

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Aplicativos para dimensionamento de estações convencionais de
tratamento de efluentes.**

**Denis Saad
Victor Leonardo Miller**

Orientador: Sérgio Roberto Ceccato




São Paulo

2003

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Aplicativo para dimensionamento de estações convencionais de
tratamento de efluentes.**

**Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em
Engenharia.**

**Denis Saad
Victor Leonardo Miller**

Orientador: Sérgio Roberto Ceccato

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica**

**São Paulo
2003**

1364597
DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010971

FICHA CATALOGRÁFICA

Saad, Denis

Miller, Victor Leonardo

Aplicativo para dimensionamento de estações convencionais
de tratamento de efluentes / Denis Saad, Victor Leonardo Miller.
- São Paulo : EPUSP, 2003.

131P.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Estações de tratamento de efluentes
2. Dimensionamento
3. Aplicativo I. Saad, Miller II. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III.
Título.

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO	3
II.	RESUMO E OBJETIVOS	4
III.	LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS	7
A)	GRADES DE BARRAS	7
B)	CAIXAS DE AREIA	13
C)	BOMBAS PARAFUSO	18
D)	AERADORES	22
E)	REMOVEDORES E ADENSADORES DE LODO	26
F)	DESIDRATADORES DE LODO	30
IV.	LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS E ELEMENTOS DE INTERLIGAÇÃO	35
A)	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	35
i)	Principais tipos de bombas	35
ii)	Parâmetros para definição das máquinas de fluxo	35
iii)	Seleção de bombas	35
iv)	Associação de Bombas	36
v)	Características de operação de Máquinas de Fluxo	37
vi)	Cavitação	38
vii)	Bombas Centrífugas	39
viii)	Potência dos conjuntos elevatórios	40
ix)	Potência instalada	41
x)	Rendimento das máquinas	42
B)	PERDAS DE CARGA NO ESCOAMENTO	43
i)	Perda de Carga Distribuída	43
ii)	Método de Darcy-Weisbach (Fórmula Universal)	43
iii)	Método de Hazen-Williams e Flamant	46
iv)	Comentários sobre os Métodos a serem utilizados para o cálculo de Perda de Carga	48
v)	Perda de Carga Localizada	50
C)	VELOCIDADES EM TUBULAÇÃO	56
i)	Velocidade Mínima:	56
ii)	Velocidade Máxima :	56
D)	TUBULAÇÃO	57
i)	Tubos de Aço-Carbono para condução de líquidos	57
ii)	Tubos de Ferro Fundido	61
iii)	Tubos de PVC rígido:	62
iv)	Tubos de cobre:	63
E)	VÁLVULAS	63
i)	Válvula de Gaveta	64
ii)	Válvula Borboleta	64
iii)	Válvula de Esfera	65
iv)	Válvula de Agulha	65
v)	Válvulas de globo ou de disco	66

vi) Válvula automática ou válvula reguladora auto-operada	67
vii) Válvula redutora de pressão	68
viii) Válvula de retenção	68
ix) Válvula de expulsão e/ou admissão de ar (ventosas)	70
V. DESENVOLVIMENTO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – EQUIPAMENTOS	72
A) GRADES DE BARRAS	72
B) CAIXAS DE AREIA	73
C) BOMBAS PARAFUSO	74
D) AERADORES	74
E) REMOVEDORES E ADENSADORES	75
F) PRENSAS DESAGUADORAS	76
VI. DESENVOLVIMENTO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – SISTEMAS	78
A) PERDA DE CARGA	78
i) Perda de Carga Distribuída	80
ii) Perda de Carga Localizada	82
iii) Contagem de Material	83
iv) Gráfico	85
B) SELEÇÃO DE BOMBAS	85
C) BOMBAS CENTRÍFUGAS	86
VII. BIBLIOGRAFIA	89
APÊNDICE I – LISTAGEM DAS TELAS DE APRESENTAÇÃO DOS FORMULÁRIOS E PLANILHAS	90
A) GRADES DE BARRAS	91
B) CAIXAS DE AREIA	93
C) BOMBAS PARAFUSO	96
D) AERADORES	97
E) REMOVEDORES E ADENSADORES	99
F) PRENSAS DESAGUADORAS	102
A) SELEÇÃO DE BOMBAS	105
B) PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA	106
C) PERDA DE CARGA LOCALIZADA	107
D) LISTAGEM DE MATERIAL	108
E) CURVA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	109
APÊNDICE II – LISTAGEM DO CÓDIGO UTILIZADO	110
A) GRADES DE BARRAS	110
B) CAIXAS DE AREIA	114
C) BOMBAS PARAFUSO	116
D) AERADORES	118
E) REMOVEDORES E ADENSADORES	123
F) PRENSAS DESAGUADORAS	125

I. INTRODUÇÃO

A experiência de projetos de Estações de Tratamento de Efluentes (E.T.E.'s) nos mostra que é fundamental aliar a capacidade de analisar as possíveis alternativas com o tempo disponível de projeto para fazer uma boa escolha dos equipamentos e interligações que irão compor a planta da Estação.

Muitas vezes, porém, os procedimentos para a definição destes itens despendem muito tempo, gerando soluções eficazes, mas que poderiam ser melhoradas e se tornarem mais eficientes, até em aspecto de custo.

A oportunidade, então, de desenvolver um trabalho acadêmico, integrado ao meio profissional, que possibilitasse a implementação de uma ferramenta que viabilizasse e agilizasse tais procedimentos, é de grande interesse.

A partir daí o tema foi escolhido, e decidiu-se que a ferramenta poderia ser implementada de maneira adequada como um aplicativo específico.

II. RESUMO E OBJETIVOS

O trabalho consiste em implementar um aplicativo para o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes (E.T.E.), englobando dados de operação e da planta física. A elaboração desse programa envolve pesquisas para compilar as informações dos processos envolvidos no tratamento de efluentes, sob o ponto de vista de engenharia, necessárias para a sua implementação. O intuito é, a partir de uma situação (ou configuração) inicial básica de uma estação, selecionar com base em alguns critérios quais as melhores configurações de equipamentos e seus sistemas complementares.

Vários são os elementos que compõem as instalações de uma E.T.E., podendo ser divididos em dois blocos:

- **Equipamentos:** são as máquinas propriamente ditas que executam as etapas do tratamento do efluente. Cabe aqui definir quais são os principais equipamentos, ou seja, os mais comumente utilizados, e suas características operacionais. Uma vez definidos e divididos em classes de mesma função, será elaborado, para cada classe, o critério de seleção de qual modelo utilizar, cabendo ao software a escolha e, posteriormente, seu dimensionamento. Podemos citar:
 - Bombas parafuso;
 - Grades/peneiras;
 - Removedores de areia;
 - Decantadores/removedores e adensadores de lodo;
 - Aeradores;
 - Floculadores Misturadores;
 - Desaguadores;
- **Sistemas:** compõem todos os meios de conexões entre os equipamentos acima citados, ou seja, tubulações, acessórios de tubulação, canais, válvulas e sistemas de bombeamento. Com alguns parâmetros de entrada, sejam eles em função dos equipamentos, ou em função das características do processo de tratamento realizado na ETE, podem-se calcular as perdas de carga em tubulações e válvulas, definir bombas e compressores, e elaborar um mapeamento das velocidades dos fluidos em todo o sistema de interligação.

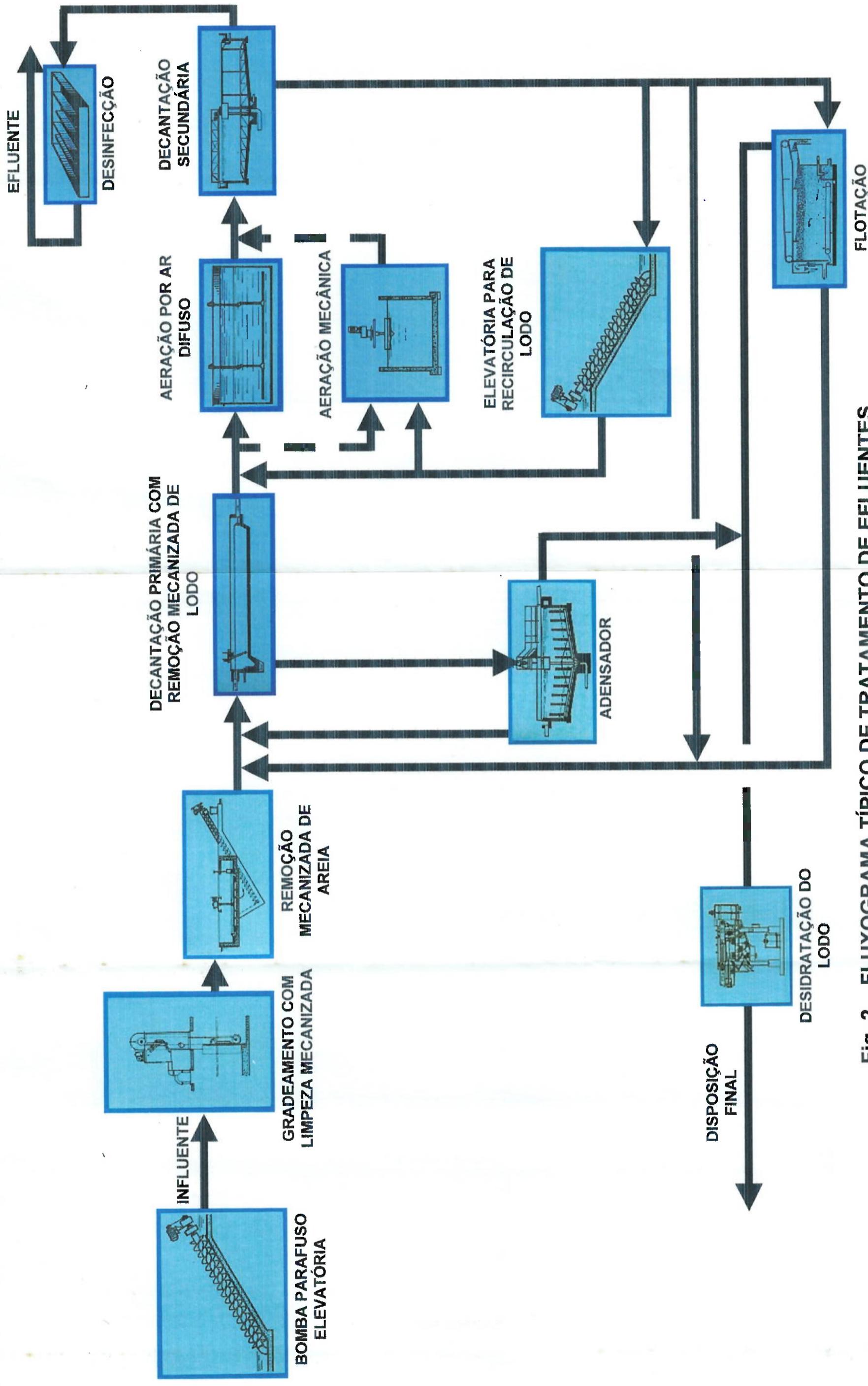
De acordo com as necessidades de tratamento definem-se as características da instalação e um fluxograma de processos englobando os elementos acima citados. Todos estes elementos definem as características da instalação hidráulica, como, por exemplo, acrescentando perdas de cargas e mudando propriedades dos fluxos.

O aplicativo terá como entrada dados do próprio fluxograma de processos, com parâmetros do escoamento, serviço das linhas, localização de válvulas, elementos de tubulação (por exemplo cotovelos) e tipos de equipamentos, juntamente com condições envolvidas na E.T.E (por exemplo a necessidade de Oxigênio, reagentes, velocidade de processo).

Algumas rotinas calcularão o perfil hidráulico do sistema, apontando a melhor opção de válvulas, diâmetros das tubulações e o respectivo material. Outras rotinas selecionarão os equipamentos que melhor se encaixam nesse perfil funcional. Enfim, possibilitando como saída final uma listagem completa dos elementos a serem utilizados na instalação, bem como possibilitar estabelecer aspectos de custo mais exatos.



Fig. 1 - Esquema de operações do software.



III. LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS

Nesta seção serão descritas as principais classes de equipamentos componentes das estações de tratamento.

A descrição abrange características físicas dos equipamentos, seus princípios de funcionamento e parte de seu dimensionamento, possibilitando estabelecer os critérios para sua escolha.

A) GRADES DE BARRAS

São dispositivos constituídos de barras paralelas igualmente espaçadas, destinados à retenção de sólidos grosseiros presentes no efluente, sendo a primeira etapa de uma ETE. São utilizadas para proteger os elementos seguintes da ETE contra obstruções; melhoram o aspecto dos tanques e reduzem o volume de escuma.



Fig. 3 – Grades de 4 cabos instaladas em ETE.

Classificam-se quanto ao espaçamento das barras e quanto ao sistema de limpeza, respectivamente:

- **Grades grosseiras**
Com abertura entre 40 e 100 mm, podem preceder grades mais finas.
- **Grades médias**
Com abertura entre 20 e 40 mm, sendo mais comum o emprego das de 25 mm.
- **Grades finas**
Com abertura entre 10 e 20 mm, geralmente mecanizadas.
- **Limpeza manual**
São grades grosseiras empregadas em instalações pequenas, eventualmente instaladas antes de grades mecanizadas, antes de grandes bombas e turbinas, destinando-se à retenção de objetos de grandes dimensões em efluentes com pouco volume de detritos.
- **Limpeza mecanizada**
São grades finas, destinadas à remoção de detritos freqüentes e pequenos, exigindo operação e manutenção cuidadosas.

As dimensões usualmente empregadas para a seção das barras são:

Tab. 1 – Dimensões características das barras.

Grades grosseiras	10 x 50 mm 10 x 60 mm 13 x 40 mm 13 x 50 mm
Grades médias	8 x 50 mm 10 x 40 mm 10 x 50 mm
Grades finas	6 x 40 mm 8 x 40 mm 10 x 40 mm

Os modelos de grades pesquisados diferem principalmente pela forma de limpeza, que pode ser manual, com limpeza por detrás, rastelo suspenso de 2 ou 4 cabos, rastelo com fuso e castanha, rastelo com cremalheira e rastelo rotativo.

Na grade com limpeza manual utiliza-se um rastelo de mão para remover os detritos acumulados, normalmente dispostos em carrinhos

de coleta. São grades geralmente grosseiras e para estações de pequeno porte ou que não apresentem grandes quantidades de detritos.

As grades com limpeza por detrás têm um rastelo, movido por correntes com movimento contínuo, que limpa em movimento ascendente, passando os dentes através das barras de jusante para montante, despejando os detritos em um piso superior ao canal. Podem ser verticais ou ligeiramente inclinadas (para canais mais profundos). São grades de abertura média.

As grades de rastelo suspenso por cabos têm um mecanismo de tambores enroladores de cabos de aço, aos quais se prende o rastelo limpador. Este se movimenta sobre guias, despejando os detritos a jusante. São grades utilizadas em canais profundos e de abertura média ou grossa.

As grades com rastelo acionado por um sistema fuso-castanha funcionam com um movimento alternativo do fuso, fazendo o rastelo, preso à castanha e a guias laterais, descer se afastando da grade e subir limpando-a. São instaladas em canais pequenos e até mesmo preexistentes e têm abertura média.

As grades com rastelo sobre cremalheira fazem um movimento de limpeza contínuo, descendo afastado e subindo limpando, sendo guiado por roletes laterais. São instaladas em canais médios, não muito profundos e apresentam abertura média.

Por fim, as grades de rastelo rotativo têm o rastelo preso a braços que giram sobre a grade, cujas barras são curvadas num raio próximo ao de giro do rastelo. Dessa forma, o rastelo, ao girar, limpa a grade. São utilizadas em canais pequenos e geralmente para lodo, tendo abertura média.

Tab. 2 – Parâmetros característicos das grades de barras.

		Largura canal (m)	Altura canal (m)	Altura líquida (m)	Abertura barras (mm)
LIMPEZA MANUAL	min	0,6		0,3	
	nominal				100
	max	3,0	3	2,5	150
THRU-CLEAN VERTICAL	min	0,6		0,3	20
	nominal				25
	max	3,0	12	2,2	50

Continuação Tab. 2.

THRU-CLEAN INCLINADA	min	0,6		0,5	20
	nominal				25
	max	3,0	15	6	50
2 CABOS	min	0,6		0,15	12
	nominal				25
	max	3,6	6	5,5	25
4 CABOS	min	0,75		0,15	12
	nominal				25
	max	3,6	30	10	75
FUSO- CASTANHA	min	0,3		0,15	
	nominal				12
	max	1,5	2	1,5	25
CREMALHEIRA	min	0,6		0,6	20
	nominal				25
	max	2,0	6	2	50
ROTATIVA	min	0,6		0,1	20
	nominal				25
	max	2,0	2	1,5	50

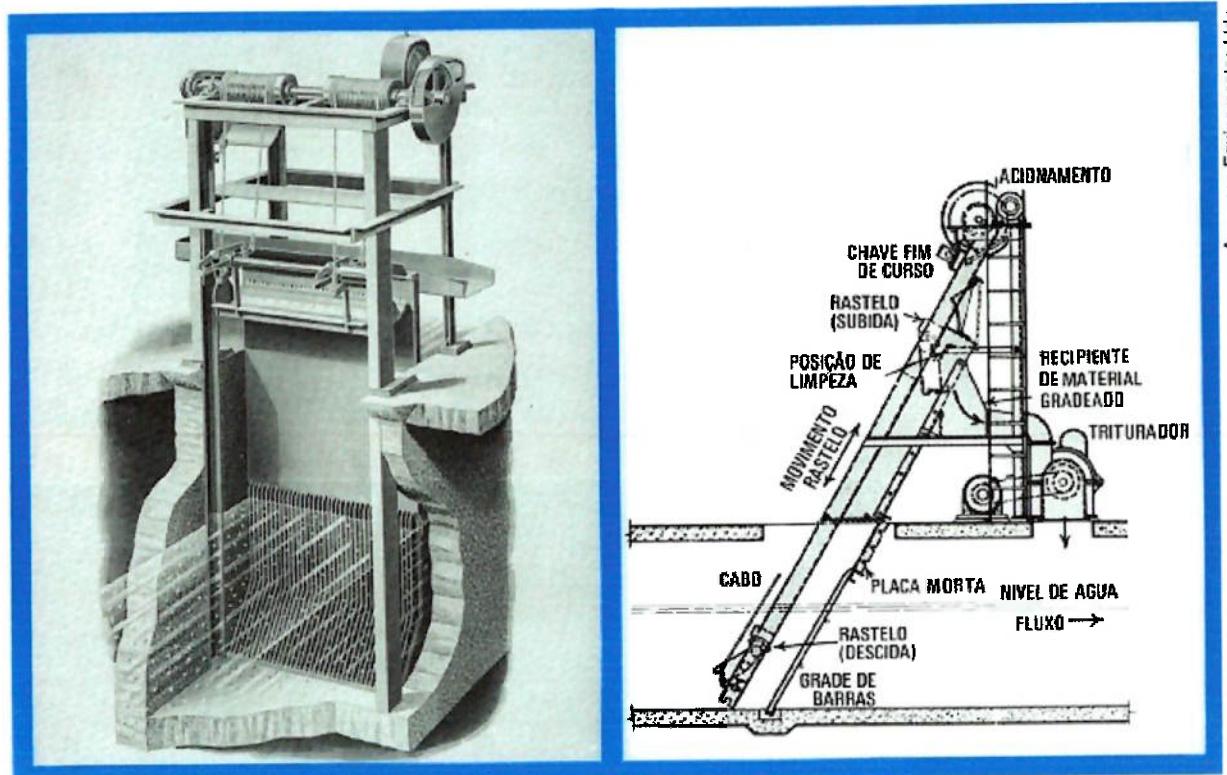


Fig. 4 - Esquema de uma grade de limpeza mecanizada tipo 4 cabos.

O dimensionamento é feito visando uma velocidade de escoamento adequada: baixas velocidades implicam em aumento exagerado de material retido e deposição de areia em excesso no canal; altas velocidades arrastam materiais que deveriam ficar retidos.

As velocidades recomendadas (para barras limpas) devem estar entre 0,4 e 0,9 m/s para toda a faixa de vazão do canal.

Para uma dada vazão (Q) e uma velocidade (V , normalmente 0,6 m/s) estabelecida, calcula-se a área útil da grade (A_u):

$$A_u = \frac{Q}{V}$$

Conhecendo-se a abertura entre barras (a) e a espessura das barras (t) pode-se calcular a área de escoamento a montante da grade (S):

$$S = A_u \frac{a+t}{a}$$

A altura do nível líquido a montante da grade é dada pelo nível de água do elemento subsequente mais a perda de carga na grade. Tomando essa altura como conhecida e a área total S , podemos obter a largura total da grade.

A largura das grades mecanizadas está limitada a 0,6 a 3,6 m , empregando-se múltiplas grades.

A perda de carga nas grades limpas pode ser estimada pela fórmula conhecida como "Metcalf & Eddy"

$$h_f = 1,43 \frac{(V^2 - v^2)}{2g}$$

h_f = perda de carga (m)
 V = velocidade através das barras (~6m/s)
 v = velocidade a montante da grade (m/s)
 g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)

devendo-se calcular as perdas para a grade limpa e para a grade 50% suja ($V' = 2V$).

A quantidade de material gradeado em efluentes da cidade de São Paulo está entre 0,01 a 0,025 l/m³ para uma grade de $a = 25$ mm. Essa quantidade varia inversamente proporcional à abertura da grade.

O material gradeado constitui-se principalmente de papel e trapos (60% em média), detritos de cozinha, banheiro, entre outros (40% em média), apresentando 70 a 90% de água e 0,7 a 1,00 kg/l.

B) CAIXAS DE AREIA

São unidades destinadas a reter areia e outros sólidos minerais pesados inertes, presentes nas águas residuárias, constituindo a etapa seguinte ao gradeamento.



Fig. 5 - Caixa de areia retangular em operação.

Esses materiais provêm de enxurradas, lavagens e infiltrações, e a necessidade de sua remoção se deve ao fato de causarem desgaste acentuado por abrasão nos equipamentos subsequentes, também para evitar possíveis entupimentos e obstruções de canalizações e finalmente o depósito de material inerte nos decantadores e digestores.

O princípio de funcionamento desses equipamentos está ligado à teoria do transporte de partículas em líquidos. As condições dinâmicas de uma corrente líquida, notadamente a turbulência, são responsáveis pelo transporte de sólidos mais densos que a água, que podem ser conduzidos em suspensão ou serem arrastados junto ao fundo dos canais. A capacidade de transporte varia com a sexta potência da velocidade do escoamento, sendo, portanto, função do seu grau de turbulência.

A alteração do regime turbulento para laminar, em que não se verifica o transporte de sólidos, é a forma de promover a sedimentação dos mesmos.

Usando-se canais ou tanques apropriados pode-se reduzir a velocidade do escoamento para valores que permitam a deposição das partículas, cuja velocidade de sedimentação varia com seu tamanho e peso específico:

Tab. 3 – Relação de tamanho e velocidade de sedimentação das partículas.

Tamanho das partículas	Velocidade de sedimentação
1,0 mm	10 cm/s
0,5 mm	5 cm/s
0,3 mm	3 cm/s
0,2 mm	2 cm/s
0,1 mm	1 cm/s
Para grãos de areia de 2,65 g/ml a 15°C em água tranqüila.	

É desejável a remoção de partículas maiores que 0,2 mm em instalações de tratamento.

As caixas de areia podem ser projetadas como canais de velocidade controlada ou tanques quadrados ou circulares, de área adequada à sedimentação das partículas a remover. Conforme o porte da estação podem ser projetadas múltiplas caixas de areia, por motivos de manutenção, bem como canais para bypass de emergência. Normalmente se utiliza mecanismo de limpeza, sendo desnecessário apenas em pequenas instalações.

A velocidade do escoamento nas caixas de areia deve ser mantida em torno de 0,3 m/s com tolerância de $\pm 20\%$. Velocidades muito baixas causam deposição de bastante matéria orgânica que, ao ser removida juntamente com a areia causa problemas de mau cheiro indesejáveis; a areia retirada deve conter taxas de matéria orgânica da ordem de 5% no máximo. Velocidades muito altas permitem a passagem de partículas nocivas de areia. Geralmente a maneira utilizada para manter o nível e a velocidade, face às oscilações do escoamento, é a instalação de vertedores adequados.



Fig. 6 - Caixa de areia quadrada.

