



Esquema hidráulico

Bomba horizontal afogada

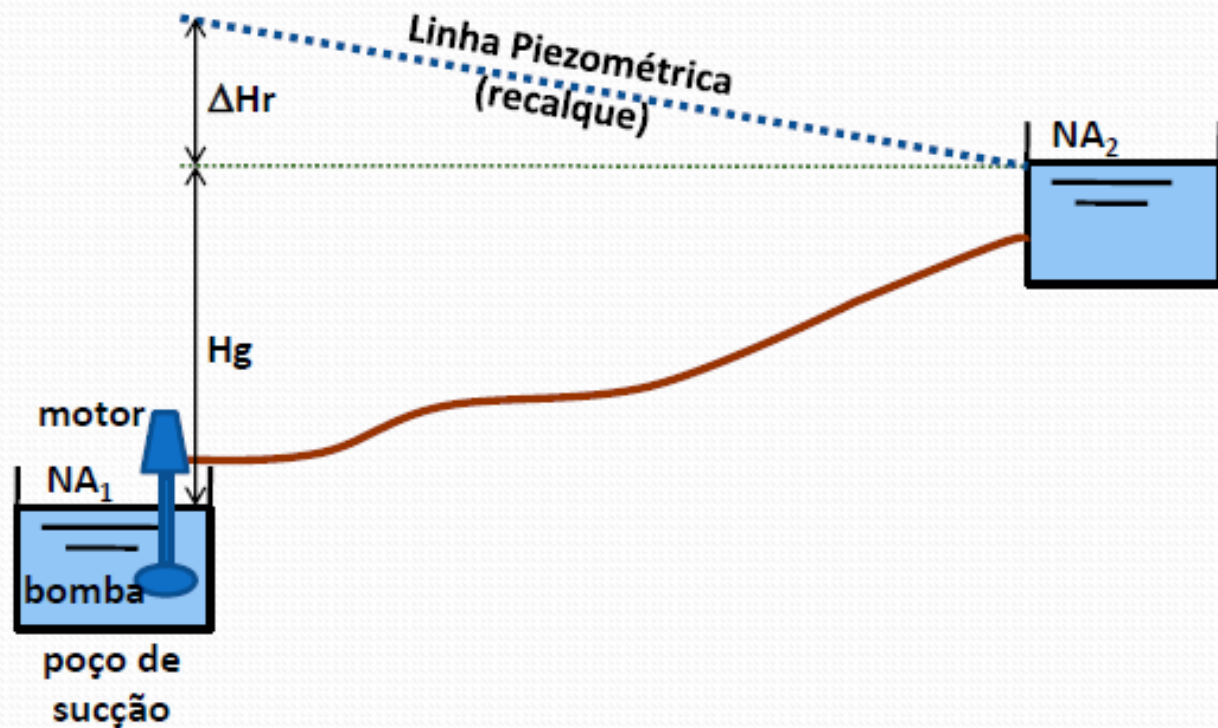


Esquema hidráulico

Bomba vertical afogada (e submersa)

$$H_m = H_g + \Delta H_r$$

$$H_g = NA_2 - NA_1$$

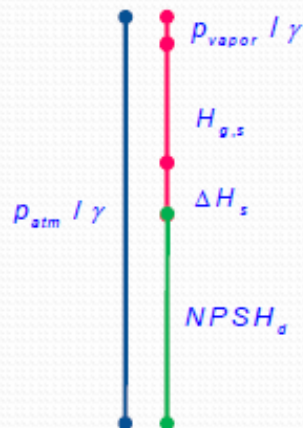


Cavitação x NPSH

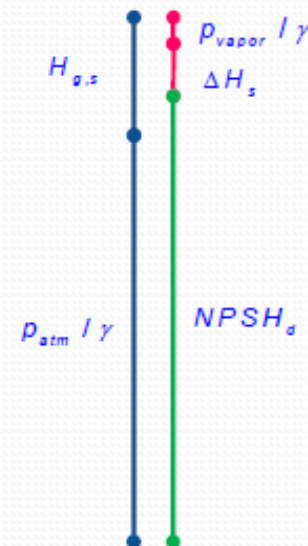
- Carga de sucção positiva disponível (m):

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

bomba não afogada ($H_{g,s} > 0$)



bomba afogada ($H_{g,s} < 0$)

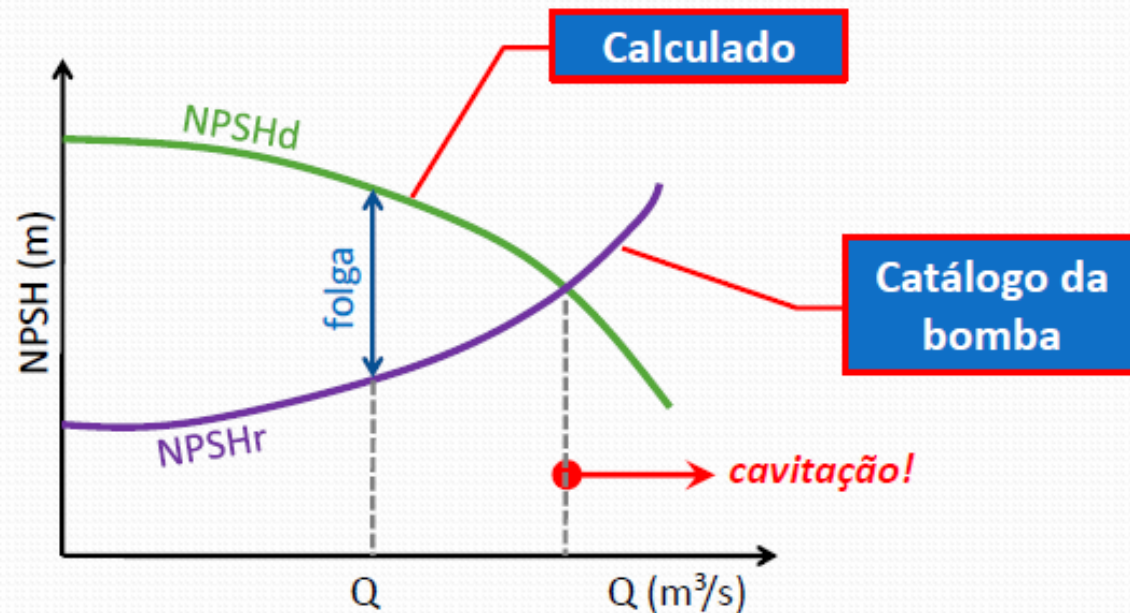


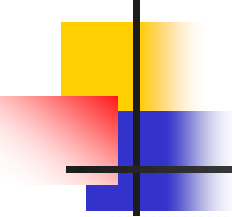
Cavitação x NPSH

- Condição para funcionamento da bomba sem cavitação

$$NPSH_d \geq NPSH_r$$

- folga mínima: 0,5 m ou 20% (melhor acima de 1,5 m ou 35%)





Cavitação x NPSH

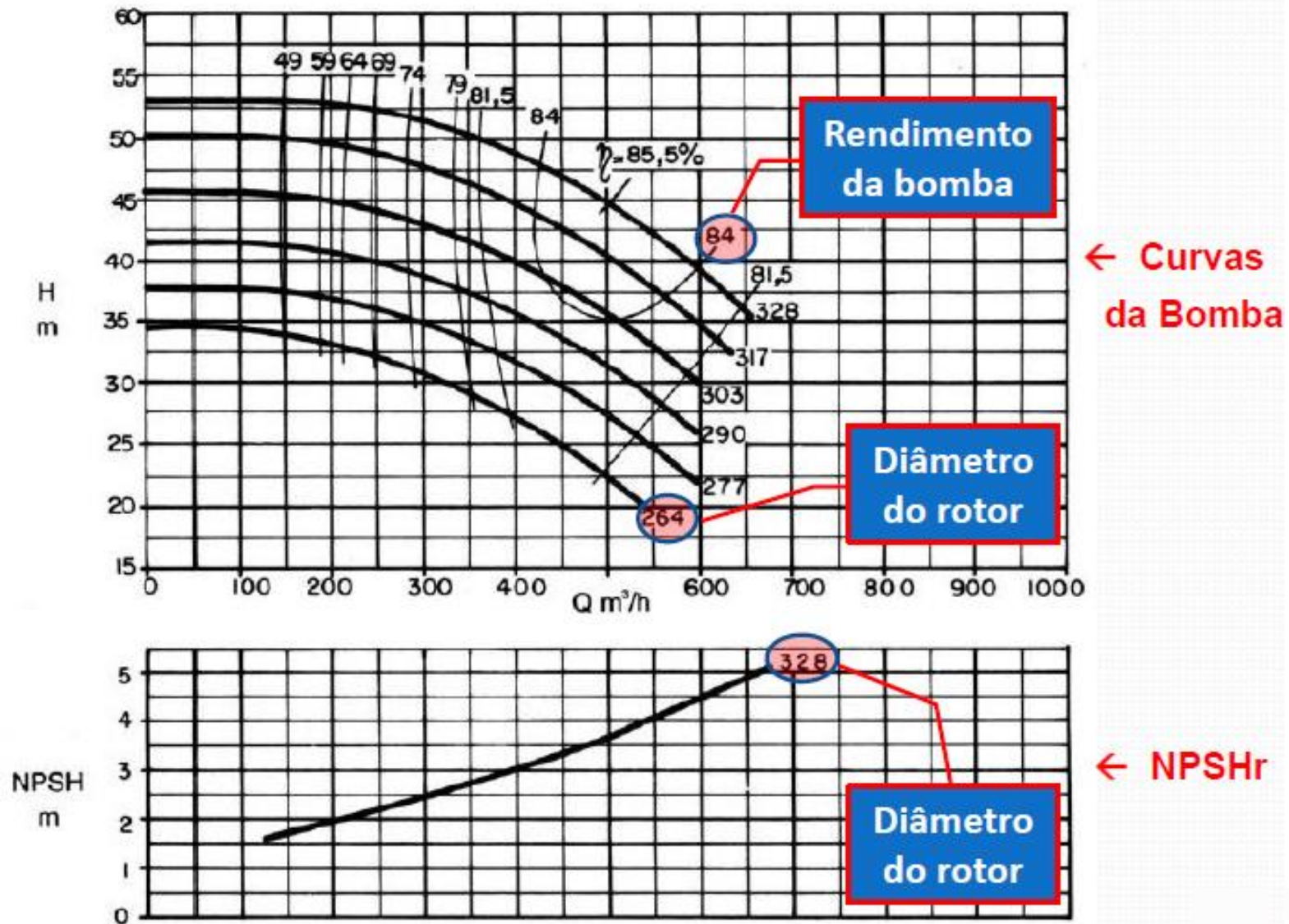
Pressão de vapor da água em função da temperatura

T (°C)	Pv/γ (m H ₂ O)	Observações
0	0,062	T = temperatura Pv/γ = altura equivalente de coluna de água
2	0,072	
4	0,083	
6	0,095	
8	0,109	
10	0,125	
15	0,174	
20	0,238	
25	0,323	
30	0,433	
40	0,752	
50	1,258	
60	2,031	
80	4,827	
100	10,332	

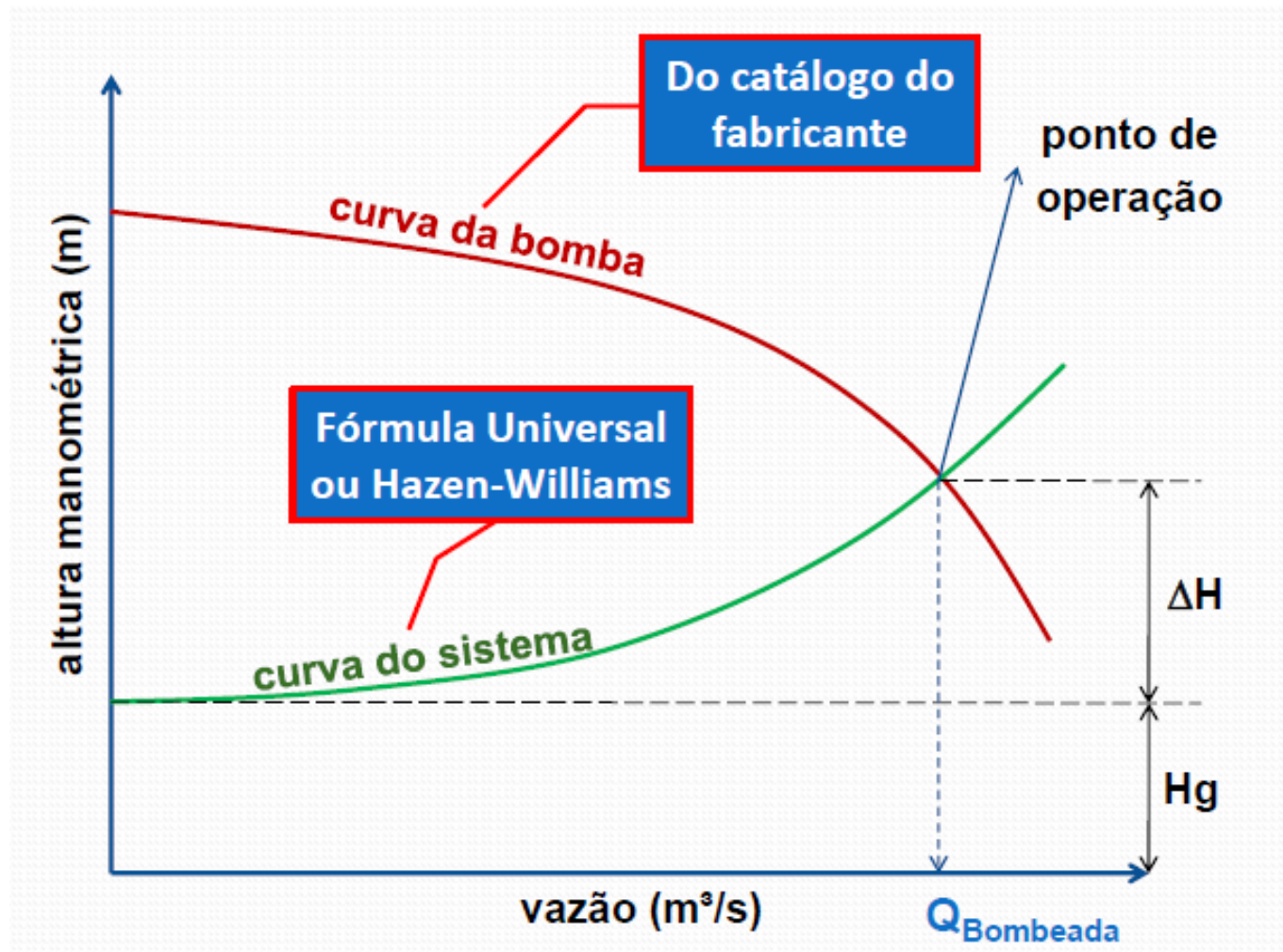
Pressão atmosférica em função da altitude

h (m)	Patm/γ (m H ₂ O)	Observações
0	10,33	h = altitude Patm/γ = altura de coluna de água equivalente a pressão atmosférica
300	9,96	
600	9,59	
900	9,22	
1200	8,88	
1500	8,54	
1800	8,20	
2100	7,89	
2400	7,58	
2700	7,31	
3000	7,03	