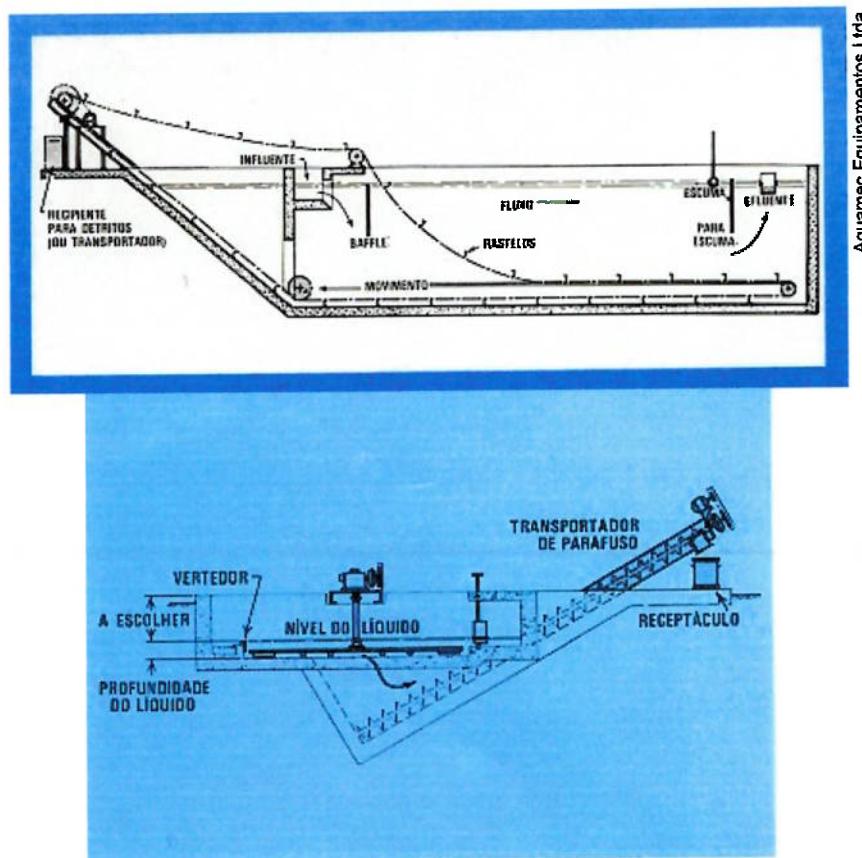


Fig. 7 - Esquema de caixa de areia retangular e quadrada.

Os modelos de caixa de areia são basicamente três: retangulares, com sistema de limpeza mecanizada por sucção em ponte rolante; quadradas, com sistema de limpeza mecanizada por braços giratórios e parafuso classificador e circular tipo pista ou vórtex induzido.

As caixas de areia retangulares são canais retangulares sobre os quais se monta uma ponte rolante que carrega um sistema de sucção de areia por bombeamento. As paredes laterais são inclinadas para direcionar os sólidos para o centro do canal, onde passa o tubo de sucção.

As caixas de areia quadradas são tanques nos quais o efluente permanece tempo suficiente para haver a remoção da quantidade necessária de areia. A areia é removida por braços raspadores giratórios que acumulam a areia num poço de coleta, no qual está instalado um parafuso classificador, que nada mais é que uma rosca transportadora que conduz a areia, lavando-a, para uma caçamba. São as mais comumente utilizadas.

As caixas de areia circulares tipo pista têm uma concepção diferenciada, pois funcionam precipitando a areia através de um turbilhão induzido no centro do tanque circular, sendo depois removida por uma bomba de rotor aberto. Estas caixas são bastante eficientes e permitem elevadas quantidades de areia, no entanto são bastante caras e utilizadas somente em casos muito específicos.

Tab. 4 – Parâmetros característicos das caixas de areia.

	Vazão (m ³ /h)	Largura caixa (m)	Altura líquida (m)
RETANGULAR	400 a 15000	3 a 10	0,6 a 2,4
QUADRADA	300 a 6000	2,4 a 9,1	0,4 a 0,8
PISTA	1000 a 11000	1,8 a 7,3	1,8 a 4,1

O dimensionamento básico de canais de sedimentação de areia é feito relacionando-se a velocidade do fluxo com a velocidade de sedimentação das partículas:

$$V_1 = \frac{L}{t_1} \text{ e } V_2 = \frac{H}{t_2}$$

$$V_1 = \text{Vel. do fluxo} = 30 \text{ cm/s}$$

$$V_2 = \text{Vel. de sedimentação} = 2 \text{ cm/s}$$

L = comprimento da caixa

H = altura líquida na caixa

Igualando-se os tempos t₁ e t₂, pois a partícula percorre H e L no mesmo espaço de tempo, temos:

$$V_1 \cdot H = V_2 \cdot L$$

Substituindo os valores de velocidade teremos:

$$L = 15 \cdot H$$

Por segurança adota-se como regra prática:

$$L = 25 \cdot H$$

Sabendo-se a vazão (Q) de efluente pode-se determinar a largura (b) do canal de seção retangular fazendo-se:

$$b = \frac{Q}{H \cdot V_1}$$

Na prática, os equipamentos mecanizados são dimensionados utilizando-se uma taxa de sedimentação, que é a relação entre a vazão de efluente com a área em planta necessária na caixa de areia, adotando-se valores da ordem de 1600 m³/m²/dia ou 68 m³/m²/h, por experiência.

Conhecendo-se, então, a vazão de efluente (Q) e a taxa de sedimentação (T_{sed}), determina-se a área de fundo (A) da caixa de areia:

$$A = \frac{Q}{T_{sed}}$$

Para caixas quadradas determina-se o lado do quadrado (b) que satisfaça a área mínima (A):

$$b = \sqrt{A}$$

Para caixas retangulares escolhe-se uma largura (b, de 3 a 10 m), e o comprimento (L) sendo dado por

$$L = \frac{A}{b}$$

A profundidade da câmara varia proporcionalmente com sua largura, tendo valores nas faixas indicadas pela tab. 4.

A escolha do modelo de caixa é bastante subjetiva, e depende de fatores práticos de cada projeto.

C) BOMBAS PARAFUSO

As bombas parafuso são equipamentos concebidos há mais de 2000 anos, provavelmente pelo grego Arquimedes, cujo princípio de funcionamento se manteve inalterado até os dias de hoje ainda que a tecnologia de sua fabricação seja moderna.



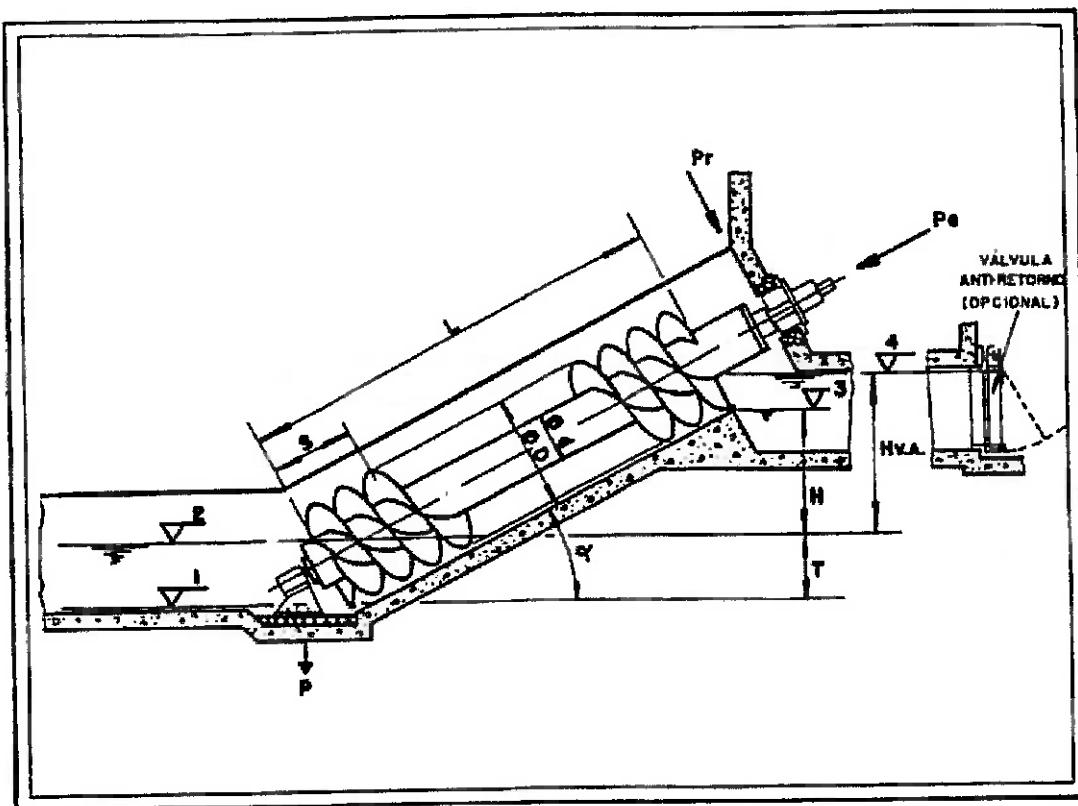
Aquamec Equipamentos Ltda

Fig. 8 - Bomba parafuso em operação.

Sua aplicação é a elevação de grandes volumes de líquido a baixas alturas, tendo sido tradicionalmente utilizadas na irrigação e drenagem, e já há alguns anos utilizadas freqüentemente nas ETE's. Estas bombas são capazes de transportar qualquer volume de líquido (abaixo de sua capacidade máxima) sem necessidade de controle de rotação; e também o líquido não necessita de gradeamento, sendo os detritos transportados sem entupimentos.

O parafuso é construído com um eixo central tubular de aço sobre o qual são soldadas superfícies contínuas em forma espiral, formando uma, duas ou três entradas. O diâmetro do parafuso pode variar entre 0,3 e 4,0 m e a altura de elevação pode chegar a 9 m.

É instalado em um leito, normalmente de concreto, com inclinações de 30°, 35°, 38° e 40° com a horizontal, dependendo de alguns fatores para o funcionamento desejado. Atualmente, porém, são utilizadas apenas inclinações de 30° e 38°.



Aquamec Equipamentos Ltda

H=	Altura de elevação nominal
H _{v,A} =	Altura de elevação com válvula anti-retorno
L=	Comprimento do Parafuso ($L=(H+T/\text{Sen } \alpha)$)
T=	Campo de variação do nível operacional da Bomba Parafuso
Ø D=	diâmetro externo do parafuso
Ø d =	diâmetro do eixo tubular
α=	ângulo de inclinação do parafuso
S=	Passo de cada entrada
Nível 1=	Nível mínimo (Touch point)
Nível 2=	Nível máximo para máxima vazão e máximo rendimento (Fill Point)
Nível 3=	Nível de descarga (Spill point)
Nível 4=	Nível de descarga quando empregada a válvula anti-retorno.

Fig. 9 - Esquema de uma bomba parafuso.

As curvas características para esse tipo de bomba têm o aspecto mostrado na fig. abaixo.

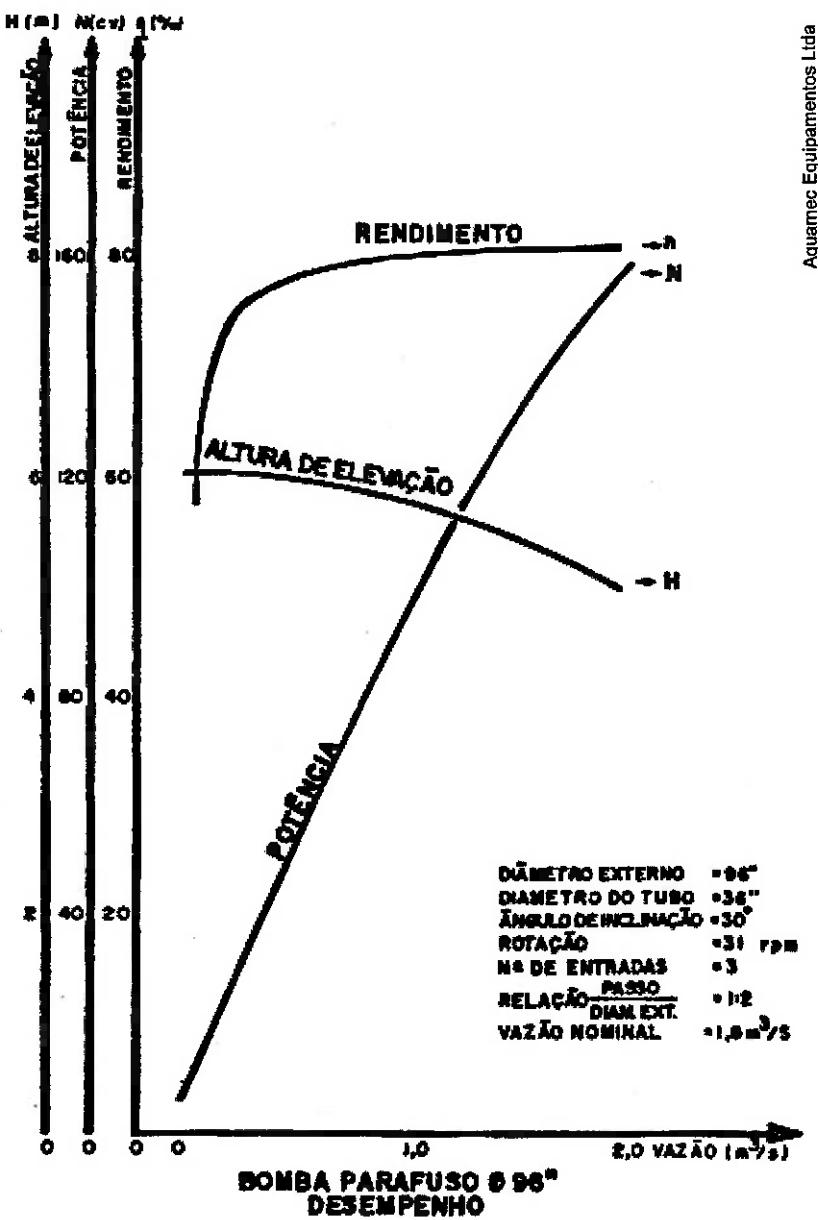


Fig. 10 - Curva característica de uma bomba parafuso.

A seleção das bombas é feita por tabelas de equipamentos padronizados, previamente dimensionados, calculados baseando-se em três critérios distintos: máximo rendimento, mínimo peso e mínima potência requerida, listadas a seguir. As bombas de interesse são as de máximo rendimento, uma vez que são equipamentos de vida útil em torno de 20 anos, o que remete à questão de custo energético operacional.

Tab. 5 - Principais construções de bombas parafuso em função da capacidade e altura de elevação, apresentadas como AA.E.DDDD : A – ângulo de inclinação (°), E – nº de entradas e D – diâmetro do parafuso (mm).

Q.som. m³/h	E nº	I Máximo Rendimento	II Máximo Fuso	III Máxima Pressão
0,010	1,5	30,1.0100	30,1.0100	30,1.0100
0,015	1,5 3,0	30,1.0150 40,2.0450	35,1.0150 40,2.0450	30,1.0150 40,2.0450
0,030	1,5 3,0	30,1.0400 35,1.0450	30,1.0400 35,1.0450	30,1.0400 35,1.0450
0,035	1,5 3,0	30,1.0450 35,1.0500	35,1.0550 35,1.0600	30,1.0450 35,1.0500
0,050	1,5 3,0 4,5	30,1.0550 40,2.0700 38,2.0700	35,1.0700 40,3.0450	30,1.0550 35,2.0700
0,070	1,5 3,0 4,5 6,0	30,1.0650 30,1.0650 35,2.0700 40,2.0850	30,1.0750 35,1.0750 35,2.0750 40,2.0950	35,1.0650 30,1.0650 35,1.0750 40,2.0850
0,100	1,5 3,0 4,5 6,0	30,1.0700 30,1.0750 30,1.0900 30,1.0900	30,1.0700 35,1.0950 35,1.0950 40,2.0950	30,1.0700 30,1.0750 30,1.0950 38,2.0950
0,150	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5	30,1.0850 30,1.0850 30,1.0950 35,1.0950 40,1.1050	35,1.1100 35,1.1100 30,1.1050 35,3.0950 40,1.1150	30,1.0850 30,1.0850 30,1.0950 35,3.0950 40,1.1050
0,200	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.0950 30,1.1000 30,1.1050 30,1.1150 35,1.1150 40,1.1200	35,1.1250 35,1.1150 35,1.1250 30,1.1150 35,1.1250 40,2.1300	30,1.0950 30,1.1000 35,1.1050 30,1.1150 35,1.1250 40,2.1300
0,300	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.1150 30,1.1200 30,1.1250 30,1.1350 35,1.1350 40,1.1300	30,1.1350 30,1.1250 30,1.1350 30,1.1350 35,1.1350 40,2.1300	30,1.1150 30,1.1200 35,1.1250 30,1.1350 35,1.1350 40,2.1300
0,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.1400 30,1.1400 30,1.1450 30,1.1450 35,1.1450 35,1.1700	30,1.1500 30,1.1500 30,1.1650 30,1.1650 30,1.1450 35,1.1700	30,1.1400 30,1.1400 30,1.1450 30,1.1450 30,1.1450 35,1.1700
0,700	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.1600 30,1.1600 30,1.1650 30,1.1650 30,1.1650 30,2.1800	30,1.1600 30,1.1600 35,1.1700 35,1.1700 35,1.1700 35,1.1700	30,1.1600 30,1.1600 30,1.1650 30,1.1650 30,1.1650 30,2.1800
1,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.1850 30,1.1850 30,1.1900 30,1.1900 30,1.1900 30,1.1900	30,1.1900 30,1.1900 30,1.2200 30,1.2200 30,1.2200 35,1.2500	30,1.1850 30,1.1850 30,1.1900 30,1.1900 30,1.1900 30,1.1900
1,250	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.2000 30,1.2000 30,1.2050 30,1.2050 30,1.2050 30,2.2200	35,1.2200 35,1.2700 35,1.2700 35,1.2700 35,1.2700 40,2.2700	30,1.2000 30,1.2000 30,1.2050 30,1.2050 30,1.2050 30,2.2200
1,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,1.2200 30,1.2450 30,1.2450 30,1.2500 30,1.2750 30,1.2750	35,1.2400 35,1.2400 35,1.2400 35,1.2400 35,1.2700 40,2.2950	30,1.2200 30,1.2450 30,1.2450 30,1.2500 30,1.2750 30,1.2750

Q.som. m³/h	E nº	I Máximo Rendimento	II Máximo Fuso	III Máxima Pressão
1,750	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.2400 30,2.2400 30,2.2400 30,2.2400 30,2.2400 30,2.2400	35,1.3850 35,1.3850 35,1.3850 35,1.3850 35,1.3850 35,1.3850	30,1.2400 30,1.2400 30,1.2400 30,1.2400 30,1.2400 30,1.2400
2,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.2750 30,2.2750 30,2.2750 30,2.2750 30,2.2750 30,2.2750	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750
2,250	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.3000 30,2.3000 30,2.3000 30,2.3000 30,2.3000 30,2.3000	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.2900 30,1.2900 30,1.2900 30,1.2900 30,1.2900 30,1.2900
2,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.3250 30,2.3250 30,2.3250 30,2.3250 30,2.3250 30,2.3250	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750 30,1.2750
3,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.3500 30,2.3500 30,2.3500 30,2.3500 30,2.3500 30,2.3500	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.2850 30,1.2850 30,1.2850 30,1.2850 30,1.2850 30,1.2850
3,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.3750 30,2.3750 30,2.3750 30,2.3750 30,2.3750 30,2.3750	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.2950 30,1.2950 30,1.2950 30,1.2950 30,1.2950 30,1.2950
4,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.4000 30,2.4000 30,2.4000 30,2.4000 30,2.4000 30,2.4000	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3000 30,1.3000 30,1.3000 30,1.3000 30,1.3000 30,1.3000
4,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.4250 30,2.4250 30,2.4250 30,2.4250 30,2.4250 30,2.4250	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3100 30,1.3100 30,1.3100 30,1.3100 30,1.3100 30,1.3100
5,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.4500 30,2.4500 30,2.4500 30,2.4500 30,2.4500 30,2.4500	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3200 30,1.3200 30,1.3200 30,1.3200 30,1.3200 30,1.3200
6,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.4750 30,2.4750 30,2.4750 30,2.4750 30,2.4750 30,2.4750	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3300 30,1.3300 30,1.3300 30,1.3300 30,1.3300 30,1.3300
7,500	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.5000 30,2.5000 30,2.5000 30,2.5000 30,2.5000 30,2.5000	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3400 30,1.3400 30,1.3400 30,1.3400 30,1.3400 30,1.3400
10,000	1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 9,0	30,2.5250 30,2.5250 30,2.5250 30,2.5250 30,2.5250 30,2.5250	35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950 35,1.3950	30,1.3500 30,1.3500 30,1.3500 30,1.3500 30,1.3500 30,1.3500

Aquamec Equipamentos Ltda

D) AERADORES

Os aeradores são empregados, de forma geral, em sistemas de tratamento de efluentes para estabilização ou sustentação de processos biológicos pela introdução de oxigênio ao meio; bem como garantir a agitação necessária para manter um contato íntimo entre os microorganismos e a matéria orgânica e evitar a deposição de sólidos.



Aquamec Equipamentos Ltda

Fig. 11 - Lagoas de aeração para processo biológico.

Esses processos biológicos, por exemplo os de lodos ativados, ocorrem em tanques ou lagoas de aeração e são a base da depuração da matéria orgânica do efluente, que não pode ser removida por meios “convencionais”, tais como decantação, por estar solubilizada. Os metabólitos dessa cultura biológica são, finalmente, substâncias inorgânicas que podem ser removidas por processos físico-químicos.

Os métodos empregados para a aeração podem ser divididos em três classes principais, pelo seu princípio de funcionamento:

- Aeradores mecânicos

Os de fluxo ascendente são equipamentos dotados de hélices ou pás rotativas que aspergem o efluente sobre a lagoa ou tanque, gerando a turbulência responsável pela captura do oxigênio do ar pelas gotículas do líquido e pelas ondulações na superfície líquida; já os de fluxo descendente são dotados de um rotor montado sobre um eixo oco perfurado que ao bombear o líquido para baixo promove o arrastamento de ar e assim a introdução de oxigênio no efluente. Podem ser de alta rotação (fluxo ascendente e descendente) ou baixa rotação (fluxo ascendente), transferindo cerca de $1,2 \text{ kgO}_2/\text{cv.h}$, $0,8 \text{ kgO}_2/\text{cv.h}$ e $1,6 \text{ kgO}_2/\text{cv.h}$, respectivamente, em condições padrão de ensaio.

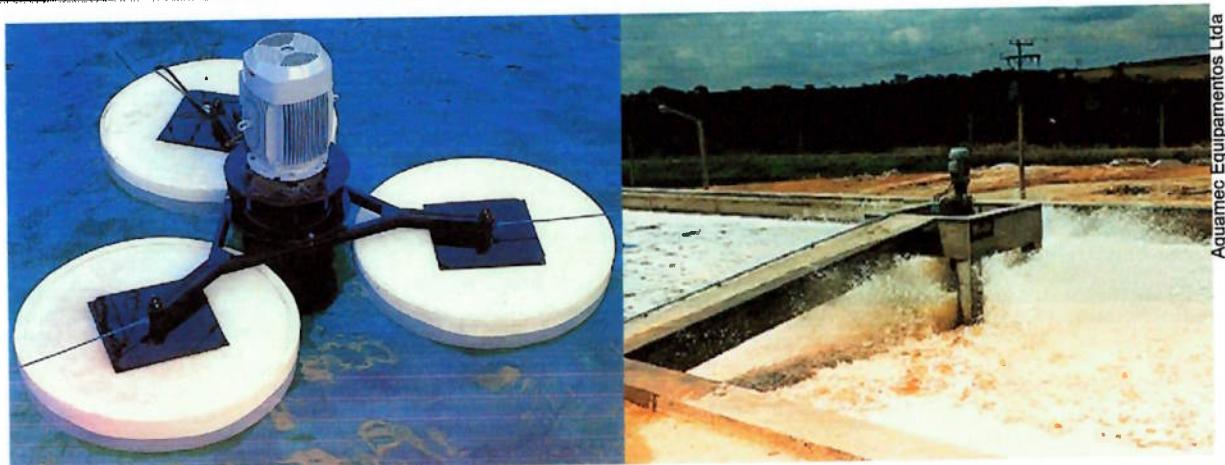


Fig. 12 - Aeradores mecânicos de alta e baixa rotação, respectivamente.

- Difusores de ar

São sistemas submersos de insuflação de ar em tanques de aeração em que bolhas percorrem a altura do nível líquido gerando turbulência e promovendo a dissolução do oxigênio daquelas bolhas no efluente. Podem ser de bolhas grossas, médias ou finas, transferindo cerca de 0,5 kgO₂/cv.h, 1,1 kgO₂/cv.h e 2,3 kgO₂/cv.h, respectivamente, em condições padrão de ensaio.