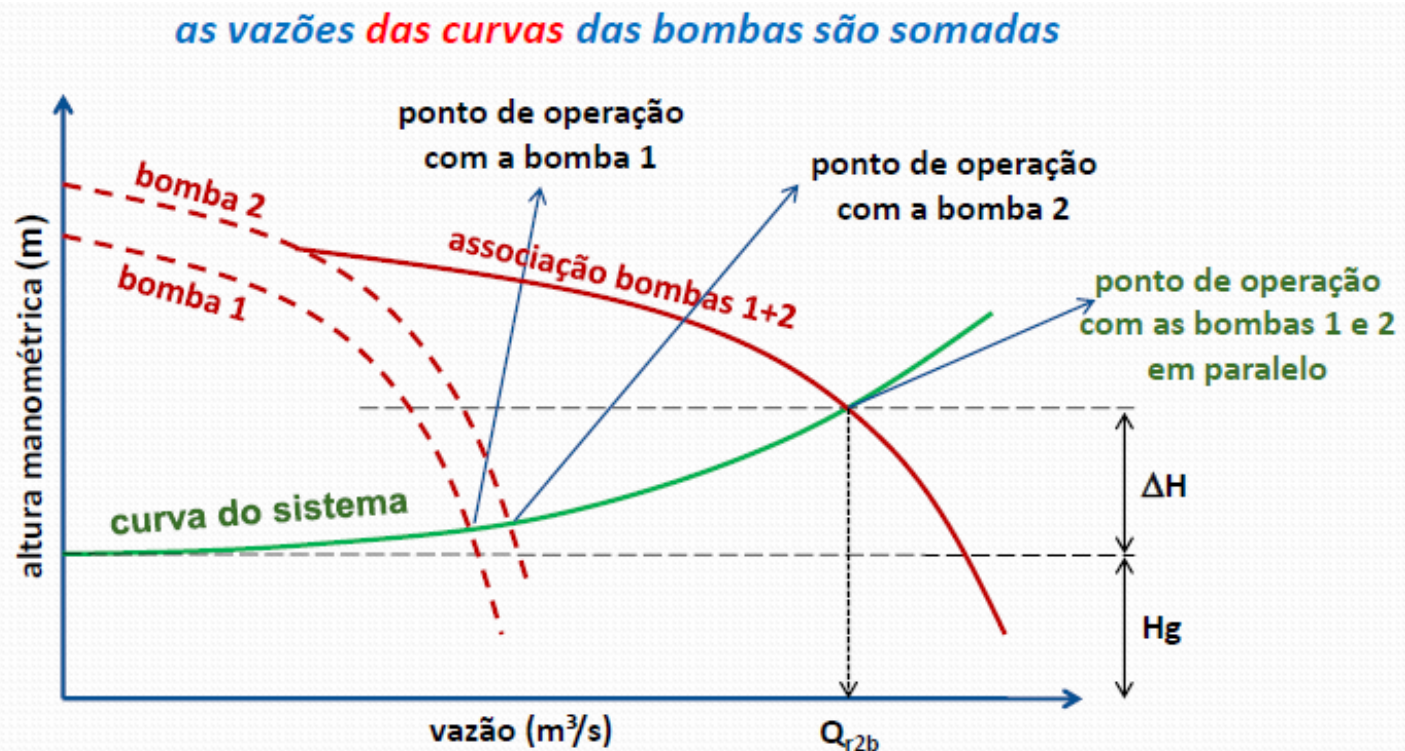
Curva característica – Exemplo



Curvas características do sistema elevatório

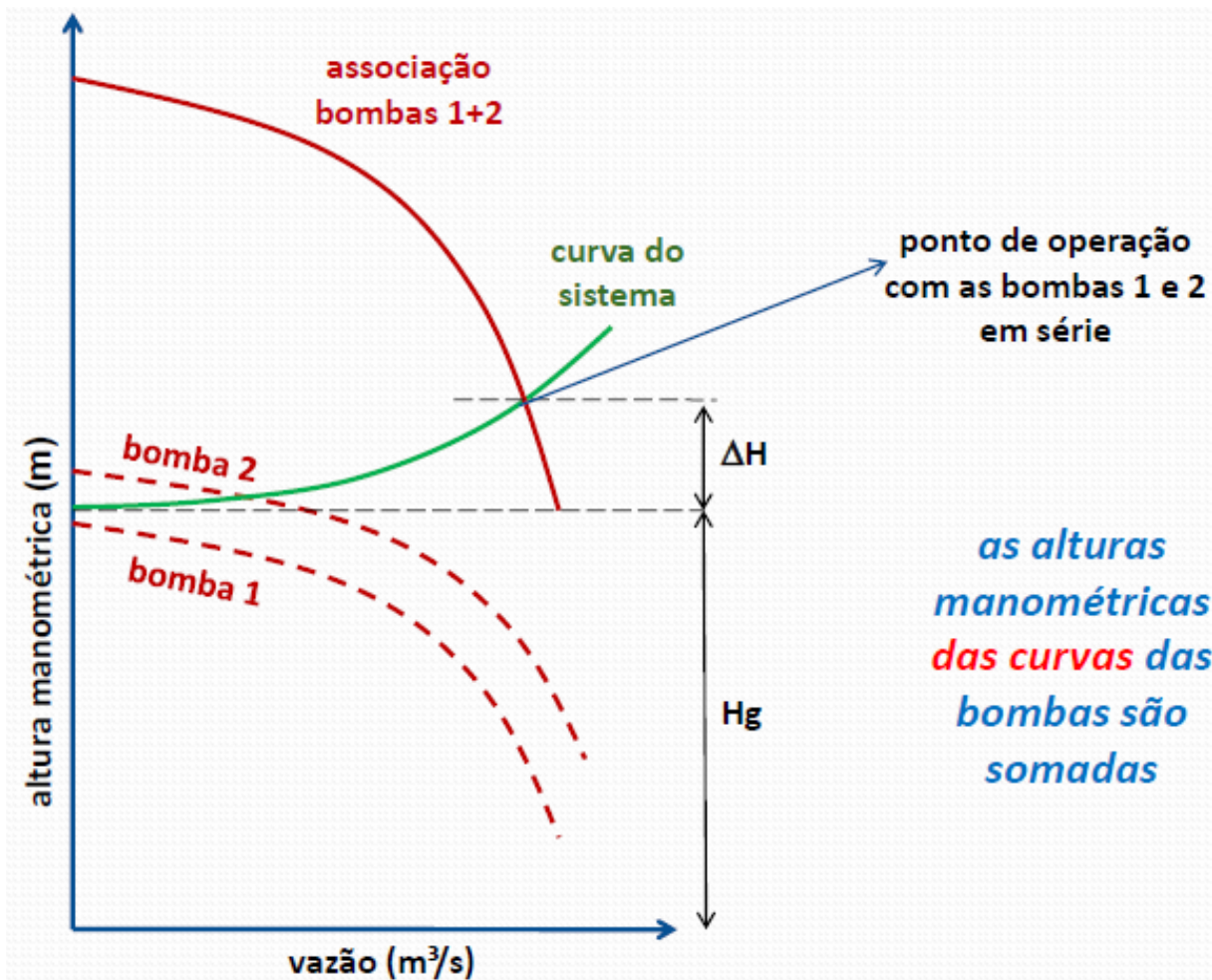


Bombas em paralelo



o novo ponto de operação **não** corresponde à soma das vazões que ocorreriam com cada bomba operando individualmente → aumenta a perda de carga e a altura manométrica!

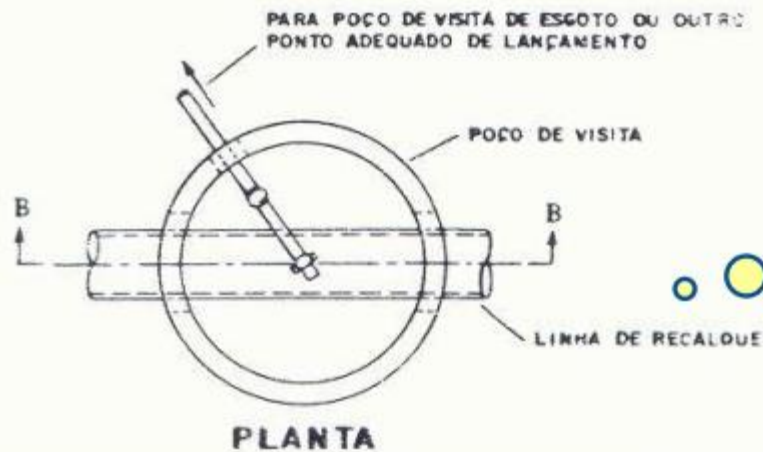
Bombas em série



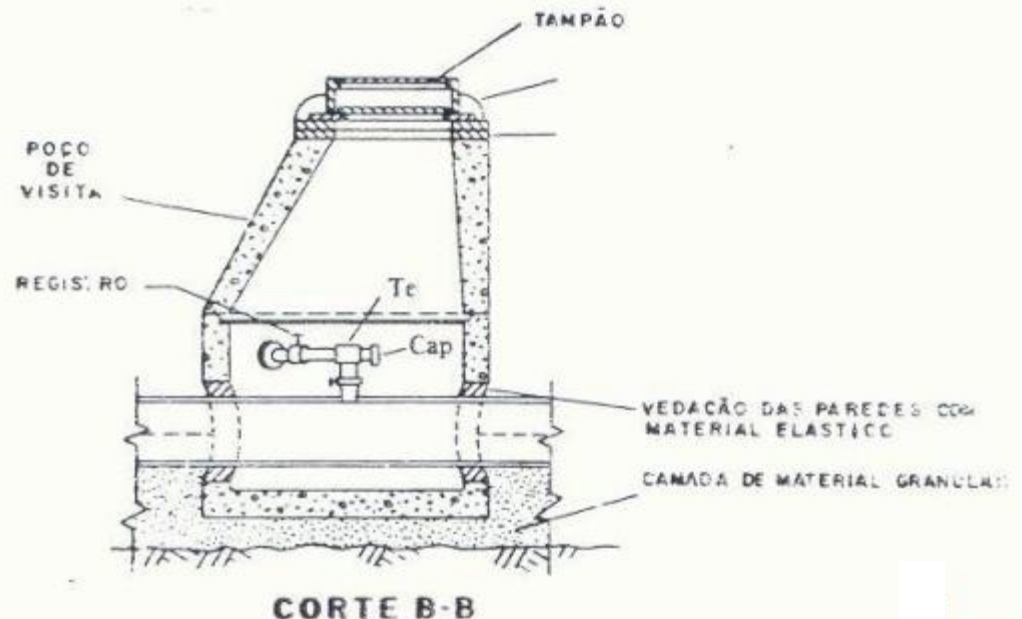
Tubulações de sucção e recalque

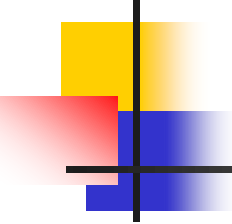
- Limites de velocidade normalmente considerados:
 - Sucção: 0,60 – 1,50 m/s (**um diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro de recalque**);
 - Barrilete: 0,60 – 3,00 m/s (**usar peças metálicas**);
 - Recalque: 0,60 – 3,00 m/s (**Ø min = 100 mm**).
- Como nas adutoras, o dimensionamento é feito em conjunto com o bombeamento, o diâmetro do recalque é **hidraulicamente indeterminado**, deve-se considerar o **mínimo custo**
 - Aquisição e assentamento dos tubos e peças, motor-bomba, operação, manutenção e consumo de energia, amortização e juros.
- Proteção contra transientes;
- Respiros (pontos altos) e descarga de fundo (pontos baixos).

Dispositivos para remoção de ar (pontos altos)



(~~ventosas~~ x esgoto):
evitar pontos altos no
traçado, remover ar
hidraulicamente ou...



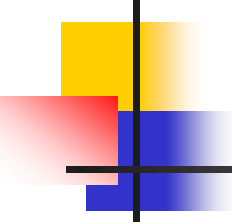


Descarga de fundo (pontos baixos)

- As descargas de fundo devem garantir o total esgotamento da linha de recalque;
- Devem ser executadas em caixa de material totalmente estanque (normalmente, concreto) com rebaixo para posicionamento da tubulação de sucção;
- O esgoto retirado pela descarga de fundo deve ser totalmente recolhido por um caminhão tipo limpa-fossa para posterior lançamento na ETE.

Materiais nas tubulações de recalque

Material da tubulação	Diâmetros usuais (mm)	Tipo de junta	Observações
FD - Ferro fundido dúctil	100-1200	Junta elástica	Revestimento interno com cimento e externo com esmalte betuminoso.
PE - Polietileno	110-1600	Solda termoplástica	Leve, flexível, altamente resistente a produtos químicos e a abrasão
PVC	100-300	Junta elástica	Resistente a produtos químicos.
PRFV - Poliéster reforçado com fibra de vidro	100-2500	Junta elástica	Altamente resistente a temperatura elevadas e produtos químicos sendo função da resina utilizada.
Concreto protendido	400-2500	Junta elástica	Pode ser sensível à deterioração em solos agressivos úmidos.
Aço	Acima de 600	Soldada	Deve ser revestido com material betuminoso ou argamassa de cimento e protegido externamente contra corrosão.