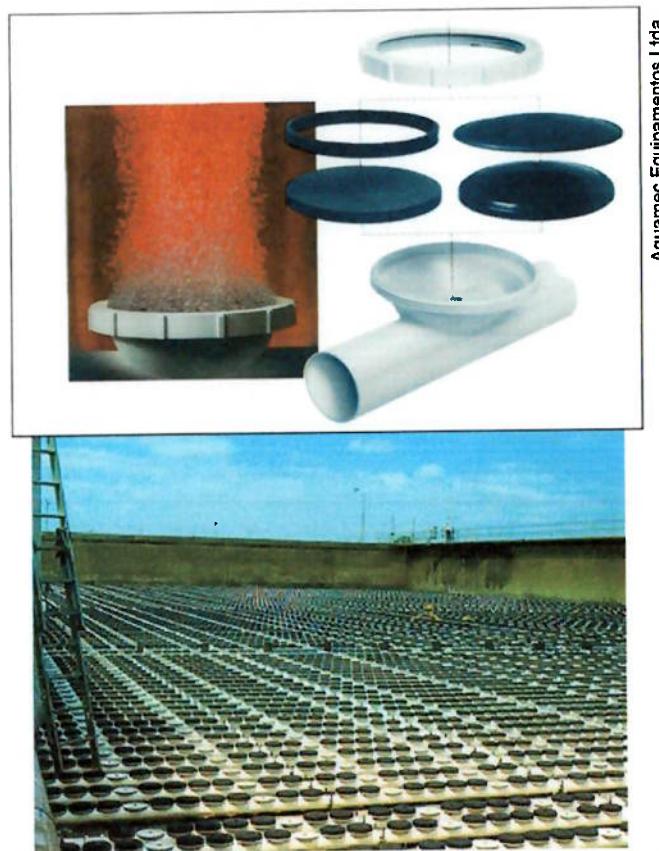
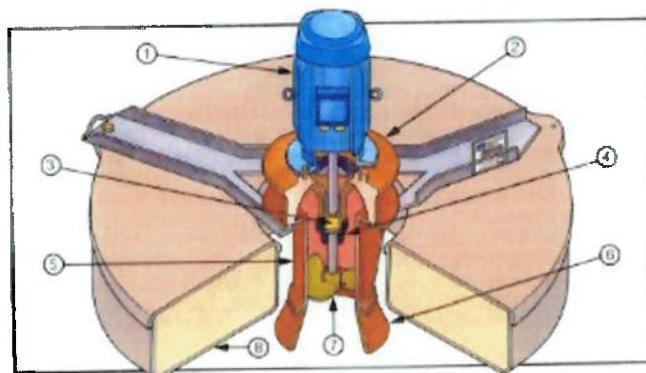


Fig. 13 - Difusor de ar tipo bolhas finas, já montados em tanque de aeração.

- **Oxigênio Puro**

O princípio é semelhante ao dos difusores de ar, porém se utiliza oxigênio puro. É um sistema caro, devido ao uso de membranas que separam o O₂ do ar, como uma pequena unidade de produção de O₂, e portanto pouco utilizado.

Os modelos de aeradores mecânicos podem ser segregados pela densidade de potência que introduzem: para os de alta rotação 30 W/m³ no máximo, e para os de baixa rotação 75 W/m³ no máximo. Para as lagoas, que necessitam de 3 a 12 W/m³, tanto os de alta como os de baixa rotação são aplicáveis; para tanques, em que se utilizam altas concentrações de lodo e, portanto, altas densidades de potência (acima de 30 W/m³), os aeradores de baixa rotação são recomendados.



Aquamec Equipamentos Ltda

Fig. 14 - Esquema do aerador mecânico de alta rotação, fluxo ascendente.

Quanto à profundidade da lagoa ou tanque, os aeradores mecânicos podem ser instalados numa faixa de 0,5 a 8,0 m, enquanto que os difusores de ar somente são viáveis para profundidades de 4,0 a 6,0 m. Há também que levar em consideração a zona de mistura e a densidade de potência introduzidas na lagoa pelos aeradores mecânicos, sendo que a disposição final é um compromisso entre ambas.

O dimensionamento do sistema de aeração é feito através da vazão do efluente, do tempo de detenção necessário e da demanda de oxigênio do processo, ou seja, através da definição da quantidade de O₂ requerido no processo biológico.

Podemos escrever que o volume (V) de lagoa necessário é dado pela relação entre vazão (Q) e tempo de detenção (t):

$$V = Q \cdot t$$

Conhecendo-se a demanda de oxigênio do processo (D_O) e definindo-se um tipo de aerador, consequentemente sua taxa de

introdução de oxigênio (T_o), calcula-se a potência de aeração necessária (P_o):

$$P_o = \frac{D_o}{T_o}$$

Pelas dimensões da lagoa, ou por estabelecimento prévio do tipo de aerador, pode-se escolher a combinação de modelos a utilizar (ver tab. 6 abaixo), tendo em vista que cada modelo é adequado para uma certa profundidade de tanque ou tipo de aplicação.

Sabendo o modelo de aerador a utilizar, e consequentemente sua potência unitária (p) e o rendimento mecânico total (η_m), podemos calcular a quantidade (N) de aeradores a utilizar:

$$N = \frac{P_o}{\eta_m \cdot p}$$

Tab. 6 – Dados típicos de aeradores.

	Alta Rotação	Alta Rotação aspirado	Baixa Rotação	Ar Difuso
Potências disponíveis (cv)	1-2-3-5-7,5-10-15-20-25-30-40-50-60-75	3-5-7,5-10-15-20-25-30	5-7,5-10-15-20-25-30-40-50-60-75-100-125-150	(qualquer)
Profundidade mínima	0,3 a 2,0 m (com uso de acessório antierosão)	1,5 a 2,5 m	1,5 a 3,6 m (com uso de acessório antierosão)	4,0 m
Profundidade de operação normal	1,0 a 2,4 m para 1 cv 2,6 a 5,9 m para 75 cv	1,5 a 3,0 m para 3 cv 2,5 a 3,0 m para 30 cv	1,8 a 2,4 m para 5 cv 4,0 a 4,9 m para 150 cv	~5,3 m
Profundidade máxima	Até 8,0 m (com tubo de tiragem)	3,0 m	Até 8,0 m (com tubo de tiragem)	6,0 m
Taxa padrão de introdução de O_2	~1,2	~0,8	~1,6	~2,3

E) REMOVEDORES E ADENSADORES DE LODO

Os removedores ou decantadores são equipamentos utilizados para promover a remoção de partículas sedimentáveis de material inorgânico fino e parte do material orgânico presente em grandes concentrações, exigindo um tempo de repouso da ordem de horas.



Fig. 15 - Removedores circulares em planta de tratamento.

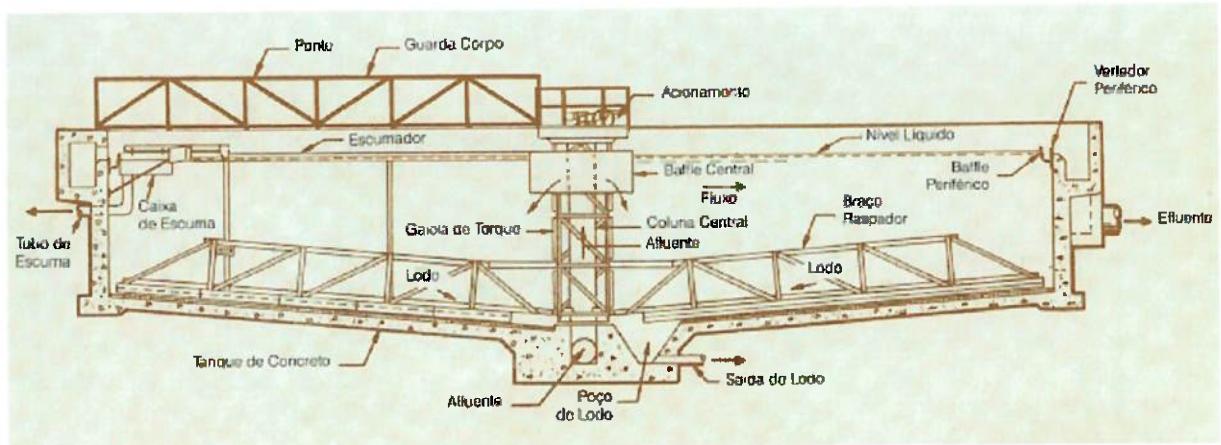
A remoção é feita pelo processo de sedimentação dos sólidos, que pode ocorrer de três maneiras distintas: sedimentação livre, frenada e floculada; dependendo da natureza das partículas.

Podem ser construídos na forma retangular ou circular, sendo características principais o tipo de fundo (pouco inclinado, inclinado e com poços de lodo), o sistema de remoção do lodo (mecanizado ou simples), o sentido do fluxo (horizontal ou vertical) e os dispositivos de entrada e saída (vertedores, canaletas, tubulações múltiplas e tipos especiais).

Para o correto funcionamento do equipamento e para que não haja condições desfavoráveis à retenção do lodo, devem-se também respeitar algumas regras construtivas: para removedores retangulares a profundidade deve ficar entre 1,5 e 4,5 m, para circulares em torno de 4 m; a relação comprimento/profundidade deve ser ≤ 30 ; a relação comprimento/largura deve ser maior que 2, mas menor que 10; a vazão média por metro de vertedor deve ser mantida entre 2 a 7 litros por segundo.

Os adensadores, por sua vez, são equipamentos semelhantes aos decantadores, têm o mesmo princípio de funcionamento e portanto características construtivas também semelhantes. No entanto, enquanto os decantadores se destinam à sedimentação de material em suspensão no efluente, formando um lodo de fundo, os adensadores se encarregam de decantar novamente este lodo, tornando sua concentração de sólidos mais alta.

A diferença básica entre removedores e adensadores é que os primeiros trabalham com o efluente propriamente dito e os outros com o material já decantado em outras etapas. Por esse motivo, os adensadores trabalham com uma carga maior e têm a estrutura mais resistente que os removedores.



Aquamec Equipamentos Ltda

Fig. 16 - Esquema de um adensador circular de acionamento central.

O dimensionamento dos removedores e decantadores é feito tomando-se como base uma taxa de sedimentação superficial, de forma semelhante às caixas de areia, dada pela seguinte relação:

$$T_s (\text{m}/\text{h}) = \frac{\text{Vazão} (\text{m}^3/\text{h})}{\text{Superfície} (\text{m}^2)}$$

Esta taxa varia de acordo com a aplicação e segurança de operação desejada, e apresenta normalmente os seguintes valores:

Tab. 7 – Taxas de decantação em função do processo.

Tipo de decantação	T_s (m ³ /m ² dia)	Vel. de decantação (m/h)
Decantação primária de esgoto cru	30 – 60	1,25 – 2,50
Decantação após floculação	18 – 30	0,75 – 1,25
Decantação após precipitação química	27 – 60	1,12 – 2,50
Decantação secundária em processos biológicos	36 – 60	1,50 – 2,50
Decantação final na oxidação total	12 – 24	0,50 – 1,00

O tempo de retenção nos decantadores primários é da ordem de 2h, e nos decantadores secundários da ordem de 2 a 4h.

Sabendo-se o tipo de processo e a vazão (Q) do efluente podemos determinar a área superficial (S) necessária do removedor:

$$S = \frac{Q}{T_s}$$

Para tanques circulares, o diâmetro (D) necessário é dado por

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Para tanques retangulares, definida uma largura (b, de 3 a 30 m) pode-se determinar o comprimento necessário por

$$S = \frac{b}{b}$$

O tipo de lodo é também importante para determinar a potência de acionamento dos removedores ou adensadores, bem como seu tipo de acionamento: tração periférica ou central para os do tipo circular; trilhos simples ou cremalheira para os do tipo retangular.

Para tanto se usam valores de carga distribuída nas lâminas raspadoras, obtidos pela experiência industrial, de acordo com os efluentes, como mostrado na tabela a seguir.

Tab. 8 - Cargas nas lâminas raspadoras para os diferentes tipos de efluentes e processos.

Aqua-Tec Equipamentos Ltda

PROCESS TORQUE REQUIREMENTSLIGHT TORQUE MARKET (MAINLY MUNICIPAL)

$$T = K_L D^2$$

APPLICATION	K _L AT NORMAL CONTINUOUS OPERATING TORQUE	w = LBS/FT. UNIFORM SCRAPER BLADE LOAD EQUIVALENCY TO K _L
MUNICIPAL PRIMARY SEWAGE	2	8
MUNICIPAL SECONDARY SEWAGE INCLUDES ACTIVATED SLUDGE & TRICKLING FILTER SYSTEMS	1.5	6
MUNICIPAL WATER TREATMENT PRIMARY CLARIFICATION - LOW TURBIDITY (NOT SOFTENING)	3	12
MUNICIPAL SEWAGE FLOTATION THICKENERS ON WASTE SLUDGE	4.5	18
MUNICIPAL SEWAGE GRAVITY THICKENERS ON WASTE SLUDGE	6.25	25
MUNICIPAL WATER TREATMENT LIME SOFTENING (INCLUDES SOLID CONTACT CLARIFIERS)	4 to 6	16 to 24
MUNICIPAL WATER TREATMENT. BACKWASH WATER FROM SAND FILTERS.	4.5	18
SOLIDS CONTACT CLARIFIER. MUNICIPAL PRIMARY SEWAGE. LIME FOR pH CONTROL & OR REMOVAL OF PHOSPHORUS.	6	24
SOLIDS CONTACT CLARIFIER. MUNICIPAL WATER TREATMENT. TURBIDITY REMOVAL ONLY.	3	12
MUNICIPAL WATER TREATMENT. LIME SLUDGE (CALCIUM CARBONATE) THICKENING. 10 TO 20% UNDERFLOW SOLID CONCENTRATION	12.5	50

HEAVY TORQUE MARKET (MAINLY INDUSTRIAL)

$$T = K_H D^2$$

APPLICATION	K _H AT CUTOUT (STALL) TORQUE APPROX. 70% YIELD	w = LBS/FT. UNIFORM SCRAPER BLADE LOAD EQUIVALENCY TO K _H
WATER SOFTENING (LIME SYSTEM)	20	80
PAPER WASTE PRIMARY CLARIFICATION	20	100 to 120
BOF & BLAST FURNACE FLUE DUST WET SCRUBBER WASTE WATER	50 to 70	200 to 280
FINE MILL SCALE - FINISHING LINES (15 TO 20% SOLID CONCENTRATION IN UNDERFLOW)	20	80
COARSE MILL SCALE	40	160
COAL PROCESSING (REFINING) WASTE	20	80
PLATING WASTE	20	80
METALLIC CONCENTRATES, MAGNETITE, ETC. (DEPENDING UPON PARTICLE SIZE AND UNDERFLOW DENSITY)	60 to 120	240 to 480
POWER GENERATION - COAL COMBUSTION WET SCRUBBER WASTE WATER WITH SO ₂ REMOVAL (LIME SYSTEM)	15	100
BEET PROCESSING (WASH WATER)	15	60
ZIMPRO, HEAT TREATED SLUDGE	18.75	75

F) DESIDRATADORES DE LODO

O processo de tratamento de efluentes gera, principalmente no decorrer das etapas de decantação, uma série de resíduos, ou lodo concentrado, que devem ser posteriormente dispostos adequadamente.

Esse lodo líquido apresenta tipicamente uma concentração de 1 a 7% de sólidos secos por m³, tornando-se portanto de difícil manuseio e de disposição dispendiosa.

Para eliminar esse problema usam-se estágios de desidratação que reduzem a quantidade de água no lodo, aumentando a concentração de sólidos secos para valores da ordem de 25% por m³ de lodo, tornando-o de consistência sólida, reduzindo bastante seu volume e facilitando seu manuseio.

Essa concentração de sólidos final é característica do tipo de lodo, e não da forma de desidratação mecânica.

O método de desidratação comumente utilizado envolve inicialmente uma etapa química, que consiste na adição de um polieletrólio ao lodo para que ocorra a floculação dos sólidos, e uma etapa mecânica, que promove a separação da parte sólida da parte líquida. A etapa de separação mecânica é normalmente feita por centrifugação ou por prensagem, sendo esta última a mais difundida.



Fig. 17 - Prensa desaguadora.

Os equipamentos, denominados prensas desaguadoras, são compostos por telas filtrantes rotativas dispostas em estágios progressivos de pressão: separação por gravidade, prensagem de baixa pressão e prensagem de alta pressão; e são classificados de acordo com o grau de desidratação e tamanho dos estágios de prensagem (nº. de rolos), como segue:

- **Série 1 – Adensamento**

Servindo para o adensamento do lodo e não para uma desidratação de secagem, possuem alta capacidade hidráulica por trabalharem com baixas concentrações de sólidos secos (0,7 a 1,5%), apenas uma tela e dois estágios de pressão (gravidade e baixa pressão), sendo possível obter concentrações de sólidos secos de até 7%.

- **Série 2 – Média pressão**

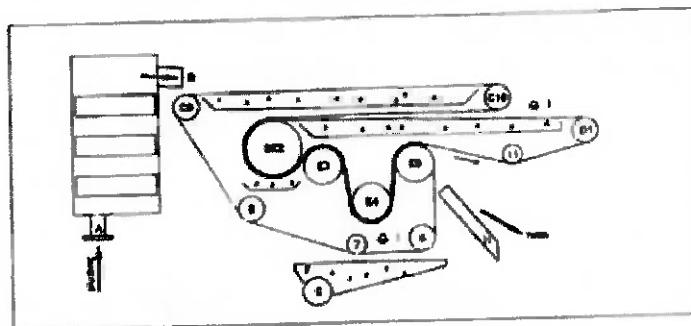
A capacidade de trabalho é determinada pelo tipo de lodo por receberem concentrações maiores que 1,5%; possuem duas telas filtrantes e três estágios de pressão (gravidade, baixa pressão e média pressão), sendo possível garantir os valores mínimos de concentração de sólidos na torta para cada tipo de lodo.

- **Série 3 – Alta pressão**

Semelhantes à série acima, possuem duas telas filtrantes e três estágios de pressão (gravidade, baixa pressão e alta pressão), diferindo apenas no número de rolos, garantindo uma concentração de sólidos na torta um pouco superior (cerca de 2% mais secos).

- **Série 4 – Alta pressão, alta capacidade**

Diferem das anteriores apenas na quantidade de rolos no estágio de alta pressão, possibilitando garantir concentrações de sólidos na torta próximas aos máximos permitidos pelo tipo de lodo.

**SÉRIE 2 - PRESSÃO MÉDIA - NORMAL
11 ROLOS**


Aquamec Equipamentos Ltda

- A - TANQUE DE FLOCULAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE LODO
 B - ENTRADA DE LODO FLOCULADO
 C - ZONA DE GRAVIDADE
 D - ZONA DE CUNHA
 E - ZONA DE PRESSÃO
 F - BANDEJA DE FILTRADO
 G - SAÍDA DE FILTRADO
 H - DESCARGA DA TORTA
 I - SISTEMA DE LAVAGEM DA TELA
 J - TAMBOR DE ESTICAMENTO DA TELA INFERIOR
 K - TAMBOR DA ZONA DE CUNHA
 L - TAMBOR DE PRESSÃO
 M - TAMBOR DE PRESSÃO
 N - TAMBOR DE AÇÃO NAMENTO
 O - TAMBOR GUIA DA TELA SUPERIOR
 P - TAMBOR DE ALINHAMENTO DA TELA SUPERIOR
 Q - TAMBOR GUIA DA TELA SUPERIOR
 R - TAMBOR GUIA DA TELA SUPERIOR
 S - TAMBOR DE ESTICAMENTO DA TELA SUPERIOR
 T - TAMBOR DE ALINHAMENTO DA TELA SUPERIOR

Fig. 18 - Esquema de prensa desaguadora de média pressão.

A série mais utilizada é a 2, pois apresenta a melhor relação custo-benefício. A série 1 geralmente é substituída por um adensador convencional, sendo utilizada apenas em casos específicos pouco comuns; a série 3 apresenta uma melhoria de performance não significativa em termos de redução de volume do lodo e um custo muito maior que a série 2, sendo utilizada apenas quando o processo subsequente necessitar de sólidos com concentração mais garantida; por fim, a série 4 historicamente quase nunca foi utilizada, pois é um equipamento extremamente caro e grande que pouco justifica seu uso. A tabela abaixo mostra características das prensas série 2 e série 3.

Tab. 9 – Características típicas de prensas desaguadoras.

	Série 2	Série 3
Larguras de tela*	750	1000
	1000	1250
	1250	1500
	1500	1750
	1750	2000
	2000	2250
Área de tela de filtragem	5,4 m ² a 14,0 m ²	16,3 m ² a 23,9 m ²
Quantidade de rolos	11	15

* As larguras efetivas são 150 mm menores.

A literatura apresenta tabelas (ver tab. 10) de performance de prensas desaguadoras, baseadas na experiência de projetos, para diferentes tipos de lodo, sendo o seu dimensionamento feito a partir das mesmas.

O dimensionamento do sistema de desidratação é feito como segue:

Dada uma vazão (Q) de determinado lodo, com uma dada concentração de sólidos secos (C_{ss} em %) e uma dada massa específica (ρ), escrevemos a carga de sólidos total (M) como

$$M = Q \cdot \rho \cdot C_{ss}$$

Se considerarmos que o sistema de desidratação funciona h_t horas por dia, teremos uma carga de trabalho (M_t) de

$$M_t = \frac{M \cdot 24}{h_t}$$

Para uma dada capacidade das prensas (C_p) teremos uma largura de tela (L) necessária de

$$L = \frac{M_t}{C_p}$$

E, tomando-se as larguras padronizadas efetivas das prensas (L_p) teremos a quantidade mínima de máquinas necessária (P) dada pelo menor inteiro maior que

$$P = \frac{L}{L_p}$$

Como há vários tamanhos de equipamento possíveis, para determinar a opção mais econômica calcula-se P para cada uma das larguras, adotando-se aquela que apresentar a maior parte fracionária.

Tab. 10 – Performance de prensas desaguadoras para diferentes tipos de lodo.

<i>Tipo de lodo</i>	<i>Natureza e origem</i>	<i>Concentração de chegada (%)</i>	<i>Capacidade (kg_{ss}/m³/h)</i>	<i>Concentração máxima (%)</i>	<i>Consumo de polímero (kg_{pol}/t_{ss})</i>
<i>Orgânico hidrofílico</i>	<i>Efluente doméstico:</i> Lodo primário fresco Lodo primário digerido Mistura fresca Mistura digerida Aeração estendida ou estabilização aeróbica Físico-químico ($FeCl_3$ 150 mg/l, cal 200 mg/l) <i>Efluente industrial:</i> Laticínios – aeração estendida	5 – 10 4 – 9 3,5 – 8 3 – 7 1,5 – 3,5 4 – 8 2 – 3,5	250 – 400 250 – 500 130 – 300 120 – 350 80 – 150 200 – 300 50 – 90	20 – 35 20 – 36 18 – 28 18 – 28 15 – 25 20 – 27 11 – 16	2 a 7 kg _{pol} /t _{ss}
<i>Inorgânico hidrofóbico</i>	<i>Remoção de carbonatos:</i> (Fe/SS) < 1% ; (Mg/SS) < 2% 1% < (Fe/SS) < 5% Incineração de refugos – lavagem dos gases Aceraria – gases de autoforno	15 – 30 10 – 20 15 – 25 15 – 25	500 – 1000 300 – 700 800 – 1000 400 – 700	55 – 70 45 – 65 40 – 50 38 – 55	2 a 7 kg _{pol} /t _{ss}
<i>Fibroso</i>	<i>Manufatura semi-química de polpa:</i> Fibras + serragem Pedaços + serragem Papeleira – flocação com sal de Alumínio	4 – 7 8 – 15 2,5 – 4	200 – 400 600 – 1000 100 – 350	25 – 36 35 – 36 22 – 30	não necessita não necessita 1 – 2
<i>Inorgânico hidrofílico</i>	Água potável – flocação (sal de Al ou Fe) Remoção parcial de carbonatos Plantas de tinturas orgânicas – flocação (sal de Fe)	3 – 6 5 – 8 7 – 10	80 – 150 150 – 200 150 – 250	16 – 23 25 – 33 25 – 30	1,5 – 3 1 – 2 2 – 3

IV. LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS E ELEMENTOS DE INTERLIGAÇÃO

A) SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

i) Principais tipos de bombas

As normas e especificações do Hydraulic Institute estabelecem quatro classes de bombas:

- Centrífugas
- Rotativas
- Estáticas (de êmbolo,pistão ou deslocamento positivo)
- Bombas de Poço Profundo (tipo turbina)

As instalações para água e esgoto geralmente são equipadas com bombas centrífugas acionadas por motores elétricos e bombas estáticas (Deslocamento Positivo).

ii) Parâmetros para definição das máquinas de fluxo

A rotação específica referida à vazão representa a rotação de uma máquina definida (bomba ou turbina), de forma construtiva definida (p. ex. bomba radial, turbina Kaplan), operando sob vazão e cargas unitárias. Desta forma, todas com valores de carga e vazão diferentes da unidade mas com a mesma rotação específica referida à vazão formarão no mesmo grupo ou família de máquinas, o que significa terem características semelhantes de operação e serem geometricamente semelhantes.

$$n_q = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

em que,

n = rotação em rpm

Q = vazão em volume em m³/s

H = altura manométrica total (bomba) em m

iii) Seleção de bombas

De acordo com a rotação específica podemos selecionar o tipo de máquina de fluxo, neste caso, as bombas.

Para,

- $nq < 10 \rightarrow$ Bomba Estática
- $10 < nq < 40 \rightarrow$ Bomba Dinâmica com escoamento radial
- $35 < nq < 85 \rightarrow$ Bomba Dinâmica com escoamento misto
- $80 < nq < 150 \rightarrow$ Bomba Dinâmica com escoamento diagonal
- $125 < nq < 500 \rightarrow$ Bomba Dinâmica com escoamento axial

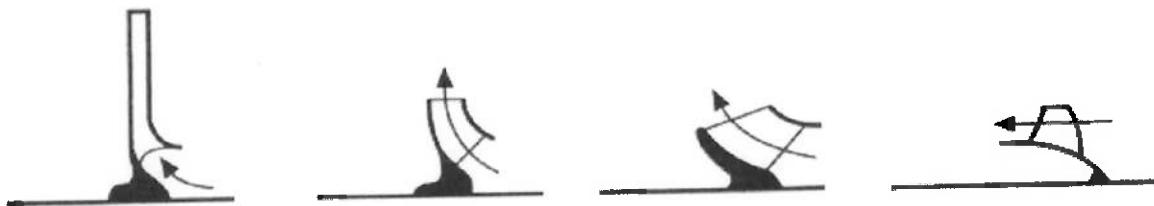


Fig. 19 - Da esquerda para direita Rotores com escoamento Radial, Misto, Diagonal e Axial

iv) Associação de Bombas

Para as associações de bombas (considerando as bombas da associação como sendo iguais):

Associação em Série:

$$H_{ass} = j \cdot H_j$$

$$Q_{ass} = Q_j$$

em que,

H_{ass} = altura manométrica da associação

j = quantidade de bombas

H_j = altura manométrica referente a cada bomba

Q_{ass} = vazão da associação

Q_j = vazão que passa pelo rotor de cada bomba

$$n_{q1} = j^{0,75} \cdot n_{qass}$$

em que,

n_{q1} = rotação específica de uma bomba

n_{qass} = rotação específica da associação

Associação em Paralelo:

$$Q_{ass} = j \cdot Q_j$$

$$H_{ass} = H_j$$

em que,

H_{ass} = altura manométrica da associação

j = quantidade de bombas

H_j = altura manométrica referente a cada bomba

Q_{ass} = vazão da associação

Q_j = vazão que passa pelo rotor de cada bomba

$$n_{ass} = j^{0,5} \cdot n_{q1}$$

em que,

n_{q1} = rotação específica de uma bomba

n_{qass} = rotação específica da associação

v) Características de operação de Máquinas de Fluxo

As características operacionais de hidráulica de maior significado para as máquinas de fluxo são a vazão Q , a altura manométrica H , a rotação n , e o rendimento η . Outros parâmetros importantes para a escolha de uma bomba são o NPSH e a Potência (potência que a bomba transmite ao fluido).

Bombas de Fluxo têm suas características (H, Q) representadas graficamente por $H=f(Q)$. Os demais parâmetros de interesse são apresentados em figuras independentes, sempre em função da vazão, conforme mostrado na figura abaixo.

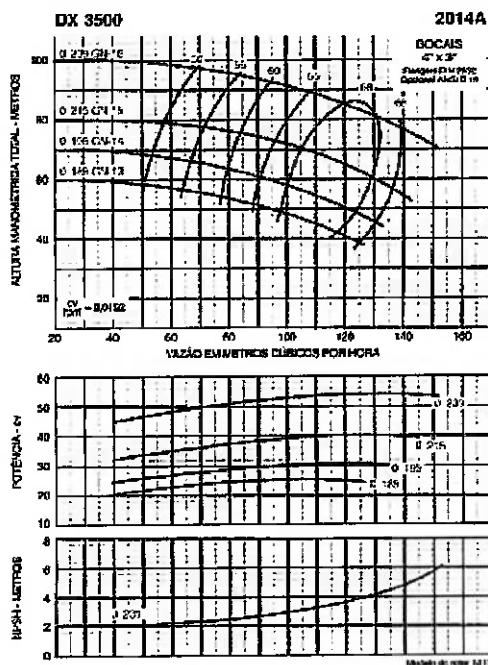


Fig. 20 – Curvas características da bomba DX3500 da Mark Peerless.

vi) Cavitação

A cavitação caracteriza-se pela formação de uma fase de vapor de líquidos em regiões submetidas a pressões reduzidas, mantida a temperatura do meio constante. Sua ocorrência está condicionada à presença de núcleos livres de gás no meio fluido e que participam como indutores da vaporização nas regiões submetidas à pressão de vapor do líquido. A cavitação irá ocorrer se estes núcleos tornarem-se instáveis e crescerem quando submetidos a uma redução de pressão.

Formadas nas regiões de baixa pressão do escoamento, as micro bolhas são carregadas pelo mesmo e, atingindo campos de pressão mais elevada, implodem. A região de cavitação apresenta a formação e colapso de milhões de micro bolhas de vapor de gases, induzindo vibrações em amplo espectro de freqüências elevadas. Como consequência desta implosão, desenvolve-se um micro-jato que, ao incidir sobre superfícies sólidas, erode-as.

A identificação da sensibilidade de máquinas e instalações à cavitação é determinada por parâmetros numéricos apoiados em expressões empíricas. Utiliza-se o NPSH (Net Point Suction Head) como referência de parâmetro para a ocorrência de cavitação.

O NPSH obtido pelo ensaio da máquina é chamado de NPSH requerido, por ser a carga absoluta na face de sucção da máquina exigida por ela para operação.

$$NPSH_r = \frac{P_{Eabs} - P_{Vabs}}{\rho \cdot g} + \frac{V_E^2}{2g}$$

em que,

P_{Eabs} = pressão na face de sucção da máquina (absoluta)

P_{Vabs} = pressão de vapor do líquido à temperatura de operação (absoluta)

V_E = velocidade na face de sucção da máquina

O NPSH obtido pela configuração da instalação é chamado de NPSH disponível, por ser a carga absoluta na face de sucção da máquina que a instalação disponibiliza para a mesma.

$$NPSH_d = H_{atm} \pm H_s - \Delta h_s - h_s$$

em que,

H_{atm} = pressão atmosférica

H_s = altura de sucção

Δh_s = perda de carga na sucção

h_v = carga de vapor líquido

Tab. 11 – Variação da pressão atmosférica em função da altitude.

Altitude (m)	0	170	340	690	1045	1420	1820	2240	2680	3140
H_{atm} (mca)	10,33	10,12	9,92	9,52	9,11	8,70	8,29	7,88	7,48	7,07

Tab. 12 – Pressão de vapor da água em função da temperatura.

Temperat. (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
h_v (mca)	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,033	4,831	10,33

Nota-se que a mudança do NPSH_r somente acontece se alterada a geometria do rotor da máquina, enquanto que o NPSH_d é alterado pela mudança da configuração da instalação.

Em linhas gerais têm-se as três condições abaixo:

- NPSH_d < NPSH_r, então sempre ocorrerá cavitação.
- NPSH_d = NPSH_r, ocorrerá cavitação inevitavelmente, apesar da igualdade.
- NPSH_d > NPSH_r, não ocorrerá cavitação (Obs.: deve-se deixar uma margem de segurança).

O fabricante da bomba fornece o gráfico de $NPSH=f(Q)$. Ver fig. 20. Note que por razões de custo de ensaio as bombas fabricadas em série (mais de uma configuração de rotor para o mesmo tipo de equipamento) normalmente têm suas curvas de NPSH limitadas à correspondente ao maior diâmetro de rotor. O uso destes valores para rotores de diâmetros menores irá contribuir para um aumento da segurança relativa à cavitação, visto serem os seus valores de NPSH inferiores àqueles referentes ao maior diâmetro.

vii) Bombas Centrífugas

Para atender ao seu grande campo de aplicação, as bombas centrífugas são fabricadas nos mais variados modelos, podendo a sua classificação ser feita segundo vários critérios.

1. Movimento do líquido:

- a) sucção simples (rotor simples);
- b) dupla sucção (rotor de dupla admissão).

2. Admissão do líquido:

- a) radial (tipos voluta e turbina);
- b) diagonal (tipo Francis);
- c) helicoidal.

3. Número de rotores (ou de estágios):

- a) um estágio (um só rotor);
- b) estágios múltiplos (dois ou mais rotores).

4. Tipo de rotor:

- a) rotor fechado;
- b) rotor semifechado;
- c) rotor aberto;
- d) rotor a prova de entupimento ("non clog").

5. Posição do eixo:

- a) eixo vertical;
- b) eixo horizontal;
- c) eixo inclinado.

6. Pressão:

- a) baixa pressão ($H_{man} \leq 15$ m);
- b) média pressão (H_{man} de 15 a 50 m);
- c) alta pressão ($H_{man} \geq 50$ m).

viii) Potência dos conjuntos elevatórios

O conjunto elevatório (bomba-motor) deverá vencer a diferença de nível entre dois pontos mais as perdas de carga em todo o percurso (perda por atrito ao longo da canalização e perdas localizadas devidas às peças especiais).

Denominam-se:

Hg = altura geométrica, isto é, a diferença de nível;

Hs = altura de sucção, isto é, altura do eixo da bomba sobre o nível inferior;

Hr = altura de recalque, ou seja, altura do nível superior em relação ao eixo da bomba

$$H_s + H_r = H_g$$

Hman = altura manométrica, que corresponde a

$$H_{man} = H_g + \text{perdas de carga totais } (h_f).$$

A potência de um conjunto elevatório será dada por

P = potência em cv ou, praticamente, em HP,

$$P = \frac{\gamma Q H_{man}}{75\eta}$$

γ = peso específico do líquido a ser elevado (água ou esgoto: 1000 kgf/m³);

Q = vazão ou descarga, em m³/s;

Hman = altura manométrica em m;

η = rendimento global do conjunto elevatório;

$$\eta = \eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$$

Admitindo-se um rendimento global médio de 67% e exprimindo-se a vazão em l/s, encontra-se, para água ou esgoto,

$$P = \frac{Q H_{man}}{50}$$

ix) Potência instalada

Deve-se admitir, na prática, uma certa folga para os motores elétricos. Os seguintes acréscimos são recomendáveis:

Tab. 13 – Folgas de potência de motor para bombas.

50% para bombas até	2 HP
30% para bombas de	2 a 5
20% para bombas de	5 a 10
15% para bombas de	10 a 20
10% para bombas acima de	20

Os motores elétricos brasileiros são normalmente fabricados com as seguintes potências:

HP 1/4, 1/3, 1/2, 3/4, 1, 1 ½, 2, 3, 5, 6, 7 ½, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 200 e 250.

Para potências maiores os motores são fabricados sob encomenda.

x) Rendimento das máquinas

O rendimento das máquinas até certo ponto pode variar com a potência, por motivos construtivos, sendo mais elevado para as grandes máquinas. Os motores elétricos empregados por determinado fabricante de bombas, por exemplo, acusaram em média os seguintes rendimentos:

Tab. 14 – Rendimentos típicos de motores elétricos.

HP	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	5	10	20	30	50	100
η_m	64%	67%	72%	73%	75%	77%	81%	84%	86%	87%	88%	90%

As bombas centrífugas de 1750 rpm, fornecidas pelo mesmo fabricante, apresentaram os seguintes medianos:

Tab. 15 – Rendimentos típicos de bombas centrífugas.

Q, l/s	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	100	200
η_b	52%	61%	66%	68%	71%	75%	80%	84%	85%	87%	88%

O diâmetro mínimo dos tubos de sucção é de 19 mm (3/4") para as bombas de ¼ HP, e 25 mm (1") para as demais.

B) PERDAS DE CARGA NO ESCOAMENTO

A Mecânica dos Fluidos propõe que a dissipação de energia no escoamento (Perda de Carga) seja dividida em duas partes: Local e Distribuída.

i) Perda de Carga Distribuída

Ocorre ao longo de condutos retilíneos de secção transversal constante devido à viscosidade fluida e da resistência oferecida pelas paredes em virtude de sua rugosidade. O vetor velocidade permanece constante.

Existem alguns métodos para a determinação desta Perda de Carga. Sugeriremos 2 métodos, os quais consideramos como os de melhores resultados e também de maior aplicação na hidráulica.

ii) Método de Darcy-Weisbach (Fórmula Universal)

Inicialmente acharemos o Diâmetro da tubulação por onde escoa o fluido. Geralmente temos a Vazão (Q) e a Velocidade (V).

$$Q = V \cdot A$$

Para tubulações de seção circular

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Portanto,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Em seguida, determina-se o Número de Reynolds do escoamento (Re).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

em que,

ρ = massa específica

μ = viscosidade

Para:

Re < 2000, o regime de escoamento é Laminar;

Re entre 2000 e 4000, o regime é de transição;
Re > 4000, o regime é turbulento.

A Perda de Carga Distribuída é dada pela equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

em que,

L = comprimento do conduto

f = coeficiente de perda de carga distribuída, ou fator de atrito

O Fator de atrito (f) é função do Número de Reynolds e da Rugosidade absoluta interna ao tubo (e).

$$f = f(Re, e/D)$$

A rugosidade absoluta (e) é função do material do conduto, e pode ser determinada pela Fig. 21.

Se dispusermos de um software ou uma calculadora capaz de realizar iterações matemáticas, o Fator de atrito (f) pode ser determinado pela equação de Colebrook.

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -2 \cdot \log \left(\frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot f^{0,5}} \right)$$

Uma outra maneira mais prática de se determinar f é pelo diagrama de Moody. Ver fig. 22

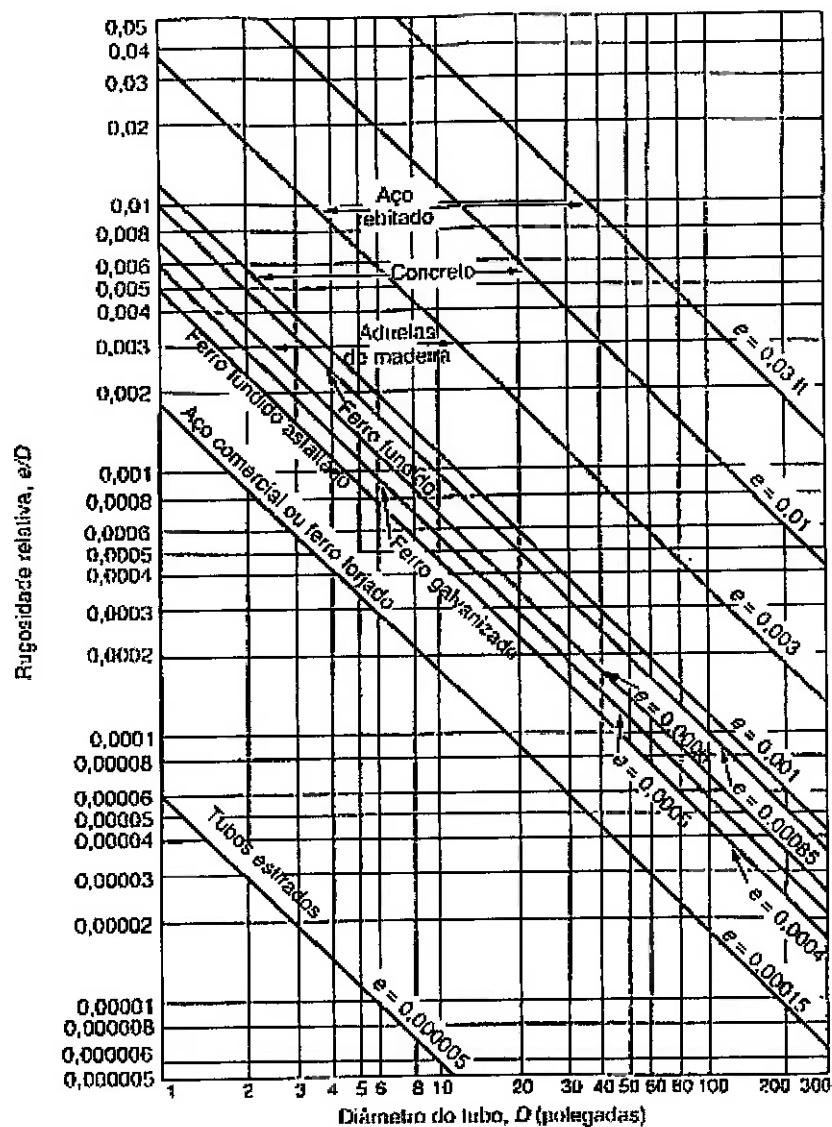


Fig. 21 – Rugosidade relativa para tubos de materiais comuns em engenharia.

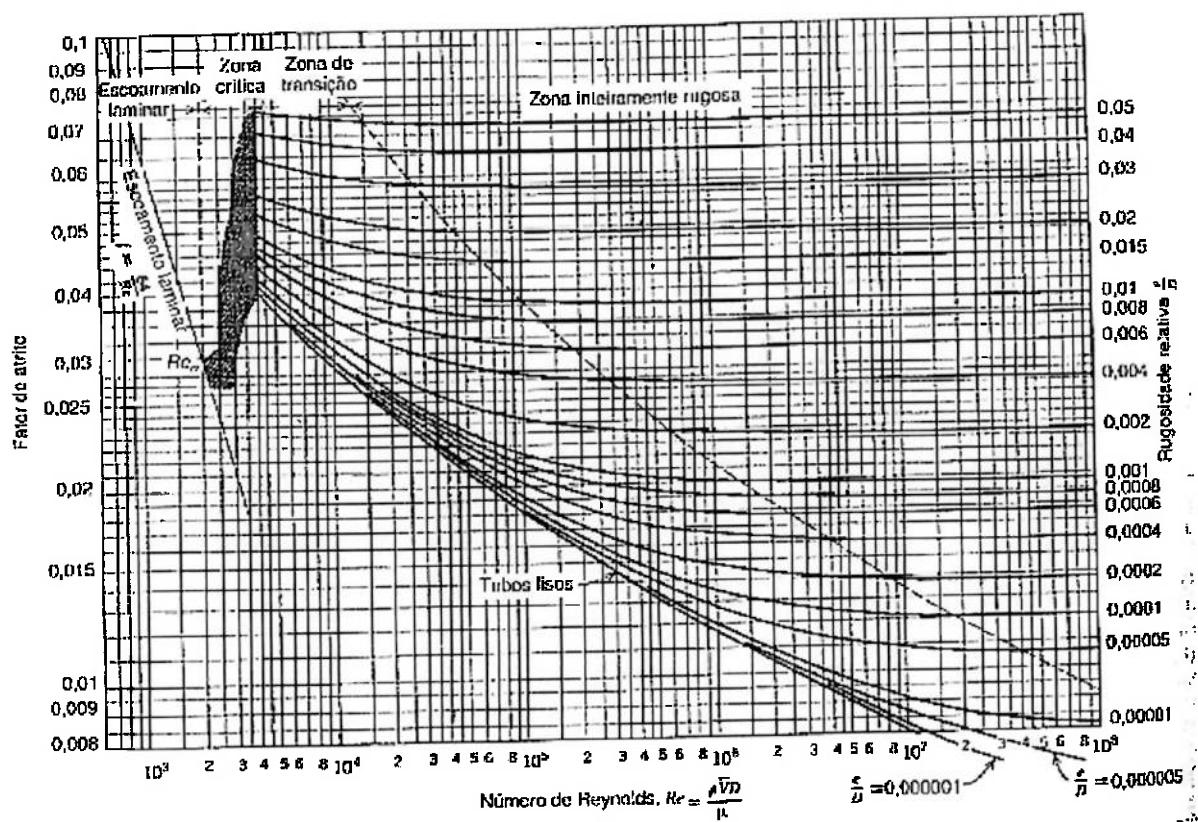


Fig. 22 – Fator de atrito para escoamento completamente desenvolvido em tubo circulares.

Determinado todos os parâmetros da equação de Darcy e Weisbach, podemos determinar a perda de carga distribuída (Δh_f).

iii) Método de Hazen-Williams e Flamant

Fórmula de Hazen-Williams

A fórmula de Hazen-Williams, com o seu fator numérico em unidades SI, é a seguinte:

$$J = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

Q = vazão (m^3/s);

D = diâmetro (m);

J = perda de carga unitária (m/m);

C = coeficiente adimensional que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos, ver fig. 23.

A fórmula também pode ser escrita explicitando-se a vazão ou a velocidade:

$$Q = 0,279 \cdot CD^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (\text{Equação 2})$$

como:

$$Q = Av = \frac{\pi D^2}{4} v$$

substituindo em (2) tem-se:

$$v = 0,355 \cdot CD^{0,63} \cdot J^{0,54}$$

em que: v = velocidade média na secção (m/s)

Tubos	Novos	Usados	Usados
		± 10 anos	± 20 anos
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	—	—
Aço galvanizado roscado	125	100	—
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	—	—
Concreto, acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	—	—
Plástico (PVC)	140	135	130

Fig. 23 – Valores do Coeficiente C sugerido para a fórmula de Hazen-Williams

Escolha Criteriosa do coeficiente C

A fórmula de Hazen-Williams, sendo das mais perfeitas, requer, para a sua aplicação criteriosa, maior cuidado na adoção do coeficiente C. A escolha negligente desse coeficiente ou a fixação de um valor médio invariável reduz de muito a precisão que se pode esperar desta fórmula.

Para tubos de ferro ou de aço, o coeficiente C é uma função do tempo, de modo que o seu valor deve prever a vida útil que se espera na canalização.

Pode-se usar, para tubos metálicos, $C = 100$. Tal valor corresponde, aproximadamente, à situação da tubulação em 15 a 20 anos, portanto dentro da vida útil esperada, quando ainda deverá estar funcionando para vazões de cálculo.

A fórmula de Hazen-Williams deve ser empregada para tubos com diâmetro maior ou igual a 50 mm. Para diâmetros menores, deve ser empregada a fórmula de Flamant.

Fórmula de Flamant

Uma fórmula muito usada para tubulações de pequenos diâmetros é a fórmula de Flamant:

$$J = 4b \cdot v^{1,75} \cdot D^{-1,25}$$

em que,

v = velocidade (m/s);

D = diâmetro (m);

J = perda de carga (m/m);

b = coeficiente adimensional do material, sendo:

b = 0,00023 para tubos de ferro ou de aço usados;

b = 0,000185 para tubos de ferro e aços novos;

b = 0,000140 para tubos de chumbo;

b = 0,000130 para tubos de cobre;

b = 0,000120 para tubos de plástico (PVC, PP, etc.).

iv) Comentários sobre os Métodos a serem utilizados para o cálculo de Perda de Carga

Observações sobre o emprego da fórmula Universal

O emprego da fórmula Universal tem-se ampliado, embora ainda não exista um conhecimento satisfatório a respeito da variação de rugosidade (e). Segundo AZEVEDO, muitos engenheiros não se sentem seguros, principalmente quando consideram o caso de tubulações sujeitas à tuberculização ou a incrustações internas.

A maioria dos dados sobre esses coeficientes corresponde a tubos novos ou a canalizações não sujeitas ao fenômeno do "envelhecimento", e por isso muitos técnicos têm sido levados a cometer enganos na avaliação do comportamento hidráulico de tubulações.

A tabela a seguir revela a grande variabilidade de valores para o coeficiente e, mostrando ao mesmo tempo os valores sugeridos.

Na prática, essas incertezas sobre as temperaturas a adotar e as rugosidades reais a encontrar anulam em grande parte as vantagens teóricas do uso das fórmulas "científicas" sobre as empíricas, pois a ordem de grandeza das imprecisões remetem ambos os métodos a uma mesma faixa de soluções.

Tab. 16 – Rugosidade dos tubos (valores de e em metros).

Material	Tubos Novos	Tubos Velhos
Aço galvanizado	0,00015 a 0,00020	0,0046
Aço soldado	0,00004 a 0,00006	0,0024
Cobre ou Latão	0,00001	0,00001
Ferro fundido	0,00025 a 0,00050	0,0030 a 0,0050
Plásticos	0,00001	0,00001

Vantagens e desvantagens da fórmula de Hazen-Williams

É uma fórmula que resultou de um estudo estatístico cuidadoso, no qual foram considerados os dados experimentais disponíveis, obtidos anteriormente por um grande número de pesquisadores, bem como dados de observações dos próprios autores.