Localização das elevatórias

- Aspectos a serem considerados:
 - Terreno (dimensões, custo, desapropriação, vizinhança);
 - Topografia, tipo de solo, nível do lençol freático, rochas, etc.;
 - Estabilidade do terreno (taludes naturais e construídos, etc.);
 - Disponibilidade de energia elétrica;
 - Fácil acesso;
 - Desnível geométrico;
 - Influência das condições ambientais (alagamento, erosão, etc.);
 - Padronizações (consultar companhias de saneamento);
 - Etc.

Dimensionamento do poço de sucção

- Evitar vórtices (manter submergência mínima);
- Espaço com folga para posicionamento de bombas, tubulações, etc.;
- O volume deve ser o menor possível para não resultar tempo elevado de detenção de esgoto ($TDH \leq 30$ min – vazão média no início de plano ou etapa), **função do volume efetivo** (entre o fundo do poço e o nível médio de operação);
- Menor o volume, mais frequentes são as partidas e paradas das bombas (vazão máxima no final de plano ou etapa), devendo ser respeitado o tempo de ciclo mínimo (evitar superaquecimento dos motores), **função do volume útil**,
- Deve-se dimensionar o volume útil (entre NA_{min} e NA_{max} para operação normal de bombas).

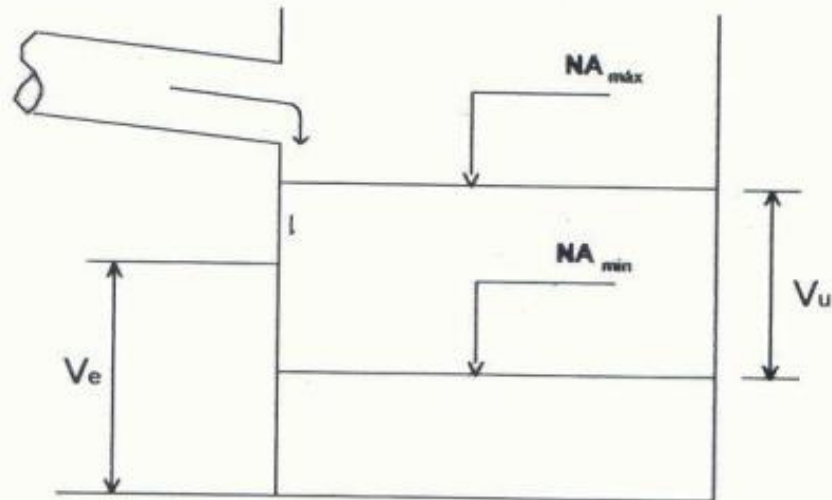
Dimensionamento do poço de sucção

- Bombas:

- Rotação Constante
- Rotação Variável (com inversor de frequência)

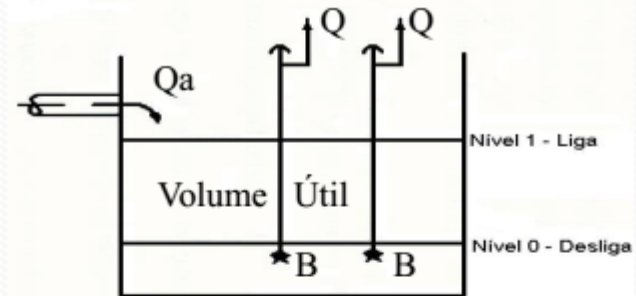
- Poço de sucção:

- Volume útil (V_u)
 - Entre $N_{\min.}$ e $N_{\max.}$
- Volume Efetivo (V_e)
 - Entre N_{Fundo} e $N_{\text{méd.}}$



Com duas bombas de rotação constante

- Q = capacidade da bomba [m^3/s]
- Q_a = vazão afluente ao poço [m^3/s]
 - $Q_a = Q$, bomba permanece ligada
 - $Q_a = 0$, bomba permanece desligada
 - $Q_a = Q/2$ resulta intervalo mínimo entre partidas...



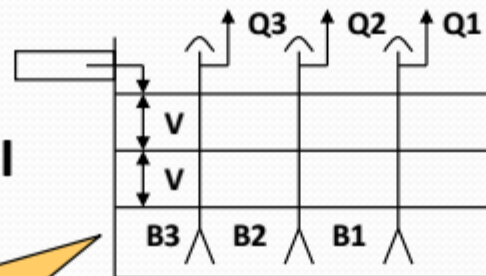
- T = tempo de ciclo [s] (Intervalo de tempo entre duas partidas sucessivas de uma bomba → depende da potência do motor da bomba)

Potência	Tempo de ciclo (T)
até 20 Hp	10 min
20 a 100 Hp	15 min
100 a 250 Hp	20 a 25 min
> 250 Hp	Consulta aos fabricantes

consultar sempre...

Com três bombas de rotação constante

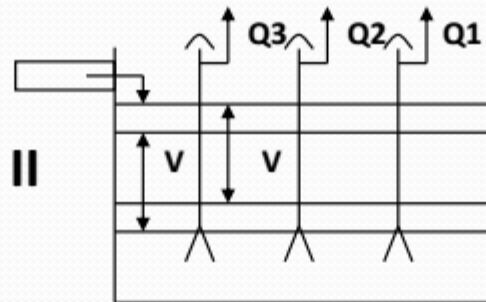
a) Sequência I



Nível 2 - Liga B2
Nível 1 - Liga B1 = Desliga B2
Nível 0 - Desliga B1

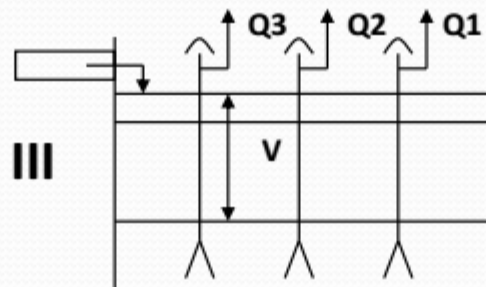
B3 = Bomba Reserva!
OBS: A Bomba reserva se alterna a cada ciclo.

b) Sequência II



Nível 3 - Liga B2
Nível 1 - Liga B1
Nível 2 - Desliga B2
Nível 0 - Desliga B1

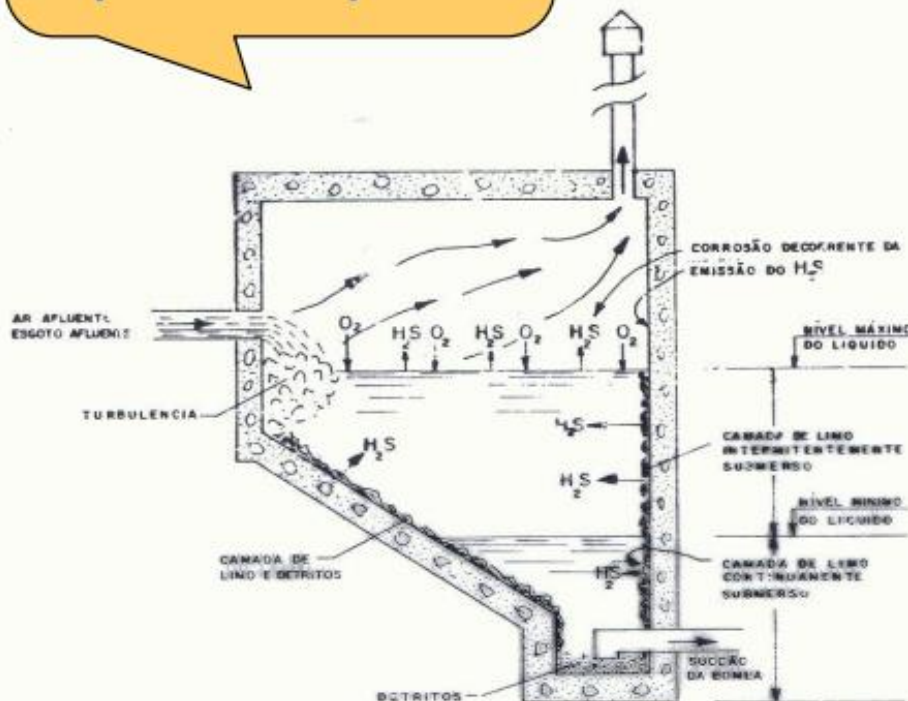
c) Sequência III



Nível 2 - Liga B2
Nível 1 - Liga B1
Nível 0 - Desliga B1 e B2

Sulfetos em Poço de Sucção das EEE

*tempo de detenção
máximo de 30 min para
vazão média de início
de plano ou etapa*



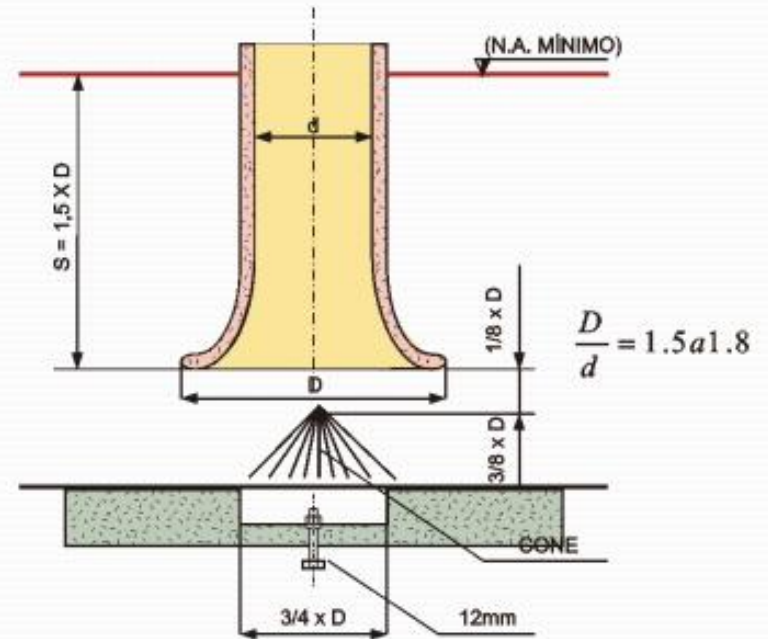
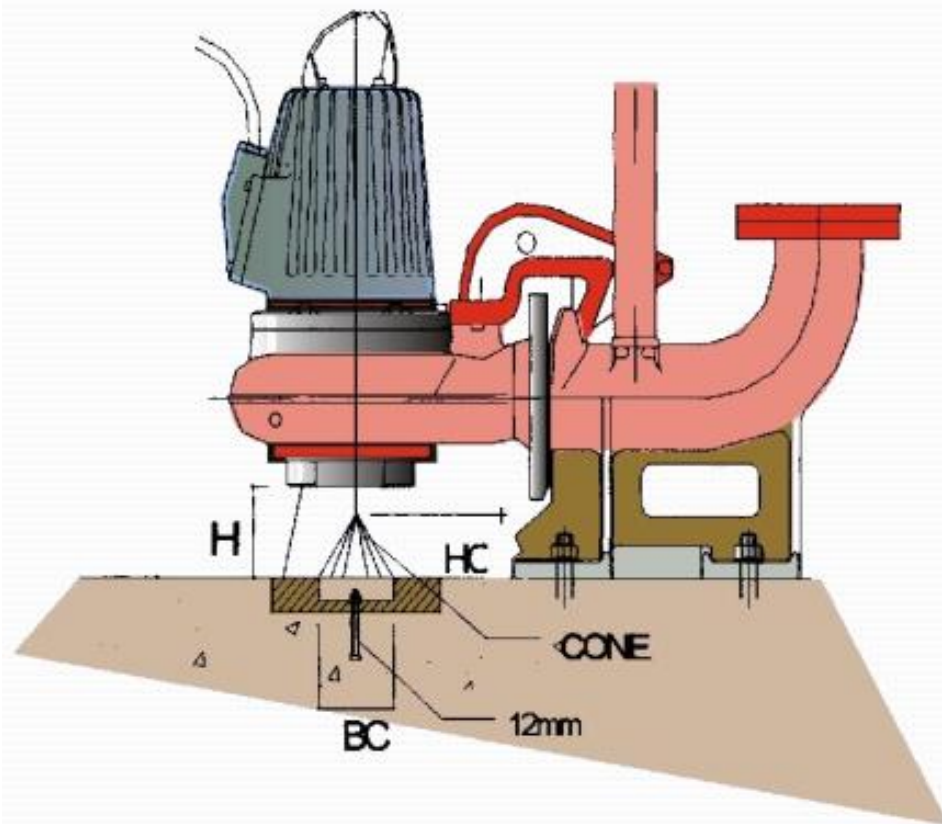
Controle de Sulfetos:

- ✓ Oxigênio
- ✓ Nitrato de amônio

*dosagem média de nitrato:
12,5 mg/l (elevatórias de
Santos)*

atualmente (\$): H_2O_2

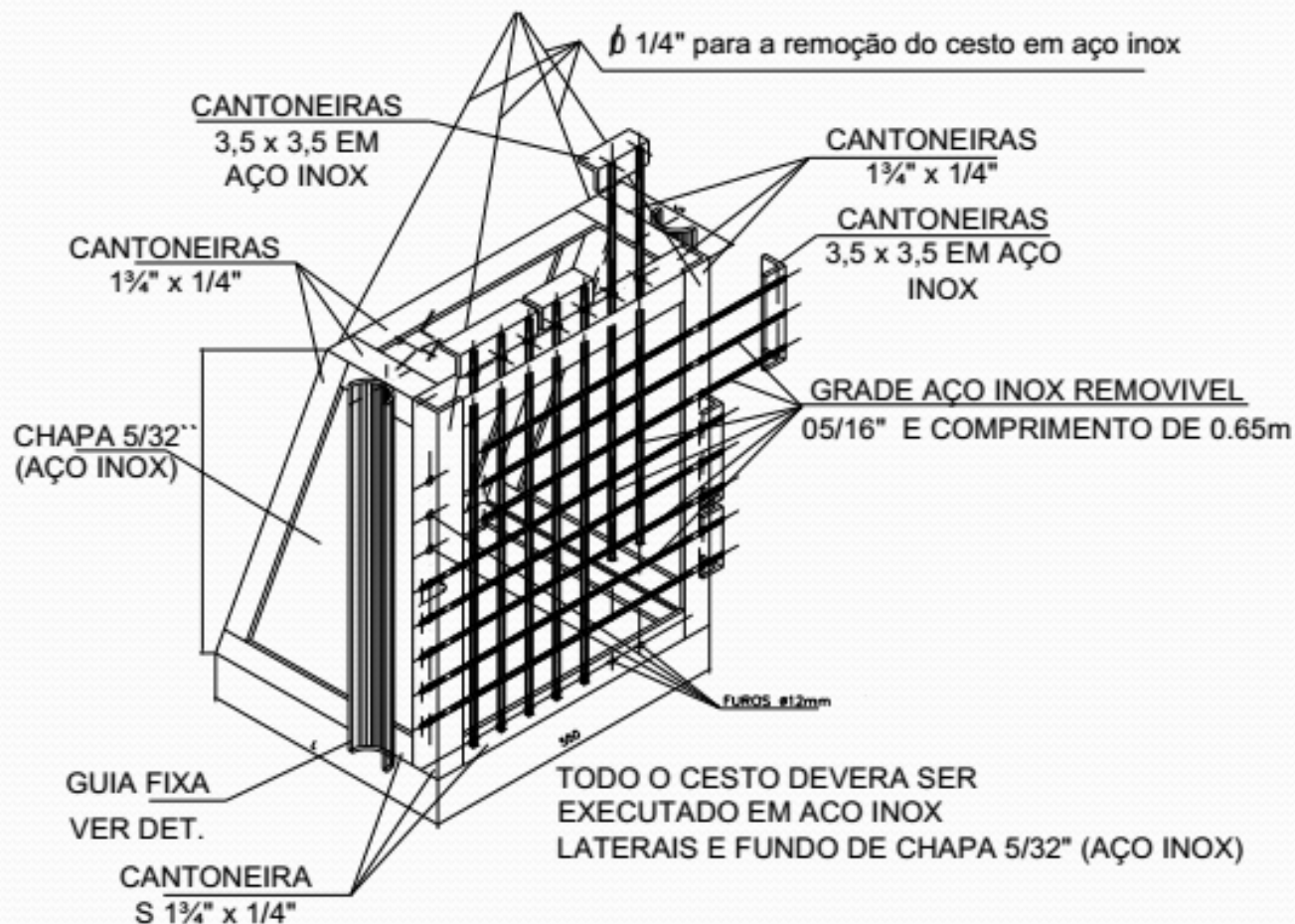
Cone anti-vórtice para EEE



Retenção de sólidos afluentes à EEE

- Objetivo: Proteção dos conjuntos motor-bomba e tratamento preliminar do esgoto;
- Dispositivos ou equipamentos para remoção de sólidos:
 - Grade de barras, limpeza manual ou mecânica;
 - Cesto;
 - Triturador;
 - Peneira.
- Soluções de emergência na EEE:
 - Gerador de emergência;
 - Tanque pulmão (consultar órgãos ambientais para tempos de detenção, normalmente $TDH \geq 2,0$ h);
 - Extravasor por gravidade (consultar órgãos ambientais).

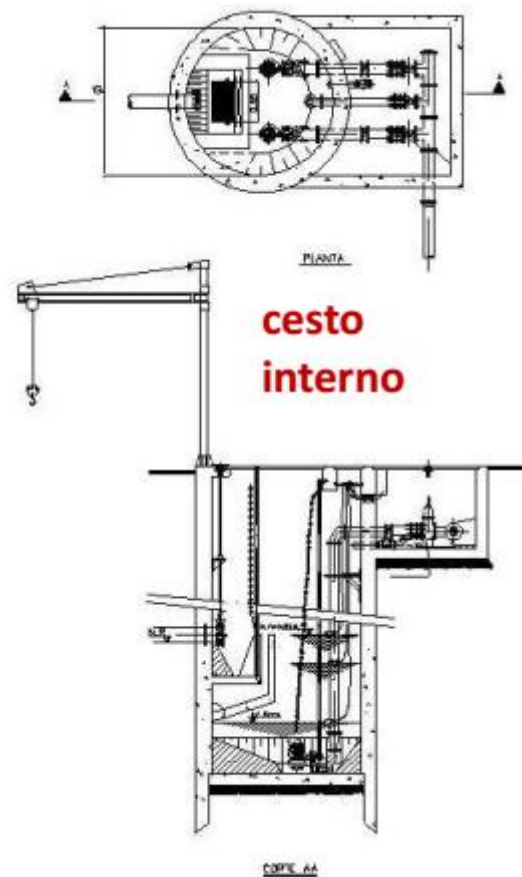
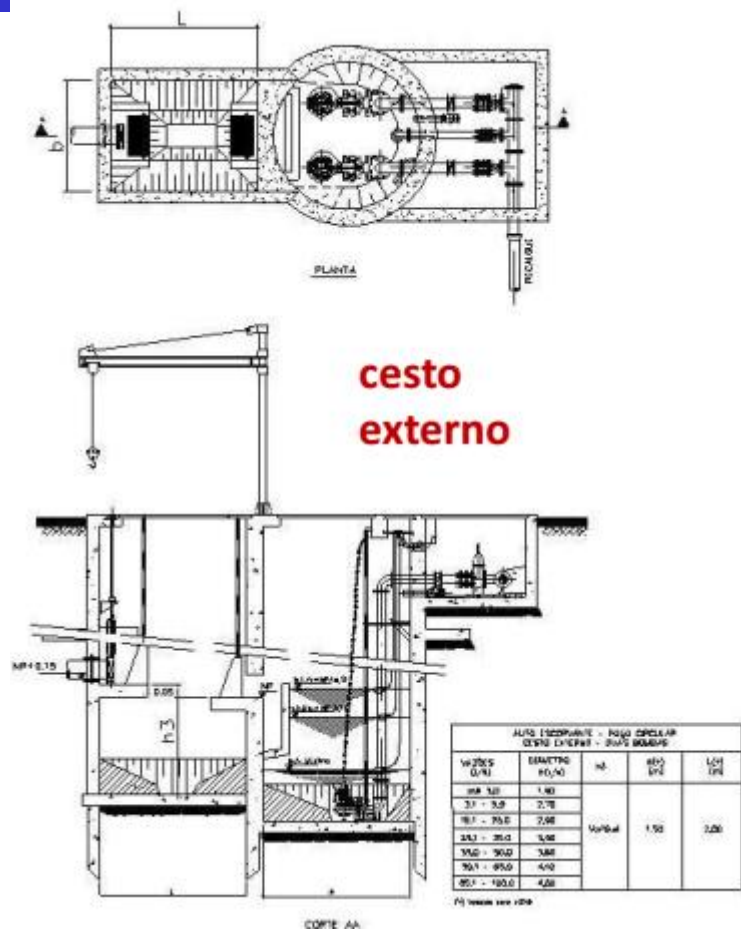
Cesto para elevatória de esgoto



Cesto para elevatória de esgoto



Cesto em poço circular com bomba submersível

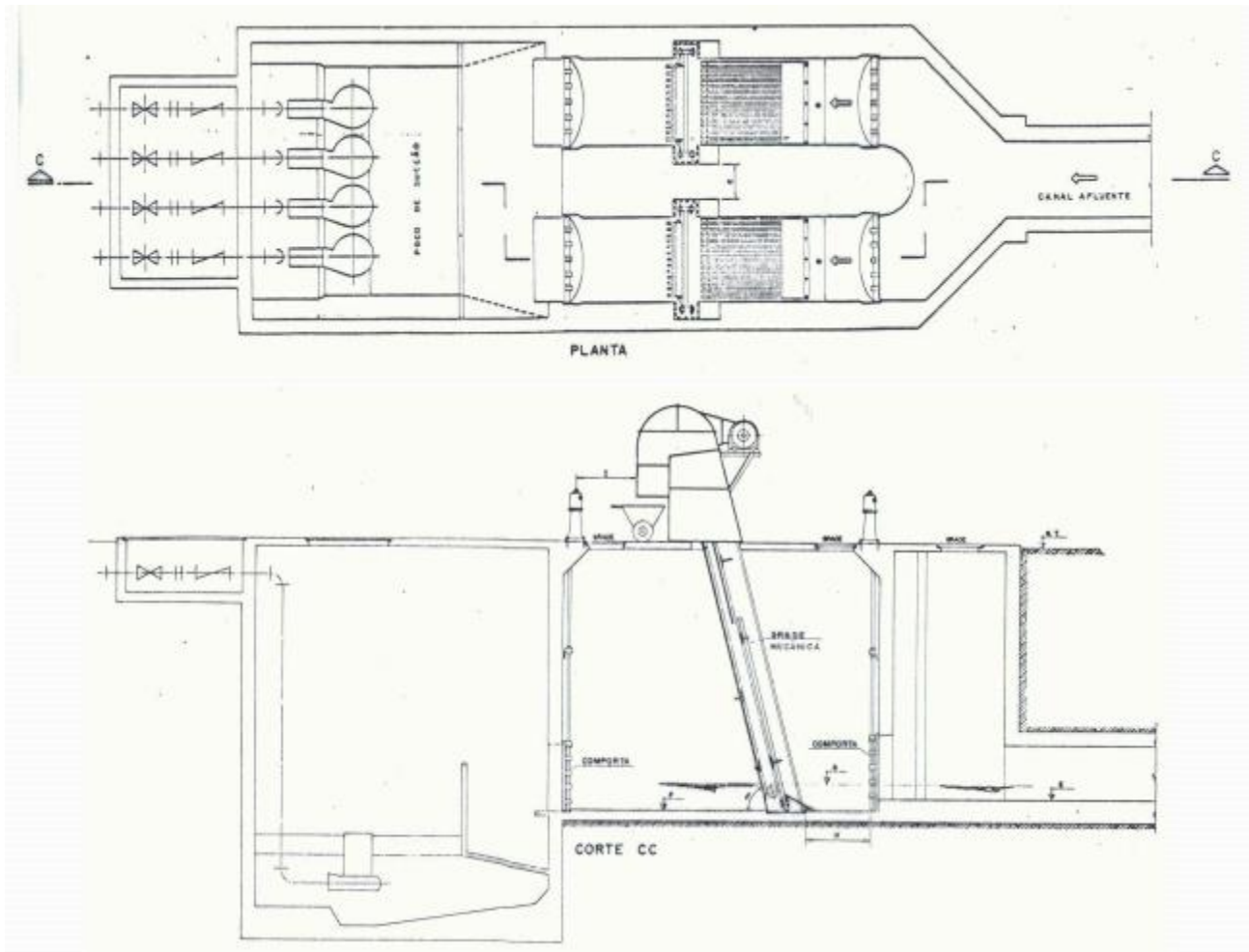


Poço com cesto e bomba submersível



EEE Samello 5 - poço de sucção e cesto

Grade mecanizada



Exemplo de grade mecanizada

Variedade de Tipos

A grade mecânica de barras Esmil compreende uma grade fixa e um mecanismo de arraste.

Grades deste tipo, que permitem remoção de sólidos da superfície da água, são disponíveis para larguras de canal de 0,8 a 5 m e profundidades de 0,6 a 15 m. O mecanismo de arraste é determinado pelas dimensões do canal e natureza dos sólidos a remover.

Aços de Alta Liga

A grade mecânica de barras Esmil é fabricada com aços de alta liga que asseguram longa vida útil. A grade é fabricada opcionalmente em aço inoxidável galvanizado por subersão a quente. As partes móveis podem também ser fornecidas em aço inoxidável.

A grade mecânica de barras pode ser utilizada em:

- ✓ Entradas de água de resfriamento
- ✓ Estações de bombeamento
- ✓ Instalações de tratamento de esgotos



Calha Parshall e Caixa de areia



EEE Pinhais

Grade Mecanizada

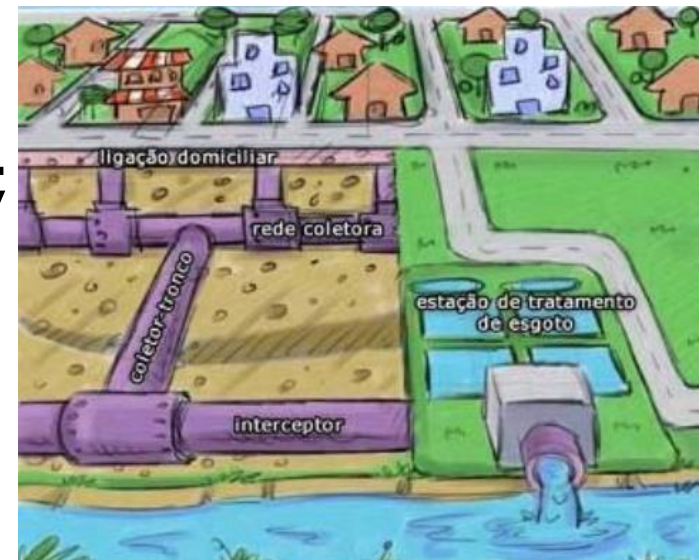




INTERCEPTORES

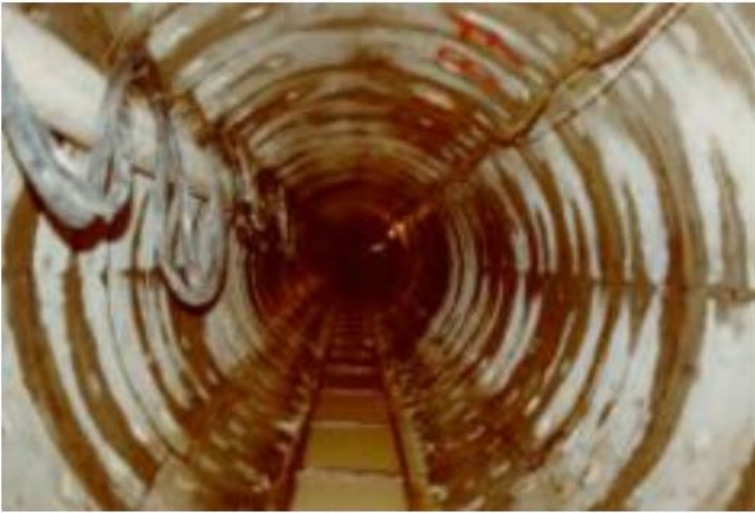
Interceptores de esgoto sanitário

- Recebem coletores ao longo do comprimento;
- Não recebem ligações prediais diretas;
- Localização: geralmente perto de cursos d'água ou lagos;
- Pequeno diâmetro: dimensionamento como rede coletora;



Definição (NBR 12207/1992): Canalização cuja função precípua é receber e transportar o esgoto coletado, caracterizada pela **defasagem das contribuições**, da qual resulta no **amortecimento de vazões máximas**.