A expressão de Hazen-Williams é teoricamente correta: as soma dos expoentes, que é 3,02, apresenta uma diferença desprezível sobre o valor teórico.

Os expoentes da fórmula foram estabelecidos de maneira a resultarem as menores variações do coeficiente numérico C para tubos de mesmo grau de rugosidade. Em consequência, o coeficiente C é, tanto quanto possível e praticável, uma função quase que exclusiva da natureza das paredes.

A grande aceitação que teve a fórmula permitiu que fossem obtidos valores bem determinados do coeficiente C. Nessas condições, pode-se estimar o envelhecimento dos tubos.

É uma fórmula que pode ser satisfatoriamente aplicada para qualquer tipo de conduto e de material. Os seus limites de aplicação são os mais largos: diâmetro de 50 a 3500 mm e velocidades até 3 m/s, ou seja, praticamente todos os casos do dia aí se enquadram.

Conclusão sobre o melhor método

Será sugerido o Método de Hazen-Williams devido a sua fácil utilização, grande aceitação no mercado, e confiabilidade de resultados.

A fórmula de Hazen-Williams é melhor aplicada para diâmetros maior ou igual a 50 mm. Para diâmetros inferiores, utilizamos a fórmula de Flamant. Já a fórmula Universal contempla o cálculo de perda de carga para todos estes diâmetros. Não é necessário a mudança de fórmulas.

Por outro lado, ressaltamos a maior facilidade da utilização do Método de Hazen-Williams e Flamant. Devido a esta facilidade, este Método é muito mais empregado que o Método de Darcy. Com esta aceitação e difusão da fórmula de Hazen-Williams, existem valores bem determinados sobre o envelhecimento de tubos, e limites de aplicação da fórmula.

Em uma ETE, são pouquíssimas as tubulações que apresentam diâmetro abaixo de 50 mm. Com isso, a contribuição da perda de carga destas tubulações são muito pequenas para a Curva do Sistema da ETE.

Se quisermos realmente estudar o comportamento destas perda de carga em tubos de pequenos diâmetros, deveremos utilizar a fórmula de Flamant. Para gerar a Curva de Perda de Carga de um Sistema em estudo, para possibilitar encontrarmos o ponto de operação de uma bomba, por exemplo, pode-se utilizar apenas a fórmula de Hazen-Williams.

v) Perda de Carga Localizada

Devido à variação da forma (vetor velocidade) imposta por peças especiais, tais como cotovelos, uniões, válvulas, etc, instaladas ao longo do conduto.

De forma geral, esta perda é dada pela equação:

$$\Delta h_s = K_s \cdot \frac{V^2}{2g}$$

em que,

K_s = coeficiente de perda de carga localizada, ou coeficiente de forma.

V = velocidade máxima do escoamento na peça

g = aceleração da gravidade

A ABNT indica alguns valores para K_s, na norma NBR-12214/1992.

Tab. 17 - Valores de K_s para determinação das perdas de carga singulares.

Perdas de carga singulares

- ALARGAMENTOS BRUSCOS.

VALORES DE K_s

$\frac{D_1}{D_2}$ V_1 (m/s)	-0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,60	1,00	1,00	0,96	0,86	0,74	0,60	0,44	0,29	0,15	0,04
1,50	0,96	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,41	0,27	0,14	0,04
3,00	0,93	0,91	0,86	0,77	0,67	0,54	0,40	0,26	0,13	0,04
6,00	0,86	0,84	0,80	0,72	0,62	0,50	0,37	0,24	0,12	0,04
12,00	0,81	0,80	0,75	0,68	0,58	0,47	0,35	0,22	0,11	0,03

Para entrada brusca de um conduto num reservatório, $K = 1$.

- ALARGAMENTOS SUAVES.

VALORES DE K_s

$\frac{D_2}{D_1}$	Ângulo de abertura do cone: θ													
	2°	4°	6°	8°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1,1	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,13	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23
1,2	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,09	0,16	0,21	0,25	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
1,4	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,12	0,23	0,30	0,36	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53
1,6	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,14	0,26	0,35	0,42	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61
1,8	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,15	0,28	0,37	0,44	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65
2,0	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,16	0,29	0,38	0,46	0,52	0,56	0,60	0,63	0,66
2,5	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,30	0,39	0,48	0,54	0,58	0,62	0,65	0,70
3,0	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,31	0,40	0,48	0,55	0,59	0,63	0,66	0,71
> 3	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,16	0,31	0,40	0,49	0,56	0,60	0,64	0,67	0,72

- ESTREITAMENTOS BRUSCOS.

VALORES DE K_s

a) $S_3 = S_2$	$\frac{S_3}{S_1}$	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	$m = \frac{S_c}{S_2} = \frac{D_c^2}{D_2^2}$	0,60	0,61	0,62	0,65	0,70	0,77	1,00
	K	0,49	0,45	0,42	0,33	0,22	0,13	0,0

b) $S_3 < S_2$	$\frac{S_3}{S_2}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,000
	m	0,615	0,614	0,612	0,610	0,607	0,605	0,601	0,596
	K	232	51	18	9,6	5,3	3,1	1,2	{0,48}

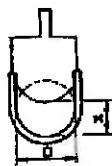
Passagem de um reservatório para um conduto: brusca - $K = 0,5$; arredondada - $K = 0,23$; bem desenhada - $K = 0$.

Cont. Tab. 17.

- VÁLVULAS PARCIALMENTE ABERTAS. VALORES DE K_s

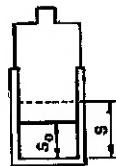
(V é a velocidade média na seção normal da canalização)

a) Válvulas de gaveta em conduto circular



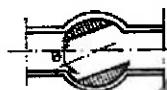
$\frac{x}{D}$	K_s	$\frac{x}{D}$	K_s	$\frac{x}{D}$	K_s	$\frac{x}{D}$	K_s
0,161	41,21	0,250	22,68	0,417	6,33	0,583	1,55
0,194	35,36	0,333	11,89	0,458	4,57	0,667	0,77
0,208	31,35	0,375	8,63	0,500	3,27	1,000	0

b) Válvulas de gaveta em conduto retangular



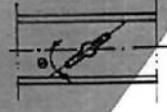
$\frac{S_0}{S}$	K	$\frac{S_0}{S}$	K	$\frac{S_0}{S}$	K	$\frac{S_0}{S}$	K
0,1	193,-	0,4	8,12	0,7	0,95	0,9	0,09
0,2	44,5	0,5	4,02	0,8	0,39	1,0	0,00
0,3	17,8	0,6	2,08				

c) Válvulas esféricas



θ°	K	θ°	K	θ°	K	θ°	K
0	0	20	1,56	40	17,3	60	206,-
5	0,06	25	3,10	45	31,2	65	436,-
10	0,29	30	5,47	50	52,6	82	∞
15	0,75	35	9,68	55	106,-		

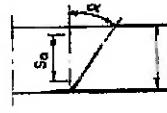
d) Válvulas de borboleta



θ°	K	θ°	K	θ°	K	θ°	K
0	-0	20	1,54	40	10,8	60	118,-
5	0,24	25	2,51	45	18,7	65	256,-
10	0,52	30	3,91	50	32,6	70	750,-
15	0,90	35	6,22	55	58,8	80	∞

e) Válvulas de retenção

$$\left(\frac{S_0}{S} = 0,535 \right)$$



α°	K	α°	K	α°	K	α°	K
15	90	30	30	45	9,5	60	3,2
20	62	35	20	50	6,6	65	2,3
25	42	40	14	55	4,8	70	1,7

Para a determinação da Perda de Carga Localizada utilizaremos o Método dos Comprimentos Equivalentes. Este método baseia-se no seguinte: cada peça especial ou conexão acarreta uma perda de carga igual à que produziria um certo comprimento de encanamento com o mesmo diâmetro. Este comprimento de tubulação equivaleria virtualmente, sob o ponto de vista de carga, ao que produz a peça considerada.

Tab. 18 – Valores de L/D para várias peças.

Tipo de peça	Número de diâmetro $\left(\frac{L}{D}\right)$
Cotovelo 90°	45
Cotovelo 45°	20
Curva longa 90°	30
Curva longa 45°	15
Alargamento gradual	12
Entrada em tubo	17
Redução gradual	0,6
Registro de gaveta aberto	8
Registro de globo aberto	350
Saída da tubulação	35
Té saída lateral	65
Té passagem direita	20
Válvula de retenção	100
Válvula de pé com crivo	250

Tab. 19 – Comprimentos equivalentes para diversas peças de ferro galvanizado.

DIÂMETRO NOMINAL D mm (ref) pol	COTOVELO RAIO LONGO		COTOVELO RAIO MÉDIO		COTOVELO 90° RAIO CURTO		COTOVELO 45°		CURVA 90° R/D - 1 1/2		CURVA 90° R/D - 1		CURVA 45°		ENTRADA NORMAL		ENTRADA DE SORTE		REGISTRO DE GAVETA ABERTO		REGISTRO DE GLOBO ABERTO		REGISTRO DE ANGULO ABERTO		TÉ PASSAGEM DIREITA		TÉ SAÍDA DE LADO		TÉ SAÍDA BILATERAL		VÁLVULA DE PÉ E CRIVO		VÁLVULA DE REtenção TIPO LEVE		VÁLVULA DE REtenção TIPO PESADO	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
15	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7										
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4	7,3	7,3	21,0	2,4	8,4	12,9										
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2	11,3	11,3	30,0	2,1	10,4	16,1										
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0	15,4	15,4	39,0	2,7	12,5	19,3										
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,6	2,6	11,6	1,0	3,2	4,8	17,4	17,4	44,0	1,0	14,0	21,0										
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4	21,0	21,0	52,0	1,5	17,0	28,0										
63	2 1/2	1,5	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,6	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,3	21,0	21,0	60,0	1,9	17,0	28,0										
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,5	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7	26,0	26,0	70,0	2,2	23,0	32,0										
100	4	2,1	2,6	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9	34,0	34,0	85,0	3,2	30,0	40,0										
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,8	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1	43,0	43,0	102,0	4,0	39,0	50,0										
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3	51,0	51,0	120,0	5,0	46,0	56,0										
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0	67,0	67,0	140,0	6,0	52,0	62,0										
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0	85,0	85,0	160,0	7,5	65,0	75,0										
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	36,0	102,0	102,0	180,0	9,0	78,0	88,0										
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	26,0	45,0	120,0	120,0	200,0	11,0	80,0	90,0										

OS VALORES INDICADOS PARA REGISTROS DE GLOBO APLICAM-SE TAMBÉM ÀS TORNEIRAS, VÁLVULAS PARA CHUVEIROS E VÁLVULAS DE DESCARGA.

Tab. 20 - Comprimentos equivalentes para diversas peças de PVC.

DIÂMETRO NOMINAL	JOELHO 90°	JOELHO 45°	CURVA 90°	CURVA 45°	TÊ 90° PASSAGEM DIRETA	TÊ 90° SAÍDA DE LADO	TÊ 90° SAÍDA BILATERAL	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	SÁIDA DE CANALIZ.	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	VALV. RETENÇÃO	TIPO LEVE	TIPO PESADO	REGISTRO GLOBO ABERTO	REGISTRO GAVETA ABERTO	REGISTRO ÂNGULO ABERTO
DN (Ref.) mm (-)																	
15 (1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9	
20 (3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1	
25 (1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,6	5,8	15,0	0,3	8,4	
32 (1 1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5	
40 (1 1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0	
50 (2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,6	37,9	0,8	18,5	
60 (2 1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0	
75 (3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0	
100 (4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1	
125 (5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2	
150 (6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9	

Tab. 21 - Comprimentos equivalentes para diversas peças de aço galvanizado.

DIÂMETRO NOMINAL	1/4	3/8	1/2	5/8	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
	0,23	0,35	0,47	0,70	0,94	1,17	1,41	1,88	2,35	2,82	3,76	4,70	5,64
	0,22	0,33	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,78					
		0,16	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,86	1,08	1,30	1,73	2,16	2,59
		0,61	0,81	1,22	1,63	2,03	2,44	3,25					
			0,27	0,41	0,55	0,68	0,82	1,04	1,37	1,64	2,18		
	0,16	0,24	0,32	0,48	0,64	0,79	0,95	1,27	1,59	1,91	2,54		
		0,25	0,34	0,50	0,67	0,84	1,01	1,35	1,68	2,02	2,69		4,04
	0,10	0,15	0,20	0,30	0,41	0,51	0,61	0,81	1,02	1,22			
			0,43	0,65	0,86	1,08	1,30	1,73					
			0,87										
	0,04	0,06	0,08	0,12	0,17	0,21	0,25	0,33	0,41	0,50	0,66	0,83	0,99
	0,34	0,51	0,69	1,03	1,37	1,71	2,06	2,74	3,43	4,11	5,49	6,86	8,23
	0,42	0,62	0,83	1,25	1,66	2,08	2,50	3,33	4,16	4,99	6,65	8,32	9,98
			0,09	0,13	0,18	0,22	0,27	0,36	0,44				
			0,44	0,66	0,88	1,10	1,31	1,75	2,19				

A Perda de Carga total (Δh_T) da instalação é a soma das perdas localizadas e distribuídas.

$$\Delta h_T = \Delta h_f + \Delta h_s$$

C) VELOCIDADES EM TUBULAÇÃO

i) Velocidade Mínima:

Para evitar a deposição em canalizações, a velocidade mínima geralmente é fixada entre 0,25 e 0,40 m/s, dependendo o seu valor da qualidade da água. Para as águas que contêm certos materiais em suspensão, a velocidade não deve ser inferior a 0,50 m/s, como é o caso do esgoto, por exemplo.

ii) Velocidade Máxima :

A velocidade máxima da água nos encanamentos, geralmente depende dos seguintes fatores:

- condições econômicas;
- condições relacionadas ao bom funcionamento dos sistemas;
- possibilidade de ocorrência de defeitos nocivos (sobre pressões prejudiciais);
- limitação de perda de carga;
- desgaste das tubulações e peças acessórias (erosão);
- controle da corrosão;
- ruídos desagradáveis.

Geralmente, em linhas de recalque em Estações de Tratamento de Efluentes, as velocidades são estabelecidas tendo-se em vista condições econômicas. Por isso, é comum trabalhar com velocidades de recalque entre 1,5 e 3 m/s.

Um bom parâmetro para a Velocidade de sucção de bombas é 1,0 m/s, e para Velocidade de Recalque, 2,0 m/s.

Estas velocidades otimizam os resultados de custo de tubulação, visto que os diâmetros encontrados nos cálculos que contemplam estas velocidades são menores.

A utilização de baixos valores de velocidades está associada ao ruído produzido pelo escoamento do fluido (que é levado em consideração, por exemplo em tubulação predial), e a perda de carga associada ao escoamento, uma vez que esta é proporcional ao quadrado do aumento da velocidade. Em uma Estação de Tratamento de Efluentes, a satisfatória redução do custo de material causada pela adoção das velocidades propostas anteriormente, compensa sua

utilização. Além disso, o ruído provocado no escoamento é desprezível, uma vez que as Estações situam-se em locais abertos.

D) TUBULAÇÃO

Os tubos que trataremos a seguir serão de:

- aço-carbono
- cobre
- PVC
- Ferro-fundido
- Chumbo
- Fibra de vidro com plástico

i) Tubos de Aço-Carbono para condução de líquidos

Encontram-se a venda diversos tipos, obedecendo às normas do DIN, da ASTM e do PEB-182/1973 da ABNT. O projeto de Especificação Brasileiro 182 prevê quatro classes de tubos de aço, que são:

- Pesada (P)
- Média (M)
- Leve I (L-I)
- Leve II (L-II)

Os tubos de aço podem ser:

- soldados (welded pipe), isto é, com costura; de topo (but weld) ou sobreposto (lap weld);
- sem costura (seamless pipe), obtidos por:
 - laminação
 - extrusão
 - fundição
 - forja

Vejamos alguns dados sobre os tubos classe média e classe pesada.

Tubos pretos e galvanizados classe M da PEB-182 da ABNT ou DIN 2440.

São de aço-carbono, de baixo teor de carbono, chamados de classe média (M). Podem se fabricados soldados ou não.

Pressão de ensaio = 32 kgf.cm⁻².

Emprego: água, gás, vapor, ar comprimido. É designado pelos instaladores como Tubo de ferro galvanizado.

Tab. 22 – Tubos de aço galvanizados e pretos Classe M.

Diâmetro interno nominal		Diâmetro externo	Espessura da parede	Pesos teóricos			
				Com luvas		Sem luvas	
pol.	mm	mm	mm	kgf/m	kgf/m	kgf/m	kgf/m
1/4	8	13,5	2,35	0,700	0,654	0,696	0,650
3/8	10	17,2	2,35	0,918	0,858	0,912	0,852
1/2	15	21,3	2,65	1,32	1,23	1,31	1,22
5/8	20	26,9	2,65	1,70	1,59	1,69	1,58
1	25	33,7	3,25	2,63	2,46	2,61	2,44
1 1/4	32	42,4	3,25	3,39	3,17	3,36	3,14
1 1/2	40	48,3	3,25	3,91	3,65	3,86	3,61
2	50	60,3	3,65	5,53	5,17	5,46	5,10
2 1/2	65	76,1	3,65	7,09	6,63	6,97	6,51
3	80	88,9	4,05	9,24	8,64	9,06	8,47
4	100	114,3	4,50	13,27	12,40	12,95	12,10
5	125	139,7	4,85	17,87	16,70	17,33	16,20
6	150	165,1	4,85	21,19	19,80	20,54	19,20
8	200	219,1	6,30	36,59	34,20	35,52	33,20

Tubo preto classe pesada (P) segundo PEB-182 da ABNT ou DIN 2441.

São tubos soldados ou sem costura, para serviço de vapor, ar comprimido e gás. São conhecidos como Tubos de aço para vapor.

Pressão de ensaio = 40 Kg.cm⁻²

Tab. 23 - Tubos pretos Classe P.

Diâmetro interno nominal		Diâmetro externo	Espessura da parede	Pesos teóricos	
				Com luvas	Sem luvas
pol.	mm	mm	mm	kgf/m	kgf/m
1/4	8	13,5	2,90	0,773	0,769
3/8	10	17,2	2,90	1,03	1,02
1/2	15	21,3	3,25	1,46	1,45
5/8	20	26,9	3,25	1,91	1,90
1	25	33,7	4,05	2,99	2,97
1 1/4	32	42,4	4,05	3,87	3,84
1 1/2	40	48,3	4,05	4,47	4,43
2	50	60,3	4,50	6,24	6,17
2 1/2	65	76,1	4,50	8,02	7,90
3	80	88,9	4,85	10,30	10,10
4	100	114,3	5,40	14,70	14,40
5	125	139,7	5,40	18,30	17,80
6	150	165,1	5,40	21,80	21,20
8	200	219,1	7,10	38,20	37,20

Tubos de aço sem costura (tipo Mannesmann) para instalações comuns

O Schedule Number é uma grandeza usada para classificar as espessuras ou pesos dos tubos em séries, e é obtido dividindo-se o valor de 1000 vezes a pressão de trabalho P expressa em psig pela tensão admissível S do material em psi, isto é,

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{S}$$

O Schedule Number é, pois, um número de série, compreendendo os números 10, 20, 30, 40, 50, 80, 100, 120, 140 e 160.

São fabricados em dois tipos:

- Schedule 40: Corresponde à antiga designação do Standard "S", isto é, ao 40 S e à Classe Normal, Série 40 do PEB-331 da ABNT. Obedecem às especificações da ASTM A-53 (qualidade média, uso geral), A-16 (alta qualidade, temperaturas elevadas), A-120 (baixa qualidade) Gr. A e B.

Os tubos sch. 40 são usados para fluidos com temperaturas médias, obedecendo às especificações da ASTM A-53, e elevadas, obedecendo às da ASTM A-106 e A-120. Os tubos de grade A (Gr. A) são de baixo carbono e têm carga de ruptura de 3300 Kgf.cm⁻², e os grade B (Gr. B), de 4100 Kgf.cm⁻², sendo de aço de carbono médio.

- Schedule 80 (80S): Corresponde ao antigo XS (Extra Strong). Obedece às normas da ASTM A-53, A-106, A-120, Gr. A e B.

Pelo PEB-331 da ABNT são designados por tubos de classe reforçada, Classe R – Série 80.

Podem ser usados para água, ar comprimido e gás, em temperaturas abaixo de 2000 °C.

Os tubos A-120 não devem ser usados para vapor, hidrocarbonetos e fluidos tóxicos, inflamáveis ou sob pressão.

Observação quanto aos diâmetros dos tubos de aço:

Os tubos são designados pelo seu diâmetro nominal. Os diâmetros nominais nos tubos de 1/8" a 12" não correspondem a nenhuma dimensão física do tubo, porém nos de 14" até 36" coincidem com o diâmetro externo do tubo.

Para cada diâmetro nominal, o diâmetro externo é sempre o mesmo, mas o interno varia de acordo com a espessura da parede.

Tab. 24 – Tubos Mannesmann sem costura Schedule 40.

Diâmetros nominais			Espessura da parede		Peso teórico com luvas		Peso teórico sem luvas		Pressão de ensaio em lbf/pol² (psi)			
Interno		Externo	pol.	mm	lb/ft	kgf/m	lb/ft	kgf/m	Gr A	Gr B	Gr A	Gr B
pol.	pol.	mm	pol.	mm	lb/ft	kgf/m	lb/ft	kgf/m	Gr A	Gr B	Gr A	Gr B
1/4	0,540	13,7	0,088	2,24	0,41	0,66	0,42	0,63	700	700	700	700
3/8	0,675	17,2	0,091	2,31	0,59	0,88	0,57	0,85	700	700	700	700
1/2	0,840	21,3	0,109	2,77	0,87	1,29	0,85	1,27	700	700	700	700
5/8	1,050	26,7	0,113	2,87	1,16	1,72	1,13	1,68	700	700	700	700
1	1,315	33,4	0,133	3,38	1,72	2,56	1,68	2,50	700	700	700	700
1 1/8	1,660	42,2	0,140	3,56	2,31	3,45	2,27	3,38	1.000	1.000	1.000	1.000
1 1/2	1,900	48,3	0,145	3,68	2,81	4,18	2,72	4,05	1.000	1.000	1.000	1.000
2	2,375	60,3	0,154	3,91	3,76	5,60	3,65	5,43	2.300	2.500	1.000	1.000
2 1/2	2,875	73,0	0,203	5,16	5,90	8,76	5,79	8,62	2.500	2.500	1.000	1.000
3	3,500	88,9	0,216	5,49	7,80	11,60	7,58	11,28	2.200	2.200	1.200	1.200
3 1/2	4,000	101,6	0,226	5,74	9,50	14,11	9,11	13,56	2.000	2.400	1.200	1.300
4	4,500	114,3	0,237	6,02	11,30	16,81	10,79	16,06	1.900	2.200	1.200	1.300
5	5,563	141,3	0,258	6,55	15,23	22,67	14,62	21,76	1.700	1.900	1.200	1.300
6	6,625	168,3	0,280	7,11	19,90	29,59	18,97	28,23	1.500	1.800	1.200	1.300
8	8,625	219,1	0,322	8,18	30,00	44,66	28,55	42,49	1.300	1.600	1.300	1.600
10	10,750	273,0	0,365	9,27	—	—	40,48	60,23	1.200	1.400	1.200	1.400
12	12,747	323,8	0,375	9,52	—	—	49,73	74,00	—	—	1.100	—

Tab. 25 - Tubos Mannesmann sem costura Schedule 80.