Interceptores de esgoto sanitário

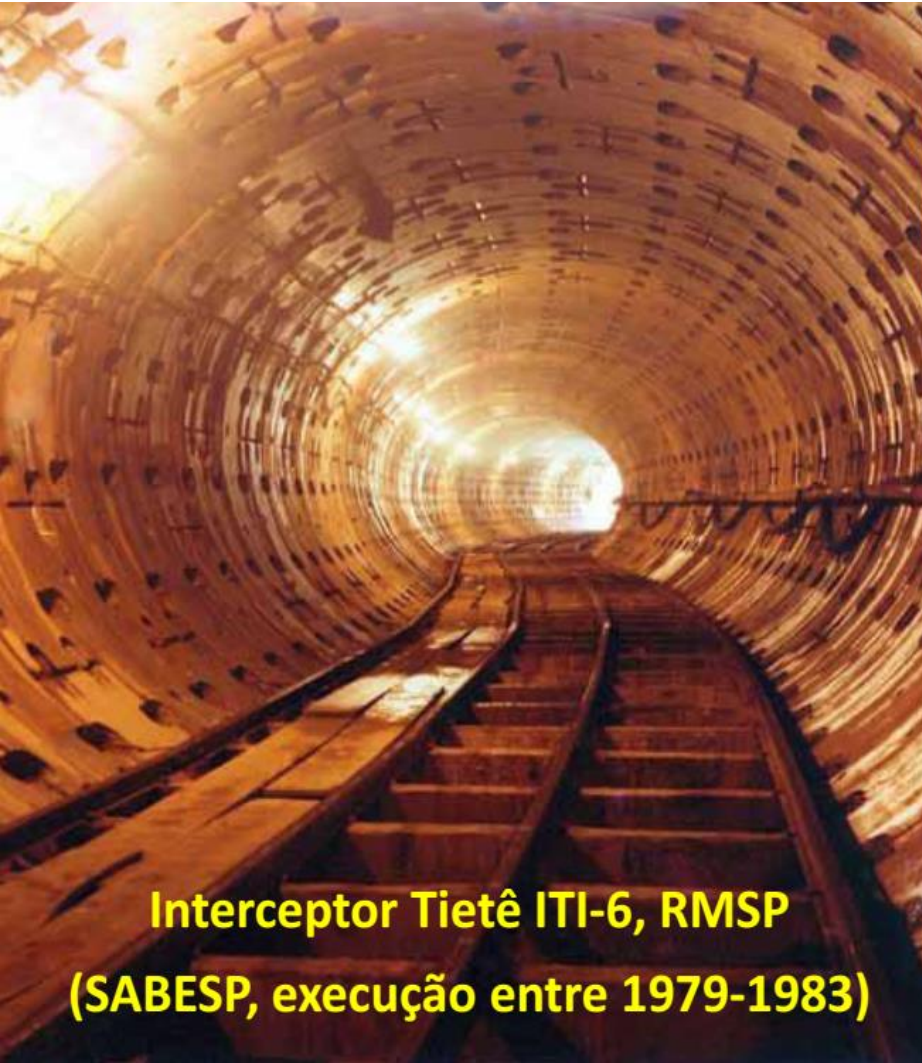


Interceptor do rio Tamanduateí, em São Paulo. Vazão $7,77 \text{ m}^3/\text{s}$, extensão 6 km, diâmetro de 0,60 a 2,00 m. Executado em túnel "shield". (SABESP)

Execução de coletor tronco
(não é interceptor!) com
método não destrutivo
(SABESP)



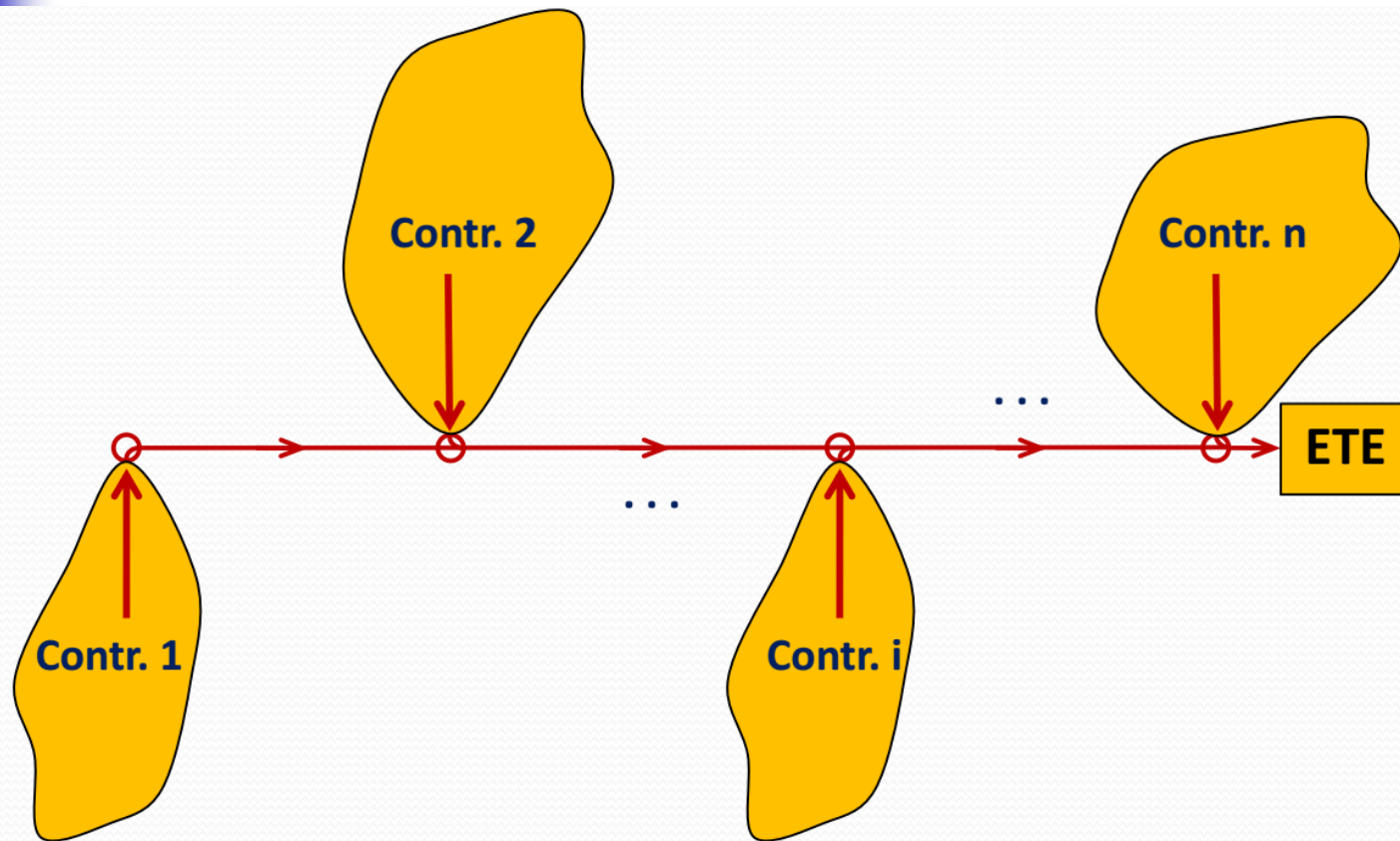
Interceptores de Esgoto Sanitário



**Interceptor Tietê ITI-6, RMSP
(SABESP, execução entre 1979-1983)**



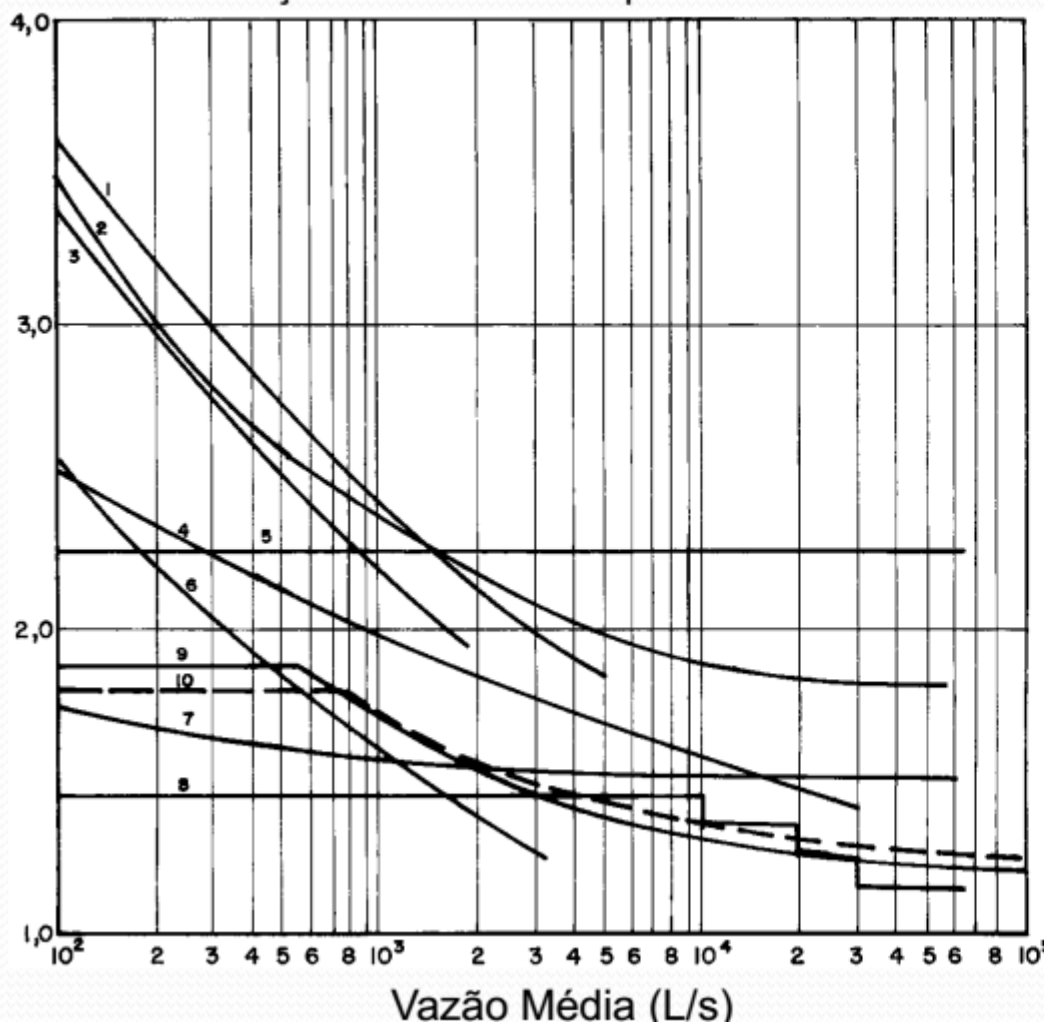
Defasagem das contribuições



Amortecimento das vazões máximas que se somam com defasagem entre seus picos.

Diminuição do coeficiente de pico ($K=K_1 \cdot K_2$)

K em função da vazão média por diversos autores



1-HAZEN & SAWYER - Para São Paulo

2-A.S.C.E - Limite Superior

3-GREELEY & HANSEN - Para São Paulo

4-FLORES $K = \frac{7}{P^{0,10}}$ (P: total de habitantes)

5-D.A.E. São Paulo - $K = 2,25$ (Portaria GDG/1/60)

6-BABBIT - $K = \frac{5}{P^{0,20}}$ (P: população em milhares)

7-(A.GUERREE) - $K = 1,5 + \frac{2,5}{VQ_m}$ (Q_m : vazão média, L/s)

8-SURSAN/E.S. - Plano Diretor Rio de Janeiro

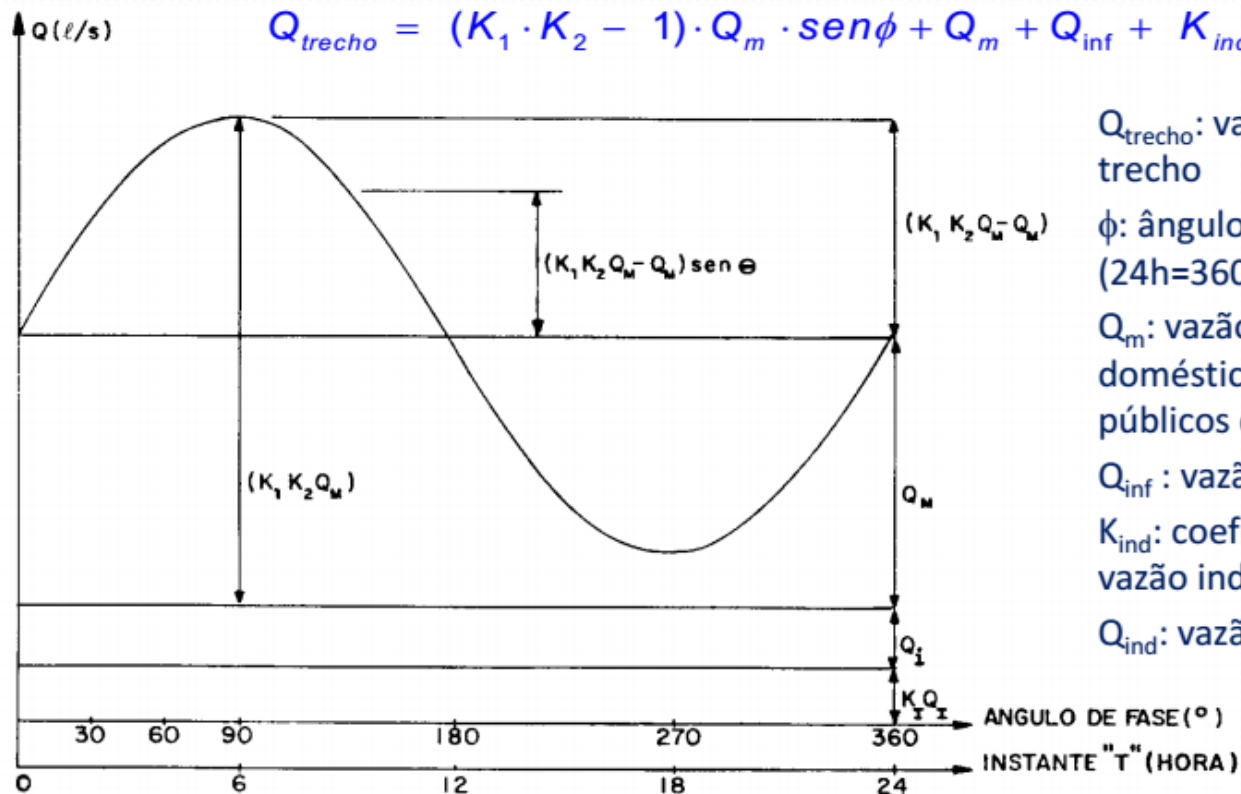
9-SABESP/1974 $K = 1,2 + \frac{1,049}{Q_m + 1}$ (Q_m : vazão média, m³/s)

10-SABESP/1986 $K = 1,2 + \frac{17,4485}{Q_m^{0,5090}}$ para $Q_m \geq 751$ L/s, sendo Q_m a vazão média total, incluindo infiltração, em L/s (exceto médias e grandes indústrias)

Composição de hidrogramas

Forma alternativa: Composição de hidrogramas (modelo matemático) dos coletores tronco, defasados pelos tempos de percurso.

$$Q_{\text{trecho}} = (K_1 \cdot K_2 - 1) \cdot Q_m \cdot \sin \phi + Q_m + Q_{\text{inf}} + K_{\text{ind}} \cdot Q_{\text{ind}}$$



Q_{trecho} : vazão de montante de um trecho

ϕ : ângulo de fase da senóide (24h=360°)

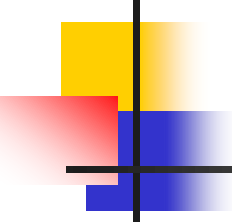
Q_m : vazão média de esgotos domésticos, comerciais, serviços públicos e pequenas indústrias

Q_{inf} : vazão de infiltração

K_{ind} : coeficiente de picos para vazão industrial

Q_{ind} : vazão de indústrias maiores

Hidrograma padrão sonoidal

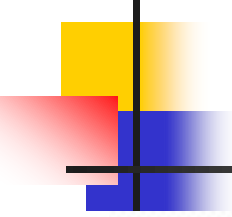


Composição de hidrogramas

Variação de K_2 em função da **vazão média** da bacia de esgotamento (SABESP, 1978)

Vazão Média da Bacia (L/s)	Coefficiente de máxima vazão horária K_2
0 - 100	1,7
101 - 500	1,6
501 - 1.000	1,5
1.001 - 2.000	1,4
2.001 - 10.000	1,3

- Medições diretas;
- Composição de hidrogramas singelos.



Dimensionamento hidráulico

- Conduto livre com regime de escoamento gradualmente variado (contribuições). Para o dimensionamento hidráulico, pode ser considerado permanente e uniforme.

- Critérios para auto-limpeza: para vazão inicial, $\sigma_i \geq 1,5 \text{ Pa}$

$$I_{\min} = 0,00035 Q_i^{-0,47}$$

$I_{\min}$: declividade mínima (m/m); Q_i : vazão inicial (m^3/s)

- Velocidade máxima: 5 m/s

$$I_{\max} = 4,65 Q_f^{-2/3}$$

Q_f : vazão final (L/s)

- Lâmina máxima: 85% do diâmetro (ou 50% se $V_f > V_c$)
- Estudo do remanso hidráulico

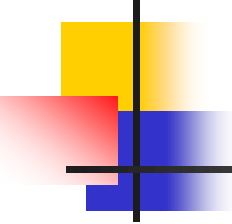


Foto 1: Antes da limpeza



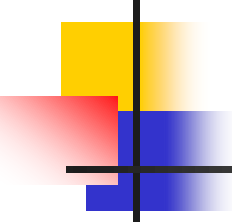
Foto 2: Depois da limpeza com jato de água

Aspecto de um interceptor de esgoto corroído por ácido sulfúrico



Condições específicas

- **Evitar agitação excessiva**, não sendo permitidos degraus e alargamentos bruscos;
- Ligações através de dispositivo projetado para evitar conflito de linhas de fluxo e diferença de cotas no qual resulte agitação excessiva;
- A **contribuição total parasitária** (taxa medida ou adotada e justificada com valor máximo de 6 L/s.km) deve ser adicionada à vazão final para análise de funcionamento e para dimensionamento dos extravasores **(mas não é considerada no dimensionamento do interceptor)**.



Condições específicas

- Ao longo do interceptor devem ser dispostos **extravasores** com capacidade conjunta que permita o escoamento da vazão final relativa ao último trecho. Prever neles dispositivos para evitar refluxo;
- Procurar minimizar ou mesmo eliminar a contribuição pluvial parasitária. Alternativamente as instalações finais devem ser dimensionadas para a total capacidade do sistema, acrescida da contribuição pluvial parasitária parcial ou total, conforme indicado o estudo de extravasamento.

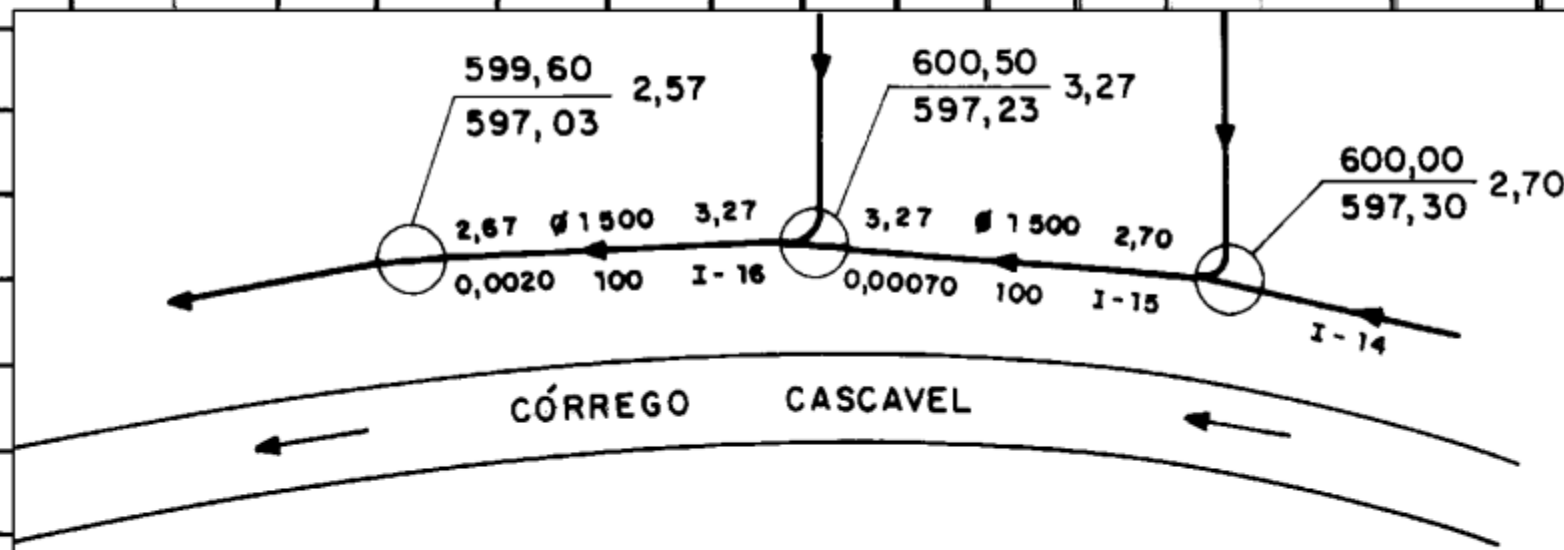
PLANILHA DE CÁLCULO DO INTERCEPTOR DE ESGOTOS

PROJETO DO INTERCEPTOR DE ESGOTOS
 BACIA SUB-BACIA
 FIRMA

CÁLCULO
 VERIFICADO

DATA
 FOLHA 1 de 1

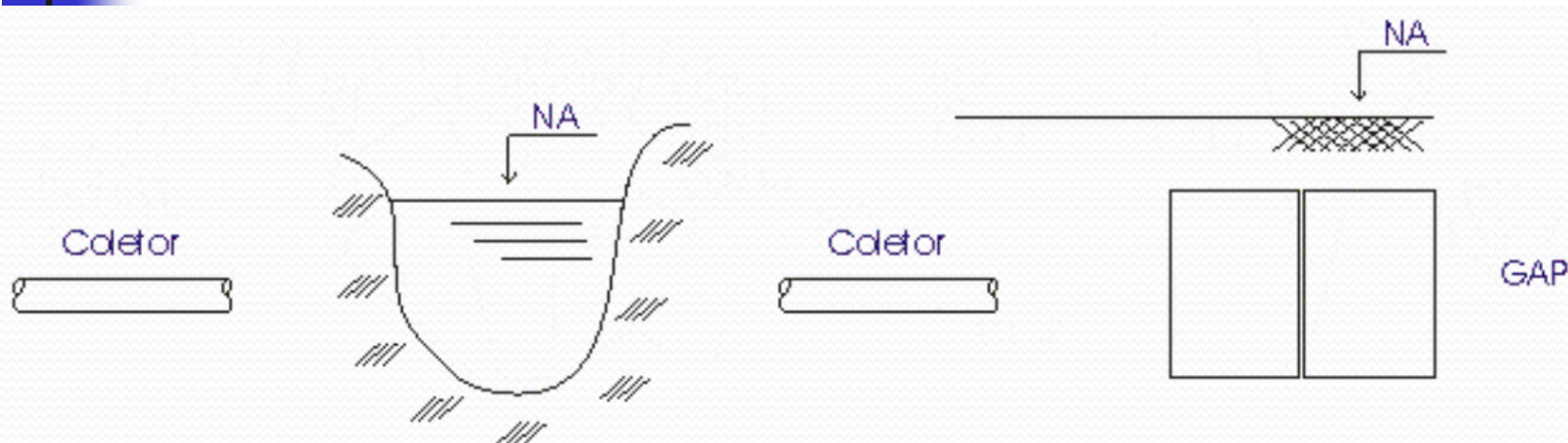
TRECHO Nº	EXTENSÃO (m)	VAZÃO INICIAL (ℓ/s)	VAZÃO FINAL (ℓ/s)	DIÂMETRO (mm)	DECLIVIDADE (m/m)	COTA DO TERRENO(m)	COTA DO INTERCEPTOR (m)	PROF. DO INTERCEPT. (m)	LAMINA LÍQUIDA (V/D)	PROF. DO PV. A JUSANTE (m)	V _i (m/s)	Q _T (Pa)	V _s (m/s)	VAZÃO FINAL C/CONTR. PLUVIAL PARASITÁRIA (ℓ/s)	LAMINA LÍQUIDA (V _p /D)	OBSERVAÇÕES
						MONTANTE JUSANTE	MONTANTE JUSANTE	MONTANTE JUSANTE	INICIAL FINAL	V _f (m/s)						
I-15	100	585	1165	1500	0,0007	600,00	597,30	2,70	0,40	3,27	0,94	2,26	12,02	1416	0,65	
						600,50	597,23	3,27	0,58		1,11					
I-14	100	756	1480	1500	0,0020	600,50	597,23	3,27	0,33	2,57	1,46	5,54	11,36	1804	0,55	
						599,60	597,03	2,57	0,48		1,76					





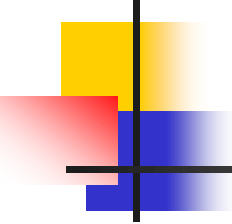
SIFÕES INVERTIDOS

Sifões invertidos



Alternativas para transposição de obstáculos?