Diâmetros nominais			Espessura da parede		Peso teórico com luvas		Peso teórico sem luvas		Pressão de ensaio em lbf/pol² (psi)			
Interno		Externo	pol.	mm	pol.	mm	lb/ft	kgf/m	lb/ft	kgf/m	Gr A	Gr B
pol.	pol.	mm	pol.	mm	lb/ft	kgf/m	lb/ft	kgf/m	Gr A	Gr B	Gr A	Gr B
1/4	0,540	13,7	0,119	3,02	0,56	0,83	0,54	0,80	850	850	850	850
3/8	0,675	17,2	0,126	3,20	0,76	1,13	0,74	1,10	850	850	850	850
1/2	0,840	21,3	0,147	3,73	1,11	1,65	1,09	1,62	850	850	850	850
5/8	1,050	26,7	0,154	3,91	1,50	2,24	1,47	2,19	850	850	850	850
1	1,315	33,4	0,179	4,55	2,22	3,31	2,17	3,23	850	850	850	850
1 1/8	1,660	42,2	0,191	4,85	3,07	4,56	3,00	4,47	1.500	1.600	1.500	1.600
1 1/2	1,900	48,3	0,200	5,08	3,74	5,56	3,63	5,40	1.500	1.600	1.500	1.600
2	2,375	60,3	0,218	5,54	5,15	7,67	5,02	7,47	2.500	2.500	1.500	1.600
2 1/2	2,875	73,0	0,276	7,01	7,90	11,76	7,66	11,40	2.500	2.500	1.500	1.600
3	3,500	88,9	0,300	7,62	10,55	15,75	10,25	15,25	2.500	2.500	1.500	1.600
3 1/2	4,000	101,6	0,318	8,08	12,95	19,27	12,51	18,62	2.800	2.800	1.700	1.800
4	4,500	114,3	0,337	8,56	15,55	23,19	14,98	22,29	2.700	2.800	1.700	1.800
5	5,563	141,3	0,375	9,53	21,50	32,02	20,78	30,92	2.400	2.800	1.700	1.800
6	6,625	168,3	0,432	10,97	29,70	44,15	28,57	42,51	2.300	2.700	1.700	1.800
8	8,625	219,1	0,500	12,70	45,10	67,16	43,39	64,56	2.100	2.400	1.700	2.000
10	10,750	273,0	0,594	15,09	—	—	64,40	95,84	2.000	2.300	1.600	1.900

Tubos galvanizados e pretos leves Classe I sem costura.

Pressão de ensaio = 25 Kgf.cm⁻²

Emprego: água, gás, óleo.

Tab. 26 – Tubos VOL-RED de aço sem costura.

Diâmetros		Espessura da parede	Pesos teóricos	
Nominal interno	Nominal externo		Tubo galv.	Tubo preto
pol.	mm	mm	kgf/m	kgf/m
1/4	13,4	2,00	0,62	0,58
5/16	16,9	2,00	0,82	0,75
1/2	21,2	2,35	1,18	1,07
5/8	26,7	2,25	1,50	1,38
1	33,4	2,65	2,19	2,06
1 1/4	42,2	2,65	2,81	2,64
1 1/2	48,1	3,00	3,59	3,41
2	59,9	3,00	4,55	4,31
2 1/2	76,2	3,35	6,42	6,15
3	88,9	3,35	8,39	7,22
3 1/2	101,6	3,75	9,65	9,25
4	114,3	4,25	12,12	11,82

ii) Tubos de Ferro Fundido

O ferro fundido é um produto siderúrgico resultante da associação de ferro e do carbono.

O carbono pode se apresentar sob a forma de lamelas (ferro fundido cinzento) ou de nódulos (ferro fundido nodular); dúctil ou de grafita esferoidal.

Nas instalações prediais de esgotos e águas pluviais emprega-se o ferro cinzento, contendo 3,8 a 4,2% de carbono, além de pequenas quantidades de silício, enxofre e fósforo. Pode-se utilizá-lo para recalque de bombas, irrigação, esgotos urbanos, adutoras e sub-adutoras, rede de incêndio nas indústrias etc.

Tubos de ferro dúctil

O ferro dúctil, também designado ferro fundido nodular, é obtido pela introdução controlada de uma pequena quantidade de magnésio num ferro fundido com baixos teores de enxofre e fósforo. A resistência mecânica à tração do ferro dúctil é de 40 kgf/mm², enquanto a do ferro fundido cinzento é de 18 Kgf/mm². Esta resistência mecânica, aliada à boa resistência à corrosão, tem levado o ferro dúctil ou nodular a ser especificado nas instalações com líquidos sob

pressão, nas linhas adutoras de água bruta, em estações de bombeamento, em estações de tratamento de água, etc.

Nestas aplicações, são particularmente apreciadas as seguintes vantagens: rigidez e resistência aos choques e às cargas ovalizantes (cargas do terreno, cargas rodantes etc); resistência à pressão, especialmente em casos de golpe de aríete em canalizações de recalque.

iii) Tubos de PVC rígido:

O PVC, que é o cloreto de polivinila ou polivinil clorado, é um composto termoplástico, rígido ou flexível, resistente a impactos, abrasão e a inúmeros produtos químicos. Os tubos fabricados em PVC por extrusão oferecem ainda as vantagens de possuírem baixo peso e reduzido coeficiente de perda de carga, serem flexíveis, atóxicos, incombustíveis e de fácil e rápida instalação. Contudo, existem restrições que devem ser levadas em conta:

- alto coeficiente de dilatação: Cerca de seis vezes superior ao do aço. Isso obriga a utilizar os tubos com líquidos em temperatura no máximo até cerca de 60 °C.

- baixa resistência mecânica: Quando usados em instalações de água potável, podem não oferecer adequada resistência ao golpe de aríete. Não devem ficar embutidos em estrutura de concreto. Enterrados, devem receber um recobrimento adequado.

- incapacidade de suportarem temperaturas elevadas, seja do líquido, seja do meio ambiente, o que especialmente em instalações industriais deve ser levado em conta.

O tubo de PVC classe 15, também chamado de classe A, é aquele ensaiado na fábrica com pressão de 15 kgf/cm²; o tubo de classe 10 é ensaiado com 10 kgf/cm², e assim por diante. A classe é caracterizada, portanto, pela pressão de ensaio.

Tab. 27 – Tubos de PVC rígidos classe A – pressão de serviço 7,5 kgf/cm².

Referência	Tolerância sobre diâmetro externo médio mm	Tolerância sobre espessura mínima de parede mm	Tabela I Tubos com juntas solitárias			Tabela II Tubos com juntas rosqueáveis		
			Diâmetro externo médio mm	Espessura mínima de parede (e) mm	Peso médio aproximado kg/m	Diâmetro externo médio mm	Espessura mínima de parede (e) mm	Peso médio aproximado kg/m
3/8	+0,2	+0,3	16	1,5	0,105	16,7	2	1,140
1/2	+0,2	+0,3	20	1,5	0,133	21,2	2,5	0,220
3/4	+0,2	+0,3	25	1,7	0,188	26,4	2,6	0,280
1	+0,2	+0,3	32	2,1	0,295	33,2	3,2	0,450
1 1/4	+0,3	+0,4	40	2,4	0,430	42,2	3,6	0,650
1 1/2	+0,3	+0,4	50	3,0	0,660	47,8	4,0	0,820
2	+0,3	+0,4	60	3,3	0,870	59,6	4,6	1,170
2 1/2	+0,3	+0,4	75	4,2	1,370	75,1	5,5	1,750
3	+0,4	+0,6	85	4,7	1,760	87,9	6,2	2,300
4	+0,4	+0,6	110	6,1	2,950	113,5	7,6	3,700

iv) **Tubos de cobre:**

Os tubos de cobre são particularmente recomendáveis em instalações de água quente e água gelada, sendo excelente opção quando as considerações de custo ou os recursos disponíveis viabilizem seu uso para a distribuição de água fria.

Suas múltiplas aplicações devem-se às propriedades do cobre, entre as quais se sobressaem:

- ausência de formação de incrustação por oxidação;
- elevada condutibilidade térmica;
- resistência química regular;
- boa resistência mecânica;
- possibilidade de permitir a fabricação de tubos com margens de tolerância mínimas.

Dois tipos de tubo de cobre são fabricados no Brasil:

- Tubos leves, classe A, para condução de água. Obedecem às especificações brasileiras EB-27 e EB-219/1972, da ABNT.

- Tubos médios e pesados, tipo industrial, para condução de água: Seguem o PEB-274.

Tab. 28 - Tubos NIBCO para instalações industriais.

Diâmetro nominal mm	Classe A				Classe Industrial (tipo médio)			
	Diâmetro externo	Espessura parede	Peso kg/fm	Pressão de serviço kg/cm ²	Diâmetro externo	Espessura parede	Peso kg/fm	Pressão de serviço kg/cm ²
15	15	0,70	0,281	60,0	15	1,0	0,393	88,0
22	22	0,90	0,533	50,0	22	1,2	0,701	71,0
28	28	0,90	0,685	40,0	28	1,2	0,903	60,0
35	35	1,10	1,017	40,0	35	1,4	1,360	51,0
42	42	1,10	1,264	35,0	42	1,6	1,815	46,0
54	54	1,10	1,780	28,0	54	1,8	2,639	43,0
66					66,5	2,0*	3,623	39,0
79					79,2	2,0*	4,337	39,0
104					104,5	2,5*	7 + 98	33,0

E) VÁLVULAS

Destinam-se a abrir, fechar ou regular a passagem da água pelas tubulações. Podem estar situadas em diversas posições da linha e são de diversos tipos. A definição do tipo de válvula é função do fim a que se destina, freqüentemente de uso, forma de acionamento, localização e acesso, pressão de serviço, diâmetro, vazão e custos. As válvulas também são conhecidas popularmente como registros.

i) Válvula de Gaveta

É uma cunha ou uma gaveta que, quando fechada, atravessa a tubulação, e quando aberta, recolhe-se a uma campânula, ver fig. 24. Quando aberta, dá passagem total ao fluxo e a perda de carga é muito pequena, devida apenas às reentrâncias laterais que servem de guia e sede de vedação quando a gaveta se fecha.

Existem diversos tipos, com gavetas de faces paralelas, ou ligeiramente trapezoidais, ou em cunha. O acionamento pode ser por parafuso interno ou externo. A vedação é obtida em parte pela pressão da água sobre a gaveta, forçando-a contra a guia/sede. Portanto, a abertura e o fechamento são feitos com arraste entre duas superfícies, tornando possível uma má vedação ao longo do tempo. Válvulas de grandes dimensões e grandes pressões necessitam um dispositivo denominado "by-pass" (desvio), de forma a estabelecer um enchimento e uma compressão pelo outro lado da face da gaveta, sem o qual não se consegue abri-las.

As válvulas de gaveta destinam-se a funcionar nas posições aberta ou fechada e são para pouca freqüência de uso. A utilização para regular vazão com manobras freqüentes é uma improvisação. Em baixas pressões e quando não se requer estanqueidade, não há impedimento técnico ao seu uso mais freqüente e para regulagem de vazão. Podem vedar em um sentido ou em ambos, dependendo da concepção.

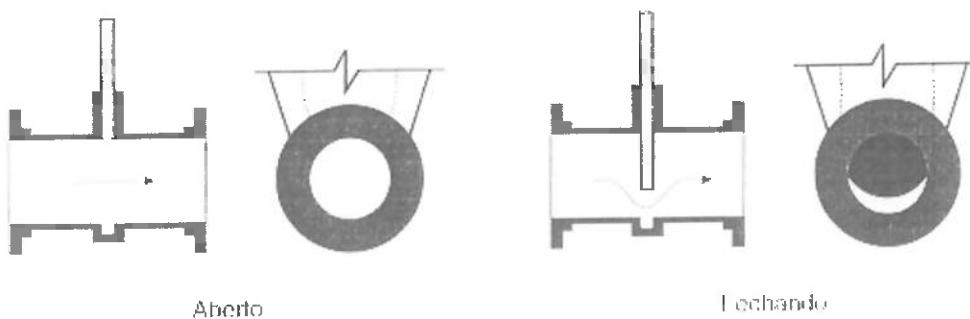


Fig. 24 - Válvula tipo gaveta.

ii) Válvula Borboleta

É um disco preso a um eixo, que atravessa a tubulação. Tendo um movimento de 90°, pode fechar a tubulação ou ficar alinhado com o escoamento. Ver fig. 25. Esse disco pode ser simétrico em relação ao eixo, ou não, dependendo do projeto mecânico da válvula ser equilibrado, ou seja, a pressão da água sobre as duas metades do disco em relação ao eixo é simétrica e equilibrada, ou pode ter uma

excentricidade tendendo a abrir e fechar, conforme se projete. Aliás, a grande vantagem da válvula borboleta é esse equilíbrio em torno do eixo que faz com que a pressão tendente a fechar se anule com a pressão tendente a abrir, possibilitando uma manobra com pouco esforço externo. Acrescentando-se a vantagem de ser uma peça de fabricação mais fácil que de outros tipos de válvulas, torna-se usualmente a opção mais econômica. Em relação às válvulas de passagem direta, apresenta maior perda de carga localizada, pelo fato do disco ficar atravessado, embora possa melhorar muito com cuidados no projeto do disco.

As válvulas borboleta destinam-se a estar abertas ou fechadas e admitem grande freqüência de uso. A utilização para regular vazão é uma improvisação, que não será notada em baixas pressões e quando houver contrapressão suficiente para não haver cavitação, ou seja, nesses casos não chega a ser uma improvisação, mas uma opção econômica. Nota-se que toda válvula é uma redutora de pressão, logo uma dissipadora de energia, passível de cavitações, vibrações e erosões. Normalmente aceitam fluxo em ambas as direções, vedando também em qualquer uma delas.

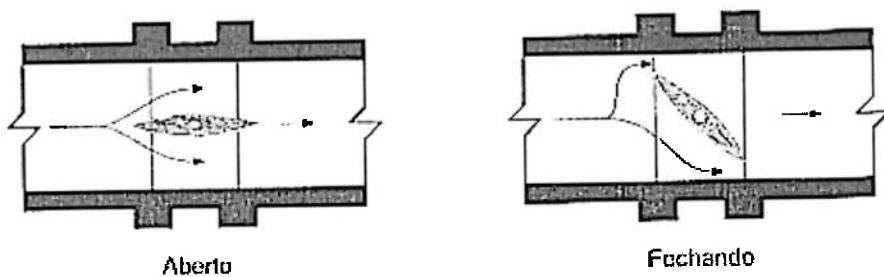


Fig. 25 - Válvula tipo borboleta.

iii) Válvula de Esfera

É um dispositivo esférico, com uma passagem no centro, montado dentro de um corpo estanque, que gira em torno de um eixo central.

Na posição aberta praticamente tem perda de carga zero, pois como internamente a passagem forma um duto liso que se alinha com a tubulação onde se insere, não há perdas. Na posição fechada tem estanqueidade garantida por um desenho adequado, podendo vedar em um sentido ou em ambos. Normalmente é utilizada para pequenos diâmetros. Destina-se a operar totalmente aberta ou totalmente fechada, ou seja, não se regulam vazões nessa válvula.

iv) Válvula de Agulha

Destina-se à regulagem de vazão e fechamento final em descargas para a atmosfera. Existem desde pequeninas válvulas para tubos de Trabalho de Conclusão de Curso

cerca de 1 cm de diâmetro até diâmetros de mais de 1m. O desenho dessa válvula procura minimizar o efeito da cavitação quando as velocidades são muito altas, fazendo com que o fenômeno se dê após a válvula, na atmosfera, ou em uma "câmara de expansão". São previstas para fluxo unidirecional. Ver fig. 26.

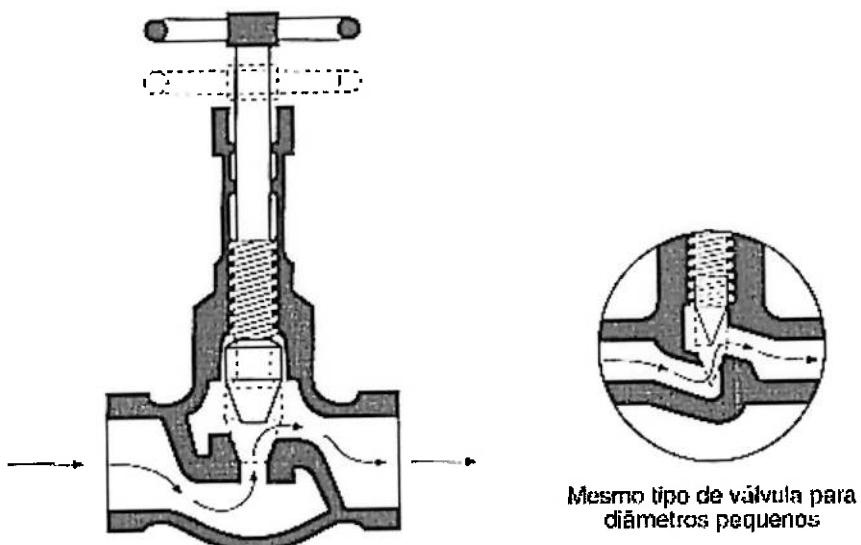


Fig. 26 - Válvula tipo agulha.

v) Válvulas de globo ou de disco

Também conhecida como registro de pressão, assim como a de agulha, presta-se a regular vazão e bloquear o fluxo. Existem desde as válvulas domésticas até válvulas com cerca de 300 mm. A partir desse diâmetro não se encontram mais em catálogos. Consiste de um disco apertado contra um orifício por um eixo roscado. Ver fig. 27.

O corpo da válvula é aproximadamente esférico, visto por fora (daí o nome) e está projetado de forma a desviar o fluxo para entrar perpendicularmente ao disco de vedação. São previstas para fluxo unidirecional e não permitem o contra-fluxo, porque o disco, que normalmente é "pivotante" em um eixo que fica dentro da haste de fechamento, age como uma válvula de retenção. As válvulas de agulha são um caso particular de válvula globo.

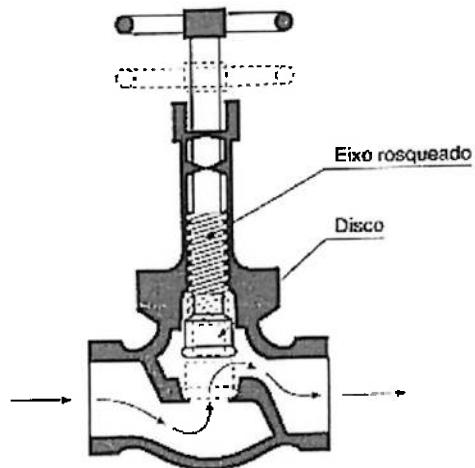
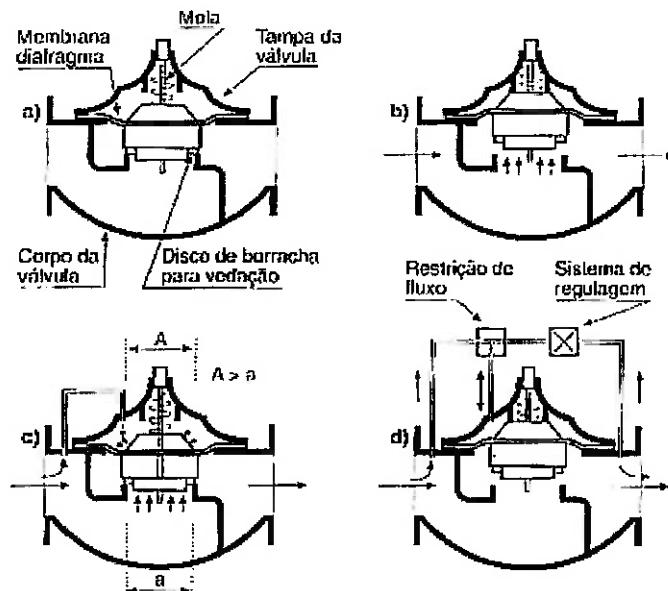


Fig. 27 - Válvula tipo globo.

vi) Válvula automática ou válvula reguladora auto-operada

Nesse tipo de válvula, um disco em um diafragma (fig. 28) ou um pistão (fig. 29) serve para empurrar, através de um eixo, um outro disco contra um orifício sede. Há diversas variações de válvulas desse tipo, cada fabricante tem uma patente do formato do corpo e de detalhes da válvula. Essas válvulas prestam-se muito a arranjos criativos de automatismo hidráulico.



- a) Quando não há fluxo atravessando a válvula, a mesma permanece fechada.
- b) Havendo fluxo, a pressão aplicada comprime a mola e abre a válvula.
- c) Se houver uma entrada de água à mesma pressão interna do tubo para o interior da tampa da válvula, vai aparecer uma força de cima para baixo que irá gradativamente fechar a válvula ($A > a$).
- d) Deve-se, portanto, instalar um sistema de controle adequado que permita deixar passar a água ou retirar a água da tampa, proporcionando abertura e fechamento total ou abertura parcial (controle de vazão) da válvula.

Fig. 28 - Esquema de funcionamento das válvulas de acionamento por diafragma.

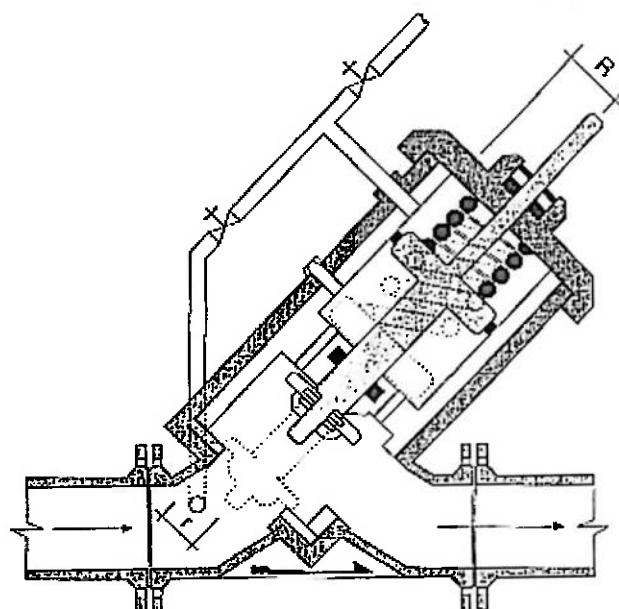


Fig. 29 - Válvula automática de acionamento por pistão.

vii) Válvula redutora de pressão

É um caso particular das válvulas automáticas, também conhecida por válvula de alívio de pressão e válvula de controle de pressão. Deve-se verificar se o tipo de válvula redutora de pressão é eficaz mesmo quando a vazão é muito próxima de zero. Muitas dessas válvulas ao se aproximar a vazão zero, ou até mesmo sem vazão alguma, transmitem a pressão estática, às vezes até por pequenos problemas de estanqueidade. Daí o elevado número de problemas em algumas instalações durante a noite, quando a vazão pode ser zero ou muito próxima desse valor. Em redes de distribuição de água são usadas para compatibilizar as pressões máximas das zonas baixas, com os limites admitidos.

viii) Válvula de retenção

São válvulas que só permitem o escoamento em uma direção. São usadas em bombeamento, em linhas por gravidade e em casos específicos. Na verdade, é uma aplicação de diversos tipos de válvulas, havendo algumas específicas para cada fim:

Tipo portinhola – Consiste de um corpo onde bascula uma portinhola que abre sob a pressão do escoamento de água. Normalmente pode ser instalada na horizontal ou na vertical, sendo preferível na horizontal. Existem até diâmetros de mais de um metro. São as mais comuns. Ver fig. 30.

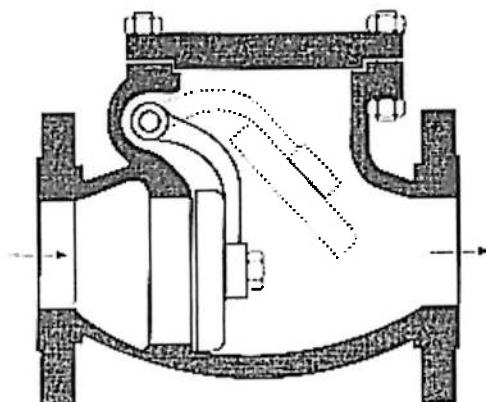


Fig. 30 - Válvula de retenção tipo portinhola.

Tipo disco ou plugue – É uma válvula de globo ou disco, em que a haste não é rosada e sobe e desce com a ação de gravidade e da pressão do líquido (fig. 31a). Só funciona bem se instalada em trecho de tubo na horizontal com haste na vertical. Há válvulas desse tipo exclusivas para instalação na vertical, algumas muito usadas como válvulas de pé em sucção de bombas (fig. 31b). A perda de carga é maior que nas de portinhola.

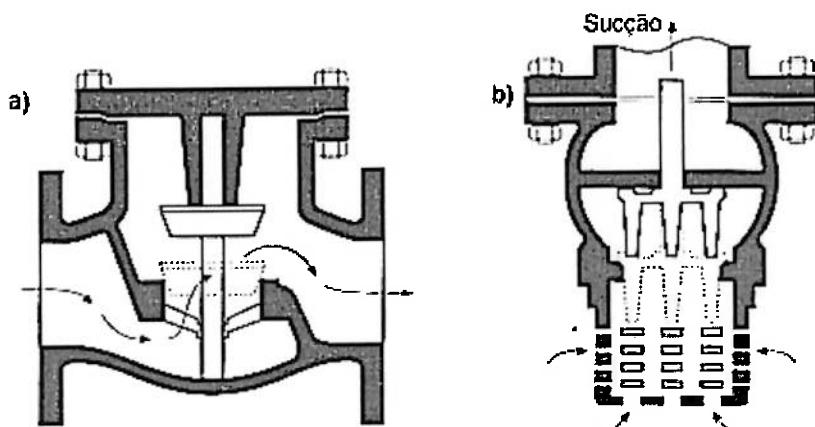


Fig. 31 - Válvula de retenção tipo plugue ou disco.

Válvula de dupla portinhola – O tempo de fechamento das válvulas de retenção passa a ser um problema muito importante, quando a influência do golpe de aríete também assume importância. Nessas circunstâncias, o ideal seria o fechamento instantâneo. Como isso é impossível, busca-se fechar a válvula de retenção o mais rápido possível. Assim há válvulas que incorporam uma mola com essa intenção. No caso da válvula de dupla portinhola, existe uma mola e em paralelo dividiu-se a portinhola em duas para que o tempo de fechamento já ficasse dividido por dois, pois a trajetória do fechamento é a metade (fig. 32).

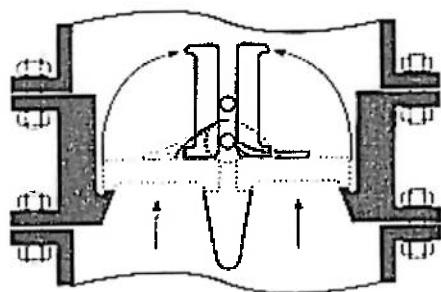


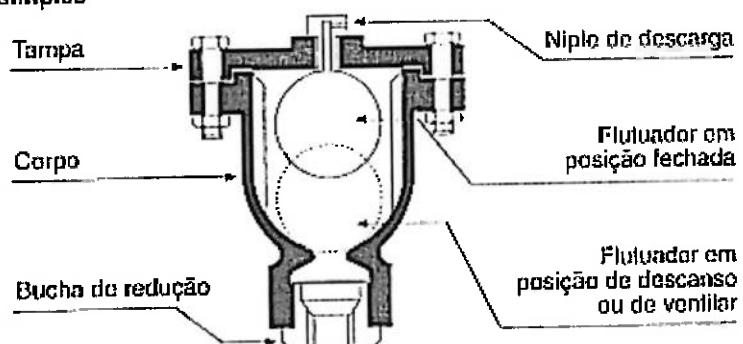
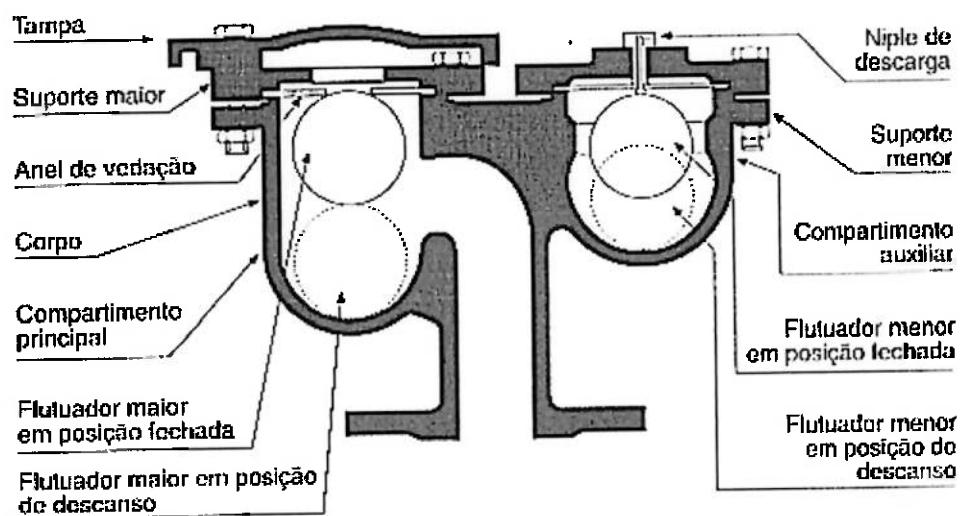
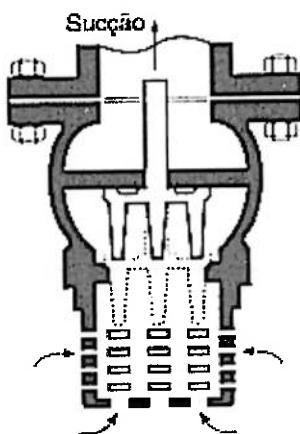
Fig. 32 - Válvula de retenção tipo dupla portinhola.

ix) Válvula de expulsão e/ou admissão de ar (ventosas)

É um dispositivo de funcionamento automático para admissão e expulsão de ar das tubulações sob pressão. Sua necessidade é evidentemente para fins de enchimento e esvaziamento de tubulações com perfil sinuoso, localizando-se as ventosas nos pontos altos e antes ou depois de válvulas de seccionamento da linha. Também, durante o funcionamento, tem grande utilidade: primeiro, purgando o ar que se acumula nos pontos altos, em função do ar carregado e dissolvido pela água e que vai “flutuando”, especialmente quando há redução de pressão, formando bolhas e reduzindo a vazão de projeto pela obstrução que causa, e segundo, permitindo a rápida entrada de ar em condições de subpressão, evitando o esmagamento dos tubos pela pressão atmosférica (ou evitando o super dimensionamento das paredes do tubo) e também evitando uma eventual onda de sobrepressão após a onda de subpressão, com o colapso por sobrepressão nos pontos críticos.

Não existem válvulas só de expulsão de ar (embora teoricamente seja fácil construí-las), porque sempre convém que as válvulas de expulsão também admitam ar para o tubo. Os fabricantes normalmente classificam as válvulas em três tipos (ver Fig. 33):

- ventosas simples
- ventosas duplas, de pequenos e grandes orifícios
- ventosa de admissão

a) Ventosa simples**b) Ventosa dupla (tríplice função)****c) Ventosa de admissão (tipo válvula de pé)****Fig. 33 - Válvulas tipo ventosa.**

V. DESENVOLVIMENTO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – EQUIPAMENTOS

Nesta seção serão descritas as metodologias utilizadas na elaboração das planilhas de seleção e cálculo dos equipamentos anteriormente descritos.

Essas planilhas serão executadas em MS Excel™, por se tratar de uma ferramenta de uso bastante difundido, e por apresentar uma interface bastante amigável, tanto em termos de implementação quanto de utilização.

Deve-se ressaltar que tais algoritmos são as primeiras idéias para um posterior e eventual aprimoramento, fornecendo condições de analisar as situações sob um ponto de vista mais amplo e geral. Dessa forma, o usuário deve ter conhecimento suficiente para julgar as informações que dirão respeito às análises, tanto dados de entrada quanto as saídas dos algoritmos; re-enfatizando: *garbage in = garbage out*.

A) GRADES DE BARRAS

Para as grades de barras montou-se um algoritmo de seleção e cálculo enfocado basicamente nas características da situação de emprego das mesmas, sendo os fatores determinantes para sua aplicação os seguintes:

- profundidade do canal,
- nível do líquido,
- grau de abertura das barras.

Os dois primeiros itens determinam quais as melhores formas construtivas dos mecanismos de limpeza da grade; já o último item está relacionado com as características do efluente ou do processo subsequente.

O algoritmo de seleção de grades de barras recebe, então, como entradas, a vazão de efluente que chega, a profundidade do canal, a altura do nível de líquido e o grau de abertura das barras. Através de um banco de dados semelhante à tabela 2, por comparação, mostra quais tipos de mecanização são aplicáveis.

Aqui é necessário especificar uma das opções de grade mostradas e qual o grau de abertura das barras. Essa escolha cabe ao usuário, pois não há uma maneira simples e direta de “automatizar” o procedimento. As faixas de aplicação dos citados equipamentos se sobrepõe, de tal forma que tornam viáveis mais de um modelo.

finalmente determinado, muitas vezes, pelo caráter custo, por imposição prévia (por exemplo exigências contratuais) ou pela experiência.

Fornecendo-se todos esses dados e, como opção, escolhendo uma velocidade do escoamento diferente de 0,6 m/s, o algoritmo é capaz de calcular a área de escoamento necessária (área útil), a área de grade (efetiva), a largura de canal, o número de grades a ser utilizado e a largura de cada grade.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

B) CAIXAS DE AREIA

Para as caixas de areia montou-se um algoritmo de cálculo que permite dimensionar um sistema simples de remoção de areia, baseado na teoria exposta anteriormente. Esse algoritmo determina as dimensões do equipamento que deve ser utilizado, selecionando a melhor opção dentre as padronizações existentes. O cálculo necessita das seguintes entradas:

- tipo de caixa de areia
- vazão de efluente.

O tipo de caixa de areia é escolhido em função do projeto; as caixas de areia quadradas são padronizadas em certos tamanhos , sendo mais baratas, porém de uso menos flexível, já as retangulares permitem uma escolha de dimensões adequadas ao projeto, sendo mais caras, mas mais flexíveis. A vazão determinará as dimensões necessárias da caixa de areia.

Especificadas as entradas acima, o programa calcula a área de fundo necessária e, em se tratando de uma caixa quadrada o algoritmo é capaz de escolher a melhor combinação de tamanhos e quantidades necessárias; já se o modelo for retangular, deve-se especificar a largura e a quantidade de câmaras desejadas, e assim obtém-se o comprimento e profundidade necessária.

Como opção, pode-se entrar com um valor diferente para a taxa de sedimentação, para efeito de projeto.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

C) **BOMBAS PARAFUSO**

Para as bombas parafuso montou-se um algoritmo de seleção baseado na tabela 5 anteriormente mostrada. Esse algoritmo determina qual equipamento deve ser utilizado selecionando a melhor opção dentre as listadas numa base de dados, recebendo como entradas os seguintes valores:

- vazão de efluente,
- altura de elevação.

Com esse par o algoritmo retorna o equipamento a ser utilizado e algumas características de sua aplicação: vazão máxima do equipamento, rotação de operação, rendimento na máxima capacidade e potência do motor.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

D) **AERADORES**

Para os aeradores foi montado um formulário de dimensionamento e seleção, de forma a ser possível determinar as características desse subsistema a partir dos seguintes dados:

- vazão de efluente,
- tempo de detenção,
- demanda de oxigênio,
- tipo de aerador.

Os dois primeiros itens estão relacionados com a determinação das dimensões necessárias da lagoa ou tanque de aeração, enquanto que os dois últimos influenciam a determinação da potência de aeração utilizada e a quantidade de equipamentos necessários.

Uma vez especificadas a vazão, a demanda de oxigênio, o tempo de detenção e o tipo de aerador, o algoritmo é capaz de calcular o volume necessário de tanque e a potência de aeração necessária. Pode-se ajustar a geometria do tanque como desejado, alterando sua profundidade (exceto para ar difuso) e largura, ficando o comprimento em função de ambas.

O programa seleciona em seguida quais modelos de aerador (discriminados por sua potência), dentre os modelos de cada tipo de aerador disponíveis acima, são possíveis para esse tanque, e mudando-se o modelo pode-se ler em seguida a quantidade necessária de equipamentos e alguma observação de utilização pertinente. No caso de ar difuso não há essa opção; mostra-se apenas a quantidade necessária de difusores.

Como opção, pode-se mudar a base de tempo de trabalho de diária para horária, entrar com um valor diferente para a taxa de transferência de oxigênio do tipo de aerador selecionado e mudar o rendimento mecânico dos equipamentos, para efeito de ajustes de projeto.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

E) REMOVEDORES E ADENSADORES

Para os adensadores e removedores montou-se um algoritmo de cálculo que permite dimensionar a etapa de tratamento correspondente. Esse algoritmo determina as dimensões de tanques circulares ou retangulares que deverão ser utilizados, de acordo com os seguintes dados:

- tipo de operação
- vazão de efluente,

O tipo de operação determina se o processo é de decantação ou adensamento, definindo a taxa de sedimentação adequada e a geometria; o adensamento é feito praticamente só em tanques circulares, enquanto que a decantação pode ser feita tanto em tanques circulares quanto retangulares. Os tanques circulares têm construção mais simples, porém não tem uma boa distribuição de espaço como os tanques retangulares, que permitem um melhor ajuste ao sítio. A vazão determinará as dimensões necessárias dos tanques.

Com esses dados, o programa calcula a área de fundo necessária e, em se tratando de um tanque circular, o algoritmo é capaz de calcular o diâmetro necessário do tanque. Como opção, pode-se utilizar um tanque quadrado, e nesse caso calculam-se a largura e o comprimento das unidades. As dimensões calculadas obedecem às considerações feitas anteriormente na apresentação teórica, à exceção da profundidade dos tanques, que foi mantida em 4 m, pois é o valor mais amplamente utilizado.

Há ainda a opção de ajustar a taxa de sedimentação para um valor diferente, como desejado, além da possibilidade de mudar a geometria do tanque de circular para retangular.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

F) PRENSAS DESAGUADORAS

Para as prensas desaguadoras montou-se um algoritmo de cálculo baseado principalmente nos dados das tabelas apresentadas anteriormente, sendo os fatores determinantes para seu dimensionamento os seguintes:

- tipo de efluente,
- vazão do efluente,

O primeiro item determina a concentração de sólidos secos totais, com qual capacidade o equipamento irá trabalhar e a máxima concentração de sólidos obtinível por desidratação mecânica; essas três características são função exclusiva do tipo de lodo. Já o item seguinte determinará a carga de lodo a ser processada e o compromisso com o número de máquinas necessárias para o serviço.

O algoritmo de dimensionamento de prensas desaguadoras recebe, então, como entradas, o tipo de efluente e a vazão de chegada do mesmo.

Ao se escolher o tipo de efluente, o formulário mostra valores de concentração de sólidos e a capacidade de trabalho das prensas. Podem-se selecionar, então, valores de concentração dentro da faixa prevista pela tabela 10, por exemplo se já for conhecida, tratando-se da saída de um adensador pré-existente. Analogamente, podem-se selecionar valores para a capacidade das prensas, por exemplo quando se deseja uma maior ou menor segurança de projeto.

Depois de preenchidos esses dados, o formulário calcula a carga de sólidos a ser desidratada, a largura de tela necessária, a quantidade de equipamentos e qual largura padronizada de cada.

Como opções pode-se adotar um valor de densidade do efluente diferente da utilizada; quando se deseja obter mais confiabilidade nas concentrações de sólidos finais, pode-se escolher trabalhar com as prensas da série 3; por fim, pode-se utilizar a vazão de entrada em

base diária, para um sistema por batelada, permitindo-se também a especificação do número de horas diárias de trabalho.

O algoritmo é apresentado como um formulário de preenchimento como mostrado no apêndice I.

O código utilizado encontra-se no apêndice II.

VI. DESENVOLVIMENTO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – SISTEMAS

Nesta seção serão descritas as metodologias utilizadas na elaboração das planilhas de seleção e cálculo dos sistemas de interligação anteriormente descritos.

As mesmas observações feitas no capítulo anterior são pertinentes a esse capítulo.

Cores adotadas nas Planilhas

As cores adotadas nas células têm o intuito de facilitar a compreensão da função de cada uma delas.

Células na cor Azul: Servem apenas para destacar uma seqüência de coluna de valores. Elas não devem ser preenchidas pelo operador.

Células na cor Laranja: Servem para introduzir uma tabela que servirá de base de dados para outras rotinas da planilha, como por exemplo a Lista de Materiais, Tabela de Peças, etc. Elas não devem ser preenchidas pelo operador.

Células na cor Verde: Estas células contêm os resultados gerados pela planilha. Elas não devem ser preenchidas pelo operador.

Células na cor Amarela: Estas células devem ser preenchidas pelo operador. Elas contêm as entradas para as diversas rotinas de cálculo da planilha.

Células sem preenchimento de cores: Servem apenas como passos intermediários na elaboração de um resultado final. Podem conter valores que servem de referência para o operador, mas não devem ser preenchidas, salvo exceções explicitadas no descriptivo da planilha.

A) PERDA DE CARGA

A Planilha Perda de Carga está dividida em outras 4 sub-planilhas:

- Perda de Carga Distribuída
- Perda de Carga Localizada
- Contagem de Material
- Gráfico de Perda de Carga do Sistema

Cada uma destas sub-planilhas permitirá a obtenção de resultados independentes ou agregados a uma dimensão de valores maiores. Por exemplo, pode-se obter apenas a perda de carga de uma tubulação e seus acessórios através das sub-planilhas Perda de Carga Distribuída e Perda de Carga Localizada, ou então, somado a isto, obtermos a listagem total das peças utilizadas em uma determinada interligação, além de um valor financeiro total de peças na sub-planilha Contagem de Material.

O desenvolvimento destas planilhas tem por objetivo otimizar o tempo de trabalho despendido para o cálculo de Perdas de Carga, Contagem de Material, Levantamento do Gráfico de Perdas do Sistema, entre outras tarefas. Não serão levadas em conta todas as possibilidades de soluções, como por exemplo, todos os tipos de tubulações, materiais e tipos de conexões.

Serão apresentadas algumas metodologias que julgamos conveniente para atingirmos este objetivo.

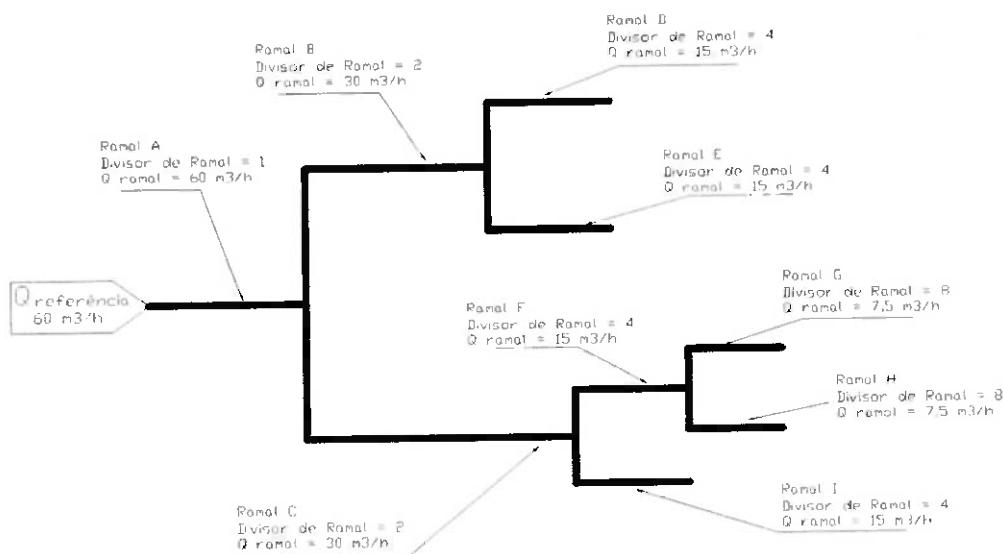


Fig. 34 - Vazão de Referência - Divisor de Ramal

A Vazão de referência de um Sistema ($Q_{referência}$) é a vazão que determinará a base de distribuição para todos os ramais. No exemplo acima, $Q_{referência}$ é a vazão de entrada no sistema, e vale $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Cada ramal é acompanhado de um Divisor de Ramal, que é o denominador da fração da vazão de referência ($Q_{referência}$) que circulará no ramal. Define-se a Vazão em cada ramal (Q_{ramal}) como :

$$Q_{ramal} = \frac{Q_{referência}}{\text{Divisor de ramal}}$$

Do exemplo acima, no Ramal A passa a mesma vazão de entrada ($Q_{\text{ramal}} = Q_{\text{referência}} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$). Ao final deste ramal, encontraremos uma divisão de fluxo, ou seja, o Ramal A é subdividido em dois outros ramais (Ramal B e Ramal C). Com isso, a vazão que circulava pelo Ramal A agora é dividida pelo número de novos ramais, ou seja, o Divisor do Ramal para o Ramal B será 2, e Q_{ramal} será igual a $30 \text{ m}^3/\text{h}$. O mesmo acontece para o Ramal C.

Ao final do Ramal B, o fluxo que nele circula será dividido e outras duas partes, ou seja, o Divisor do Ramal referente ao Ramal B será dividido por 2. Com isso, a Q_{ramal} do Ramal D valerá $15 \text{ m}^3/\text{h}$, o seu Divisor de Ramal terá valor 4. Assim segue sucessivamente.

i) Perda de Carga Distribuída

Operação

Inicialmente deve-se adotar na célula *Velocidade*, uma velocidade média para o fluido nas tubulações, assim como, a Vazão de referência para a Estação, na célula *Q referência*.

Cada célula na cor amarela deve ser preenchida. As colunas possuem as seguintes funções:

- *Descrição*: Serve como referência da tubulação estudada. Não possui vínculo direto com nenhuma rotina de cálculo da planilha, podendo ser preenchida como uma anotação do operador. Por exemplo, "tubulação de aço inox 316", ou então, "tubulação entre as bombas 1 e 2".
- *Quantidade*: Quantifica em metros a tubulação descrita no item anterior.
- *Material*: Deve ser preenchida de acordo com o código do material da tubulação estudada. A Tabela de Materiais consta no canto superior direito da planilha.
- *Coeficiente de Material*: Apresenta o coeficiente característico do material escolhido para a tubulação. Este valor é função do material e do critério de cálculo adotado pelo programa, e não deve ser preenchido pelo operador.
- *Divisor de Ramal*: É o valor do denominador da fração de Vazão total que serve como entra no sistema estudado.
- *Q ramal*: É o valor em m^3/h da vazão que está passando na tubulação em estudo. Este valor é função da Vazão de

Referência (Q referência) e do Divisor de Ramal, portanto, não deve ser preenchido pelo operador.

- *Diâmetro:* Fornece o valor em polegadas do diâmetro da tubulação estudada. É função da Vazão do Ramal (Q ramal) e da Velocidade média do fluido na tubulação (Velocidade), portanto, não deve ser preenchida pelo operador.
- *J:* Fornece o valor em m/m da perda de carga correspondente ao trecho de tubulação estudada.
- *J total:* Fornece o valor da somatória de todas as perdas de cargas referente às várias tubulações discriminadas na tabela.

Rotina de Cálculo

O cálculo da perda de carga em um determinado duto será calculado pela formula de Hazen-Williams, se o diâmetro da tubulação (célula Diâmetro) for maior que 2 polegadas. Para diâmetros inferiores, será adotada a formula de Flamant.

O Coeficiente de Material para a fórmula de Hazen-Willians é da ordem de 102, enquanto para a formula de Flamant é da ordem de 10-5. O material da tubulação, ao qual é associado este coeficiente, será escolhido de acordo com o código da Tabela de Materiais, contida na própria planilha.

O Diâmetro da tubulação será função da Velocidade de Referência (célula Velocidade) e da Vazão no ramal (Q ramal).

Segundo uma rotina, o programa testa a condição em que o diâmetro calculado para a tubulação seja maior ou igual a 2 polegadas, e associa a esta condição o Coeficiente de Material correspondente a cada critério de cálculo (Hazen-Williams ou Flamant).

A perda de carga (J), calculada em m/m é função do diâmetro da tubulação, da vazão do ramal, do coeficiente de material, e deve ser multiplicado pela quantidade de tubulação estudada.

Ao final, é feita uma somatória da perda de carga total no sistema estudado (J total).

ii) Perda de Carga Localizada**Operação**

Inicialmente deve-se adotar na célula Q referência, a vazão de referência para a estação.

Cada célula na cor amarela deve ser preenchida. As colunas possuem as seguintes funções:

- **Código da Peça:** Deve ser preenchida segundo a Lista de Peças/Códigos, a qual consta na parte superior esquerda da mesma sub-planilha.
- **Descrição:** Descreve a peça listada segundo o código preenchido anteriormente.
- **Diâmetro:** Deve ser preenchida com o diâmetro da peça a ser estudada.
- **Quantidade:** Deve ser preenchida com a quantidade de peças iguais estudadas.
- **Nº de Diâmetros :** Fornece a relação do comprimento equivalente da peça (L/D). Não deve ser preenchida pelo operador.
- **Código do Material :** Deve ser preenchido segundo a Tabela de Materiais que consta na parte superior direita da planilha. Este código indicará o material da peça estudada.
- **Coeficiente de Material:** Apresenta o coeficiente característico do material escolhido para a peça. Este valor é função do material e do critério de cálculo adotado pelo programa, e não deve ser preenchido pelo operador.
- **Divisor de Ramal:** É o valor do denominador da fração de vazão total que serve como entrada no sistema estudado.
- **Q ramal:** É o valor em m³/h da vazão que está passando pela peça em estudo. Este valor é função da Vazão de Referência (Q referência) e do Divisor de Ramal, portanto, não deve ser preenchido pelo operador.
- **J:** Fornece o valor em m/m da perda de carga correspondente ao trecho de tubulação estudada.

- *J total:* Fornece o valor da somatória de todas as perdas de cargas referente às várias tubulações discriminadas na tabela.