- por gravidade, aprofundando a tubulação
- por recalque, através de elevatória
- por gravidade, com travessia aérea (depende do caso)
- por gravidade, com sifão invertido

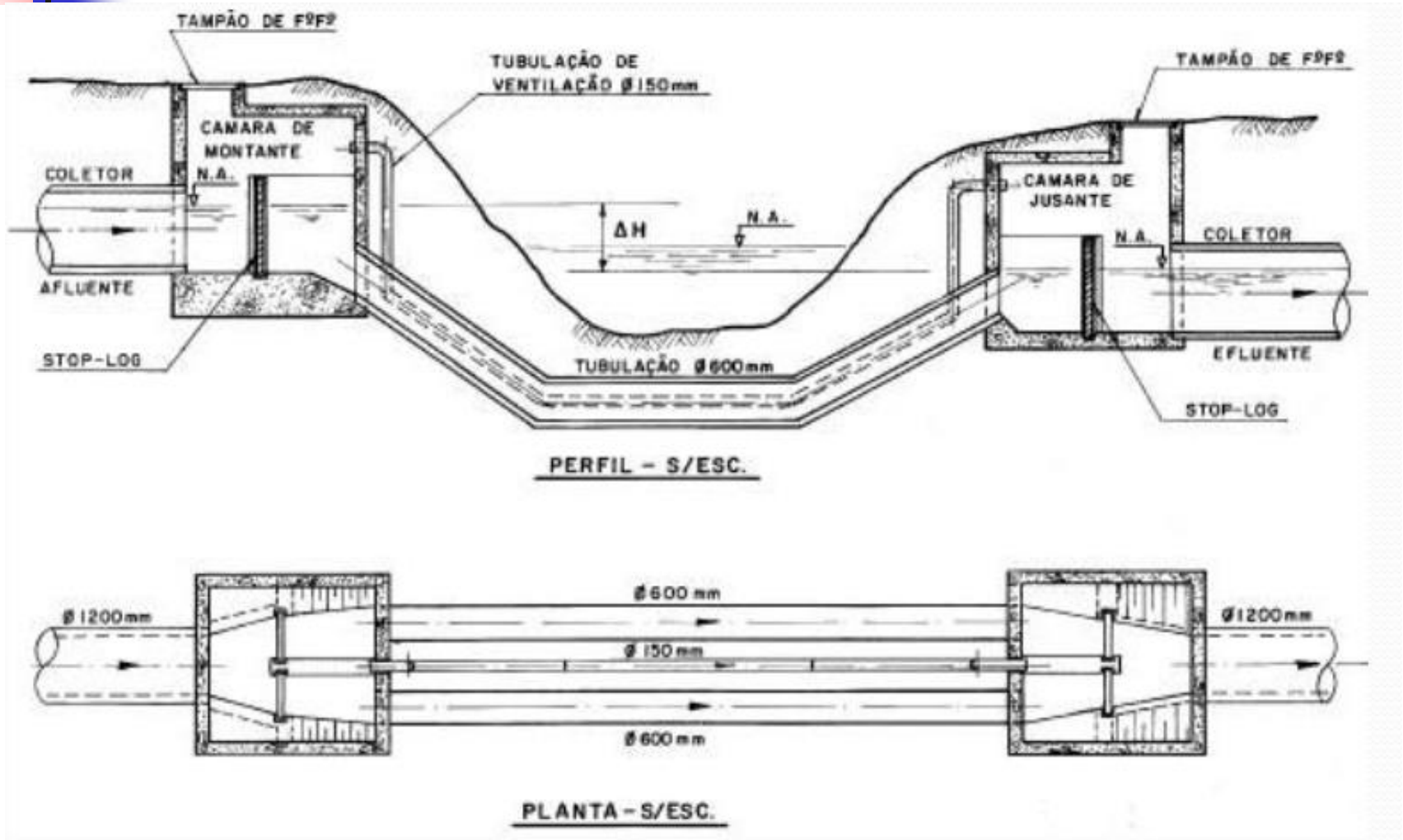


Sifões invertidos - Hidráulica

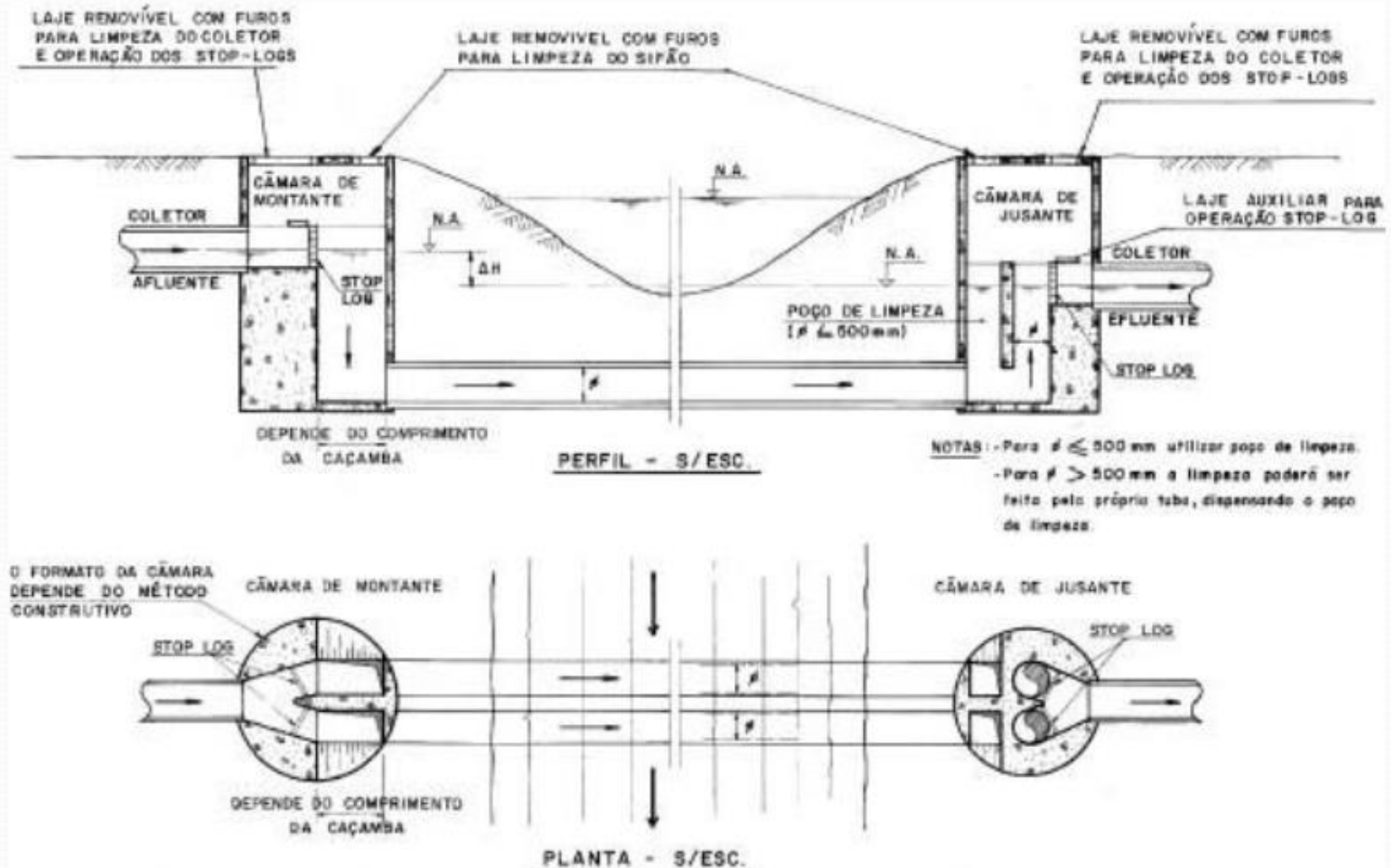
- Escoamento em **conduto forçado**, por gravidade;
- Cálculo da perda de carga distribuída:
 - Fórmula universal: $K = 2 \text{ mm}$;
 - Fórmula de Hazen-Williams: $C = 100$;
 - Fórmula de Manning: $n = 0,015$;
- Cálculo de perda de carga localizada:

$$\Delta H_s = \sum K_s \frac{V^2}{2g}$$

Sifões invertidos – Ex. planta e perfil



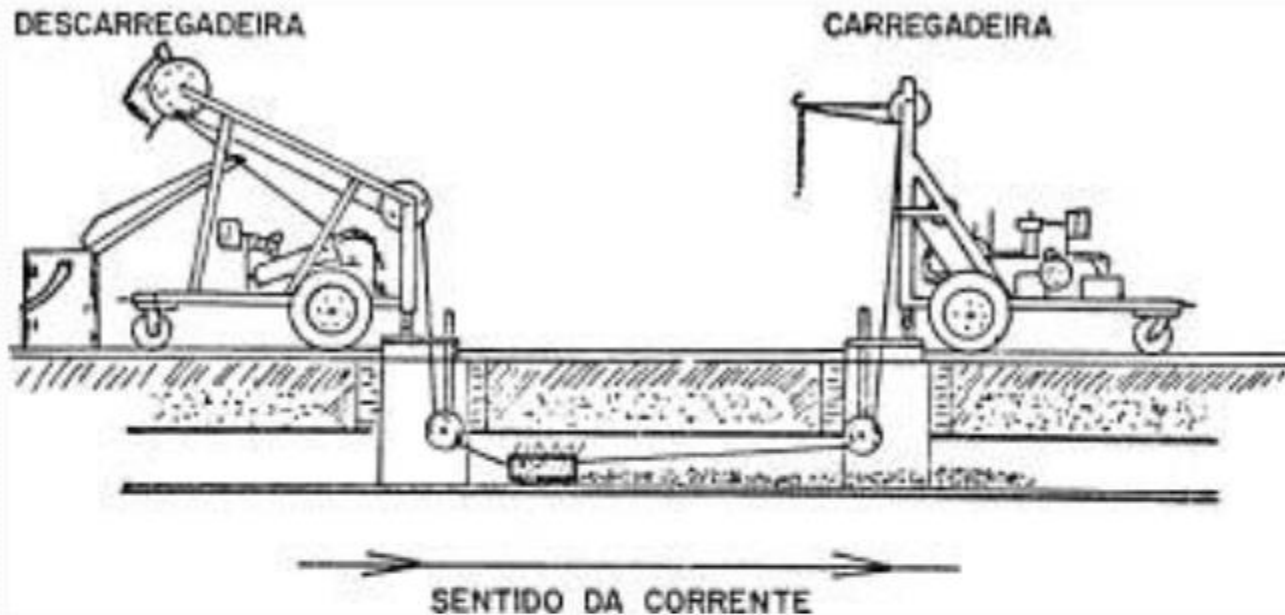
Sifões invertidos – Ex. planta e perfil



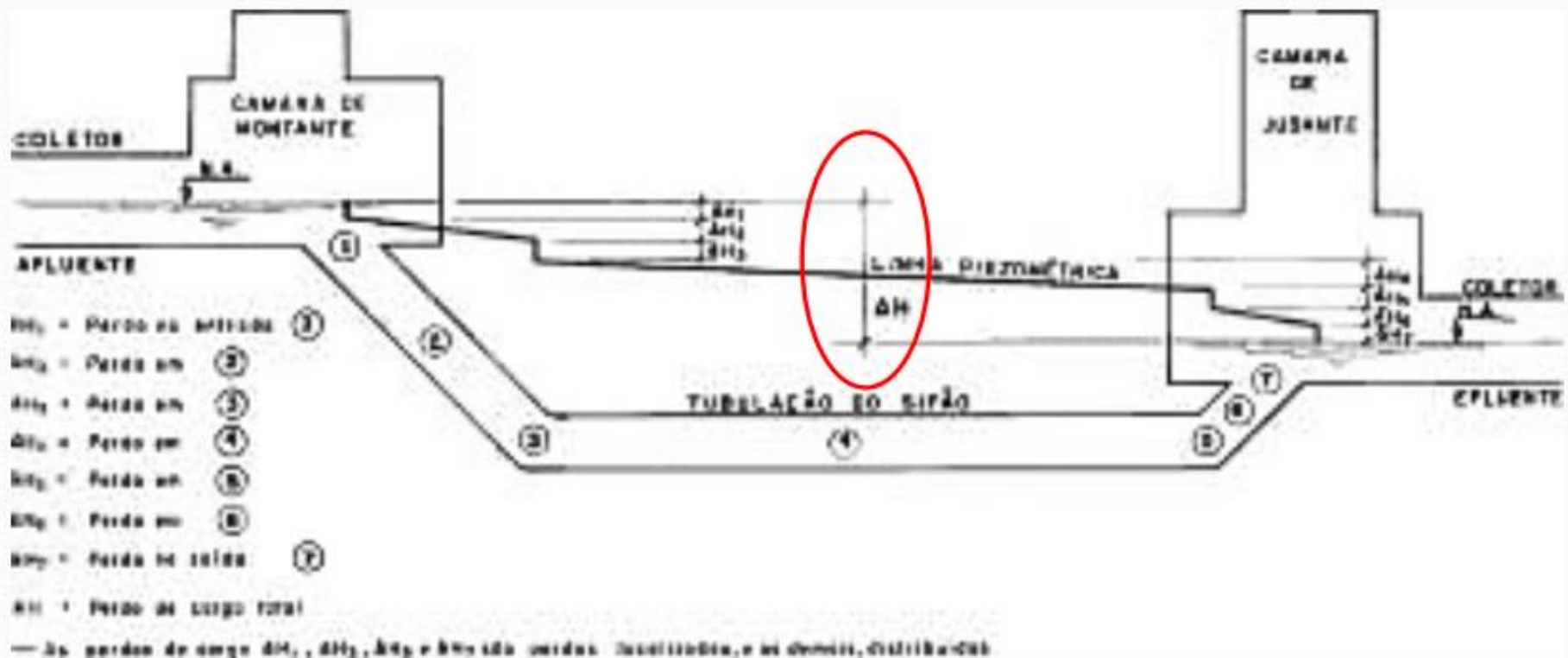
Sifões invertidos – Construção



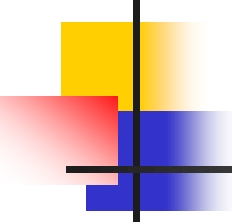
Sifões invertidos – Limpeza



Sifões invertidos – Perdas de carga



$$\Sigma \Delta H_{(loc.+Dist.)} = \Delta N.A.$$



Sifões invertidos - Dimensionamento

■ Velocidade

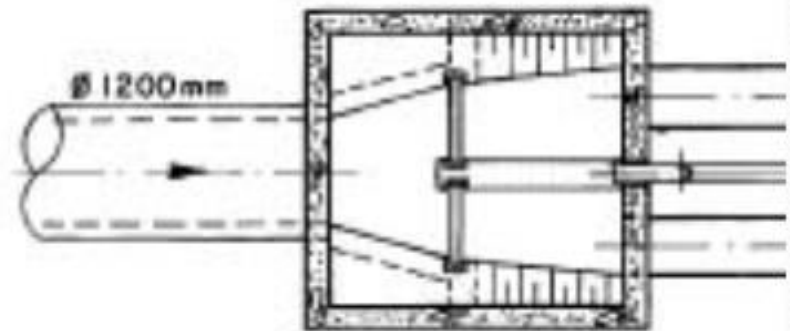
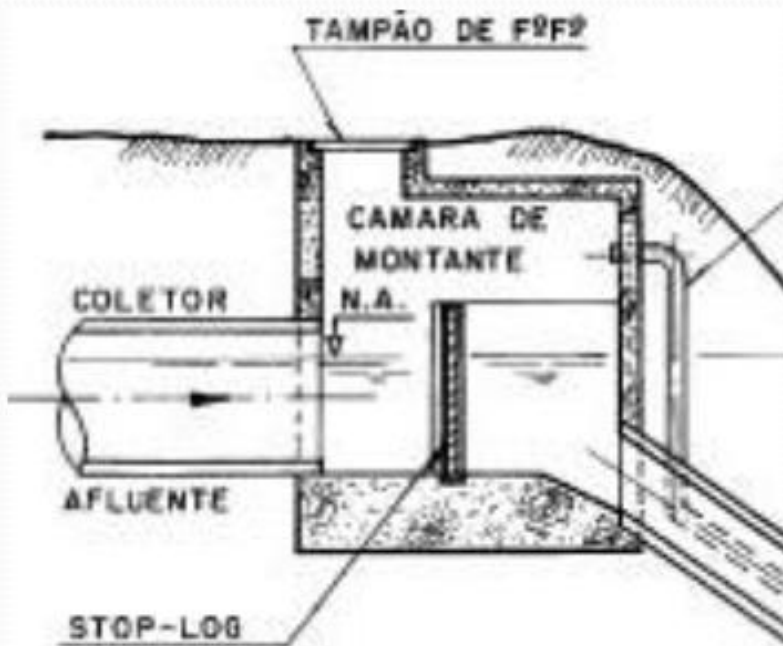
- Garantir autolimpeza das tubulações, pelo menos uma vez por dia;
- Velocidade mínima:
 - $V > 0,6$ m/s, para a vazão média;
 - $V > 0,9$ m/s, para a vazão máxima de uma dia qualquer;
- Velocidade máxima: 3,0 – 4,0 m/s;

■ Diâmetro mínimo: $\varnothing$ 150 mm;

■ Número de tubulações:

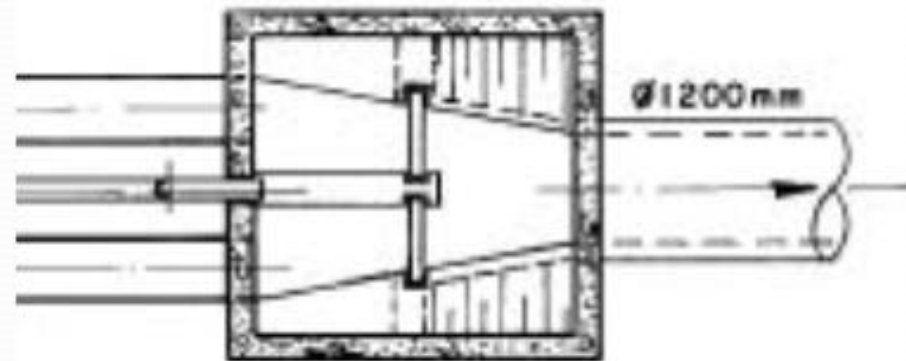
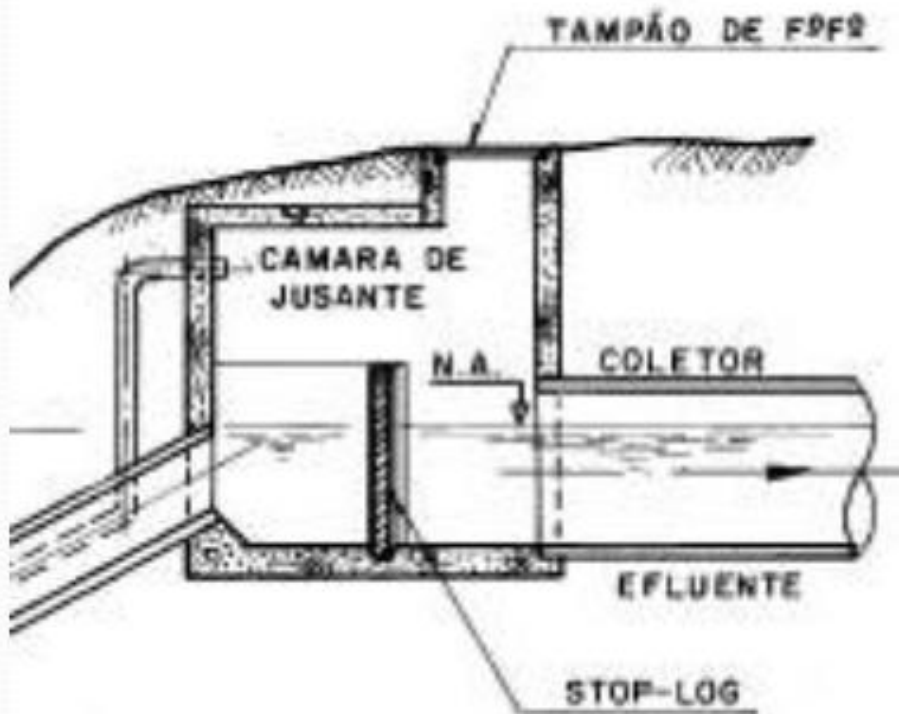
- Mínimo: 2 tubos;
- Grandes variações de vazão: mais que 2 tubos.

Câmara de montante controle de vazão por stop-log

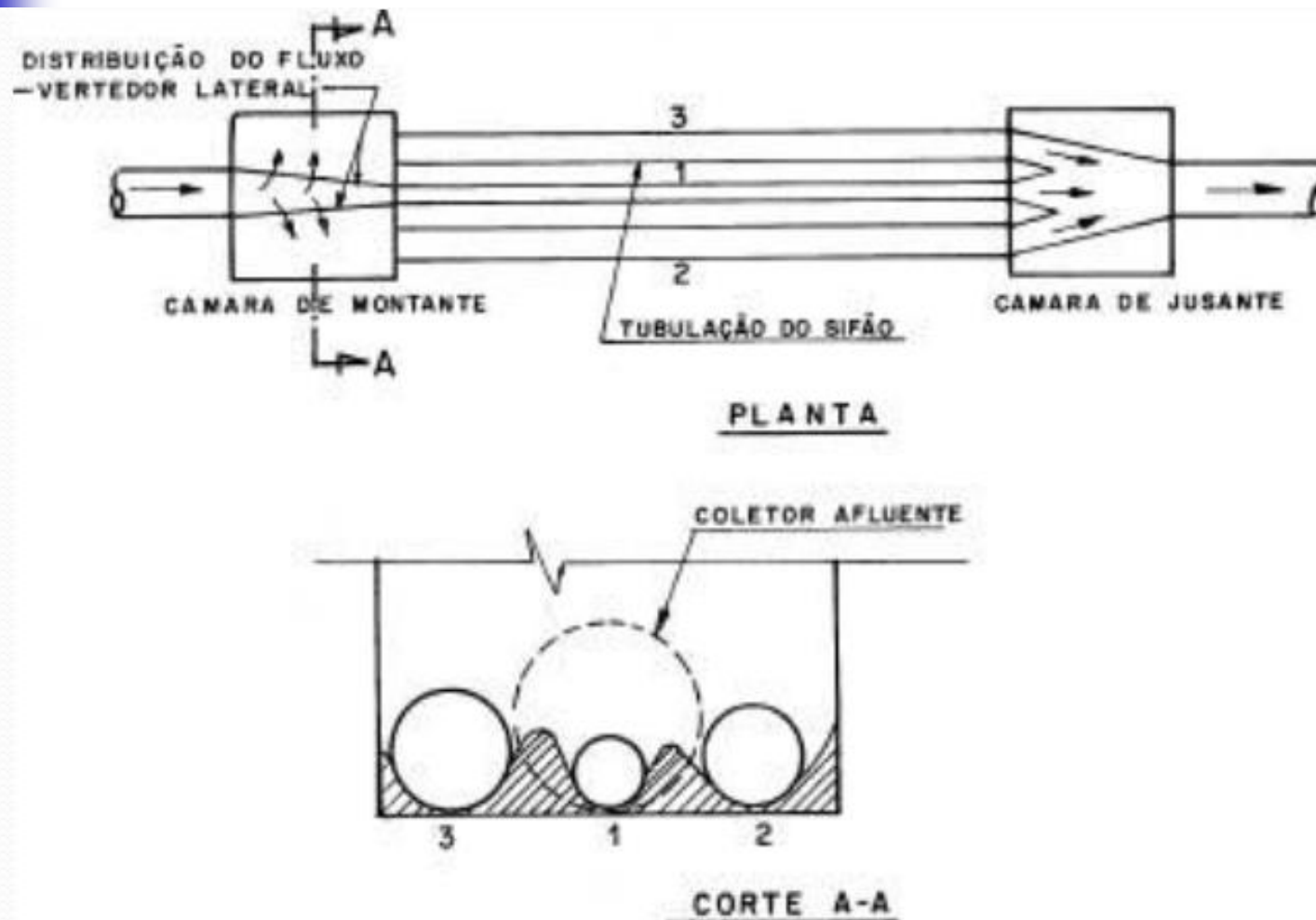


O stop-log permite manobras para controlar as vazões (isolando-se ou liberando-se tubulações)

Câmara de jusante controle de vazão por stop-log

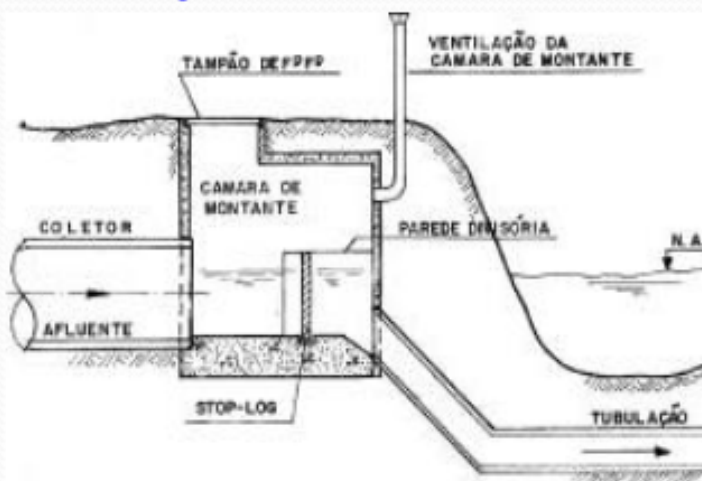


Câmara de montante controle de vazão por vertedor lateral



Ventilação do sifão invertido

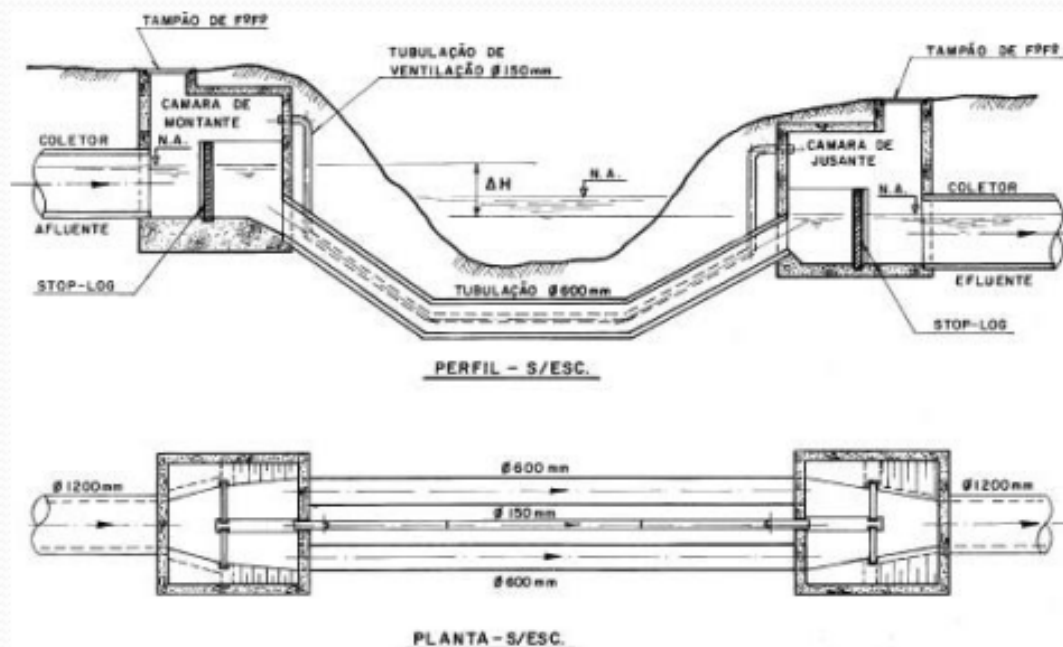
Ventilação na câmara de montante

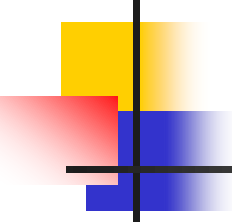


Diâmetro da tubulação de ventilação:

$$\frac{1}{10} \phi \text{ SI} \leq \phi \text{ vent.} \leq \frac{1}{2} \phi \text{ SI}$$

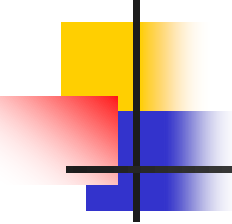
Ventilação por tubulação interligando as câmaras de montante e jusante





Bibliografia

- ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**, 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- ZAMBOM, R. C.; CONTRERA, R. C.; SOUZA, T. S. O. **Estações Elevatórias de Esgoto**. PHA3412 – Saneamento, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.



Bibliografia

- ZAMBOM, R. C.; CONTRERA, R. C.; SOUZA, T. S. O. **Interceptores**. PHA3412 – Saneamento, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.
- ZAMBOM, R. C.; CONTRERA, R. C.; SOUZA, T. S. O. **Sifões invertidos**. PHA3412 – Saneamento, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.