Rotina de Cálculo

O Número de Diâmetros (célula No de Diâmetros) é fornecido em função da peça que esta sendo estudada. Com esta relação, juntamente com o diâmetro da peça, é possível saber o comprimento de equivalente do tubo que causará a mesma perda de carga que esta peça. Com a obtenção deste comprimento de duto, é calculada a perda de carga da mesma maneira descrita anteriormente para perda de carga, ou seja, será utilizada a fórmula de Hazen-Williams, se o diâmetro da tubulação (célula Diâmetro) for maior ou igual a 2 polegadas. Para diâmetros inferiores, será adotada a fórmula de Flamant.

O Coeficiente de Material para a formula de Hazen-Willians é da ordem de 102, enquanto para a formula de Flamant é da ordem de 10-5. O material da peça, ao qual é associado este coeficiente, será escolhido de acordo com o código da Tabela de Materiais, contida na própria planilha.

Segundo uma rotina, o programa testa a condição em que o diâmetro calculado para a tubulação seja maior ou igual a 2 polegadas, e associa a esta condição o Coeficiente de Material correspondente a cada critério de cálculo (Hazen-Williams ou Flamant).

A perda de carga (*J*), calculada em m/m é função do diâmetro da peça, da vazão do ramal, do coeficiente de material, e deve ser multiplicado pela quantidade de peças estudadas.

Ao final, é feita uma somatória da perda de carga total no sistema estudado (*J total*).

iii) Contagem de Material

Operação

Inicialmente, deve-se manter atualizada uma tabela dos custos de cada peça listada na Tabela de Referências de Valores. Cada peça listada neta tabela é separada de acordo com o material descrito nas sub-planilhas de Perda de Carga Distribuída e de Perda de Carga Localizada.

Na Tabela de Referência de Valores, a Lista de Peças de cada material é carregada automaticamente das sub-planilhas de Perdas de Carga preenchidas anteriormente. A lista de Tubos deve ser preenchida

nesta sub-planilha, contemplando o tipo de tubo (por exemplo, tubo com costura, Sch 40, Sch 80, etc) e o material (por exemplo, aço inox 316, aço carbono, etc). A lista de tubos não é carregada automaticamente da sub-planilha Perda de Carga Distribuída, pois a determinação da perda de carga por atrito em uma tubulação não depende de alguns fatores muito importantes para o levantamento de custo da peça, como por exemplo espessura da tubulação, e alguns fatores de fabricação, como por exemplo a calandragem ou extrusão da peça. Além disso, o material dos tubos deve ser preenchido na coluna Lista de Tubos, que consta na Tabela de Referência de Custos, pois, mesmo sendo um fator essencial para os resultados gerados pelas sub-planilhas anteriores, não há uma regra uniforme para a elaboração automática desta lista. Por exemplo, um tubo com costura não pode ser obtido em PVC, ou em material cerâmico. Com isso, a Lista de Tubos x Valor (R\$), deve ser preenchida com o tipo de tubo desejado, aliando seu custo.

A Tabela de Tubos/Peças Selecionadas é constituída de duas partes:

- **Peças:** Relaciona em uma colunas as Peças Selecionadas, as quais são carregadas automaticamente da sub-planilha de Perda de Carga Localizada. A Quantidade de cada uma das peças selecionadas, também já é automaticamente carregada da sub-planilha anterior, assim como o material de cada peça. O custo de cada peça é extraído automaticamente da Tabela de Referência de Custos. Ao final, é apresentada uma somatória (Total) dos valores de custo das peças.
- **Tubulação:** Relaciona em uma coluna a Lista de Tubos escolhida na sub-planilha de Perda de carga Distribuída. Estes tubos são carregados automaticamente, mas necessitam de uma especificação, por parte do operador, sobre o material e o tipo de tubo correspondente à Descrição feita anteriormente. Esta complementação deve ser feita seguindo o Código (Tipo) que consta na Tabela de Tubulação da Tabela de Referência de Custos. A quantidade de tubos para cada itens também é carregada automaticamente da sub-planilha de Perda de Carga Distribuída. O Valor de cada elemento selecionado é extraído da Tabela de Custos, e de acordo com o Tipo escolhido. Ao final, é apresentado uma somatória (Total) do custo do material estudado.

iv) Gráfico

O gráfico de perda de carga do sistema estudado é gerado automaticamente das planilhas de Perda de Carga Distribuída e Perda de Carga Localizada.

Operação

O operador deve apenas preencher a célula na cor amarela, referente ao Desnível entre o ponto mais baixo e o mais alto da tubulação estudada. As outras informações sobre a Perda de carga gerada pelo sistema montado, são automaticamente retiradas de planilhas anteriores.

Comentários

O Gráfico gerado é de muita utilidade para o estudo do comportamento das perdas por atrito que a configuração do sistema impõe. Além disso, este Gráfico é de fundamental importância para a especificação do ponto de operação de uma bomba que trabalhará juntamente com o sistema estudado.

B) SELEÇÃO DE BOMBAS

Esta Planilha tem o intuito de auxiliar o operador na escolha da melhor bomba para realizar uma determinada tarefa. Os aspectos que modelam esta escolha são:

- Vazão
- Altura de Recalque da Bomba
- Rotação Nominal do Motor da Bomba

Operação

O operador deve preencher as células em amarelo.

As células possuem a seguinte função:

- *Vazão*: É a vazão que a bomba deverá recalcar
- *Altura de Recalque da Bomba*: É o desnível entre o centro do rotor da bomba e a máxima altura que o fluido deverá atingir.
- *Rotação Nominal do Motor*: Rotação nominal do motor elétrico que funcionará a bomba.

As saídas desta planilha serão a Rotação específica da bomba selecionada, e a indicação da melhor bomba para realizar a tarefa desejada (Bomba a ser utilizada).

Comentários

Esta planilha fornece a rotação específica da bomba selecionada, pois, em algum estudo mais detalhado de bombas, este valor pode ser necessário para comparação em outros aspectos não inclusos nesta planilha. Um aspecto muito importante a ser levado em consideração é o custo do equipamento selecionado. Existem muitos fabricantes que oferecem bons equipamentos, nas mais variadas configurações (de materiais, grau de proteção, facilidade de manutenção, etc), e com consideráveis diferenças de preços. Cabe ao operador saber interpretar as informações geradas nesta planilha e aliar o custo do equipamento à sua escolha final.

C) BOMBAS CENTRÍFUGAS

Em uma Estação de Tratamento de Efluentes, a grande maioria dos fluidos deslocados com auxílio de bombas, são modelados como água. O esgoto, neste caso, é muito líquido, com pH quase neutro. Por isso, para a Planilha de Bombas Centrífugas, está sendo considerado o recalque apenas de fluidos que possuem comportamento dinâmico semelhante à água.

Outros efluentes que circulam em uma ETE/ETA, podem ser fluidos-não-newtonianos, como algumas espécies de lodo. Geralmente, estes fluidos possuem velocidade máxima de recalque muito baixa, utilizando-se de Bombas Estáticas para sua movimentação. Outros fluidos que não podem ser modelados como água, mas que estão contidos no projeto de Estações são os Polímeros (exemplo, Polieletrólito), e produtos químicos necessários ao processo de neutralização do esgoto. Estes produtos são recalcados em baixa velocidade, utilizando-se também Bombas Estáticas de Deslocamento Positivo ou Bombas Diafragma. A modelagem e escolha de uma bomba deste tipo são particulares ao fabricante do equipamento, e não obedece a uma regra comum de escolha.

Operação

As células na cor amarela devem ser preenchidas pelo operador. Elas se dividem da seguinte maneira:

- *Líquido:* Fluido a ser recalcado. Conforme explicado anteriormente, esta célula não deve ser preenchida pelo operador.
- *Vazão:* Vazão de recalque

- *Temperatura do líquido:* Temperatura máxima do fluido que será recalcado pela bomba.
- *Altitude local:* Altitude (em m), em relação ao nível do mar, do local de instalação da bomba.
- *Perda de Carga:* Perdas de carga pro atrito do fluido, na tubulação de sucção da bomba e na tubulação de recalque.
- *Altura de Sucção:* Desnível entre o nível líquido do fluido a ser recalcado e o centro do rotor da bomba. Se a bomba estiver afogada, preencher esta célula com valor 0 (zero).
- *Altura de Recalque:* Desnível entre o centro do rotor da bomba e a altura máxima onde deverá chegar o líquido.
- *Rendimento (Motor X Bomba):* É o valor médio entre a multiplicação do Rendimento do motor elétrico da bomba e o Rendimento da própria bomba.
- *Potência no eixo:* Potência requerida pela bomba para poder realizar a tarefa desejada. Esta é a potência necessária no eixo do rotor da bomba, ou seja, é a potência necessária para poder recalcar o fluido, nas condições descritas anteriormente, até a Altura Máxima de Recalque.
- *Folga do Motor Elétrico:* É recomendado uma certa folga para os motores elétricos para acionamento das bombas. Esta folga segue uma padronização, a qual foi descrita em capítulos anteriores.
- *Motor elétrico a ser utilizado:* É o resultado da Potência no Eixo do rotor da bomba, acrescido da folga necessária ao motor elétrico para a boa performance do conjunto. Este valor é a Potência do Motor elétrico que equipará a Bomba Centrífuga estudada.
- *NPSH disponível:* É o NPSH disponível para a bomba nesta instalação, e é calculado segundo a temperatura do fluido, altura e perdas na sucção da bomba, e Pressão de Vapor do fluido no local de instalação da bomba.

Comentários

Esta Planilha gera resultados para orientar e servir de base para que o operador escolha a melhor bomba centrífuga para realizar um determinado trabalho. O valor do Rendimento (Motor X Bomba) é estimado em 67%. Este valor é o resultado da multiplicação entre os Trabalho de Conclusão de Curso

rendimentos do motor elétrico e da bomba, exatamente no ponto em que a bomba está operando. O valor sugerido de 67% é considerado por muitos a melhor estimativa para este parâmetro, mas o verdadeiro valor desta grandeza é informado pelo fabricante do equipamento através das Curvas de Funcionamento da Bomba.

Deve-se novamente ressaltar que o NSPH requerido pela bomba, o qual é fornecido pelo fabricante do equipamento, deve ser sempre menor que o NSPH disponível.

VII. BIBLIOGRAFIA

American Water Works Association, 1990, *Water Treatment Plant Design*, 3^a ed, McGraw-Hill.

Aquamec Equipamentos Ltda, *Catálogo Geral de Equipamentos e Sistemas de Tratamento de Água Residuárias*, 1994, São Paulo, Brasil.

Degrémont, 1979, *Water Treatment Handbook*, 5^a ed, Halsted Press.

Fox, R. W., McDonald, A. T., 1998, *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, 4^a ed., LTC, São Paulo, Brasil.

Lauria, D., *Apostila de Máquinas de Fluxo*

Lauria, J. C., 1992, *Análise do Comportamento Operacional de Válvulas*, ISA Internacional.

Netto, A., *Manual de Hidráulica*, Edgard Blücher Ltda.

Macintyre, A. J., *Instalações Hidráulicas*, 3^a ed, LTC.

Normas ABNT – NBR 12214/1992; NBR 5626; NBR 1225/1992.

Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, McGraw-Hill, New York, U.S.A.

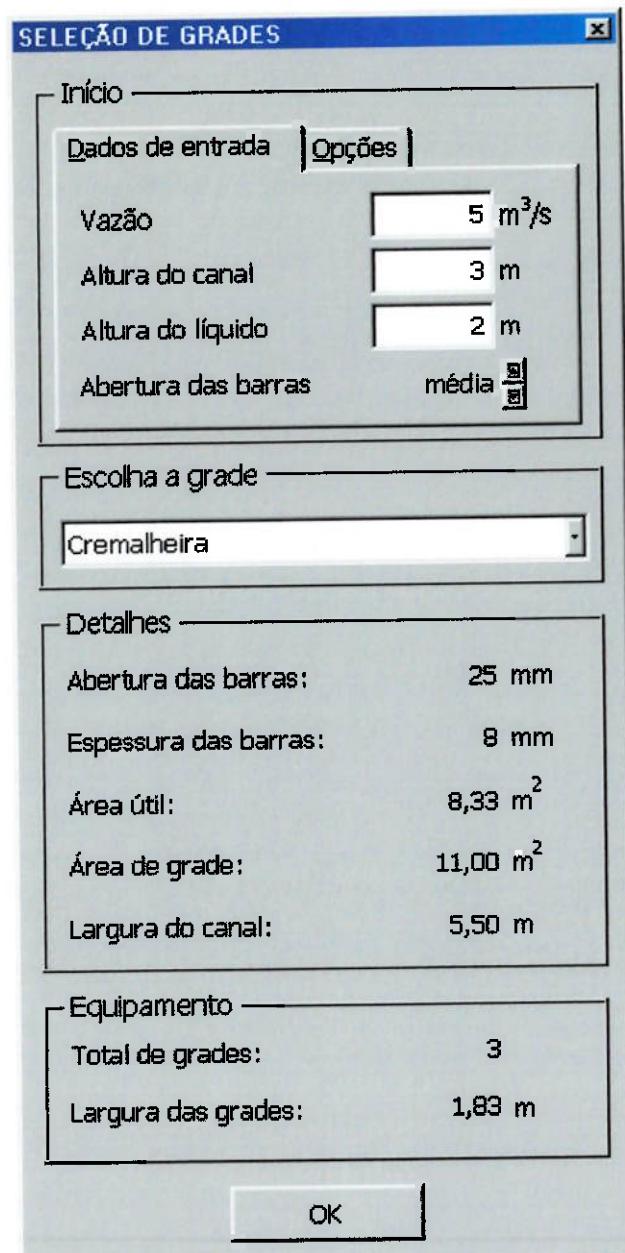
McFedries, P., 2000, *Visual Basic for Applications Unleashed*, 1^a ed, Sams Publishing, Indianapolis, U.S.A.

U.S. Environmental Protection Agency, 1990, *Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal*.

APÊNDICE I – LISTAGEM DAS TELAS DE APRESENTAÇÃO DOS FORMULÁRIOS E PLANILHAS

Este apêndice contém as telas de apresentação dos formulários de cálculo e planilhas elaboradas.

Cada item corresponde a um formulário do arquivo Aplicativo - equipamentos.xls ou planilha da pasta Aplicativo – sistemas anexos no CD.

A) GRADES DE BARRAS**Fig. 35 - Página principal.**

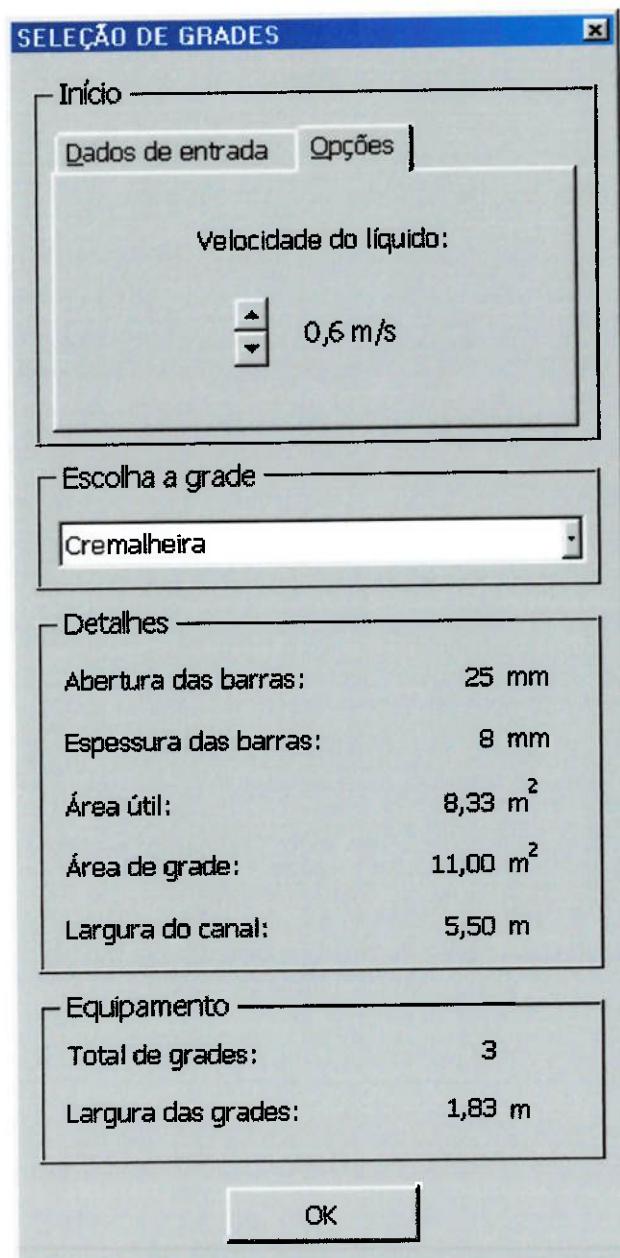


Fig. 36 - Página de opções.

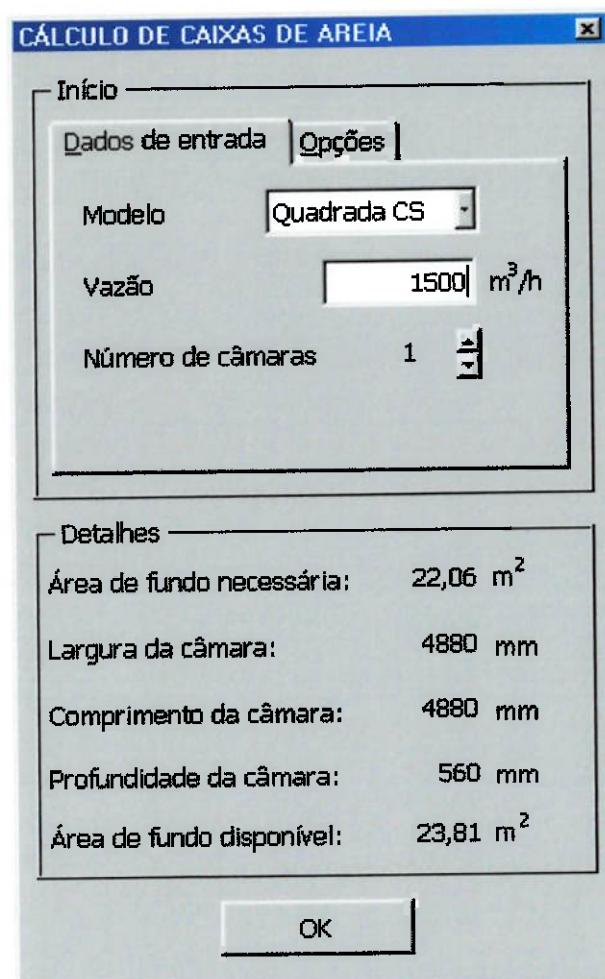
B) CAIXAS DE AREIA

Fig. 37 - Página principal, caixa quadrada.

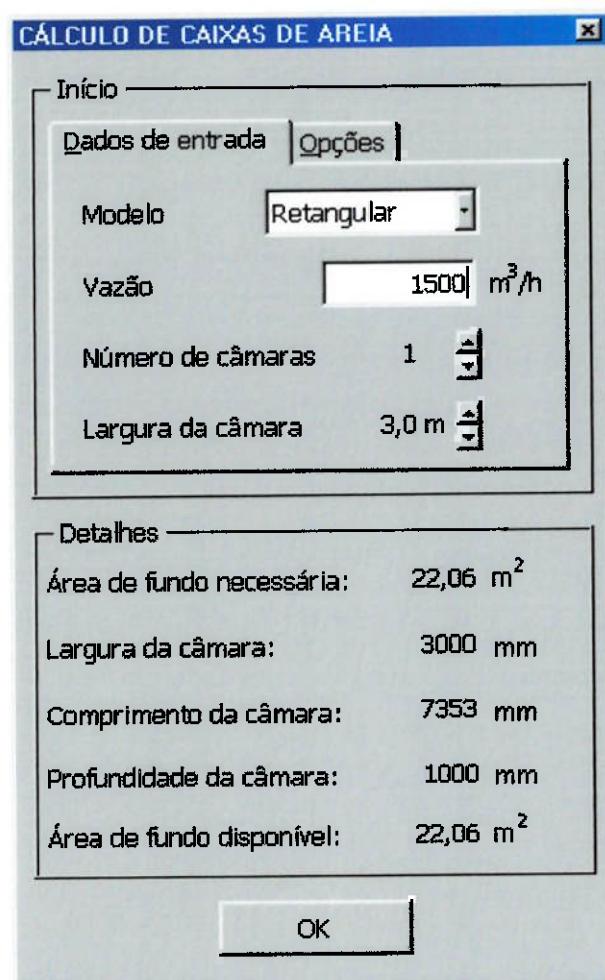


Fig. 38 - Página principal, caixa retangular.

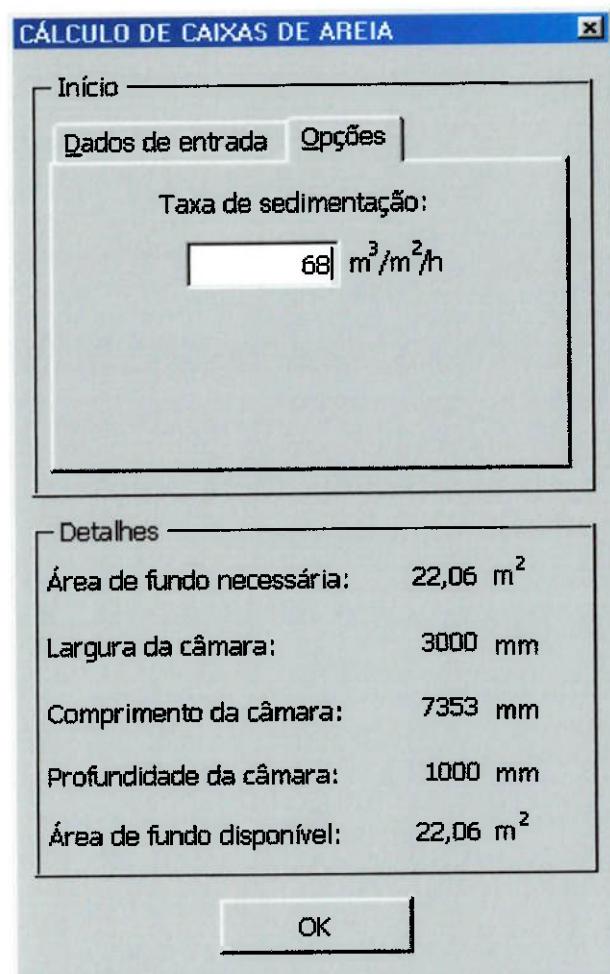
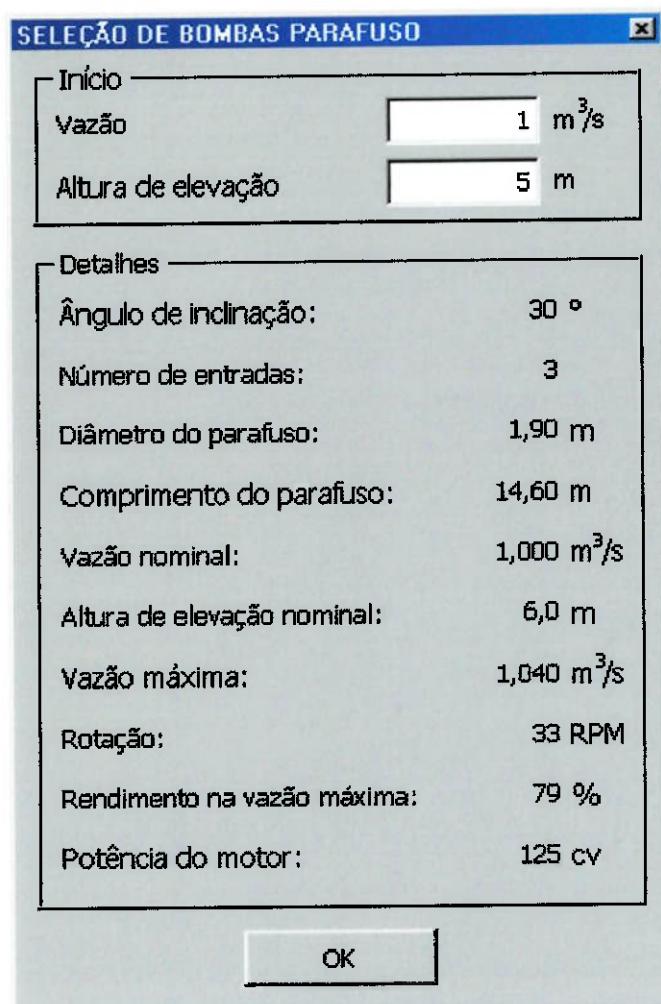


Fig. 39 - Página de opções.

C) BOMBAS PARAFUSO**Fig. 40 - Página principal.**

D) AERADORES

CÁLCULO DO SISTEMA DE AERAÇÃO

Início

Dados de entrada | Opções

Vazão: 34560 m³/dia

Demandas de Oxigênio: 12920 kg_{O₂}/dia

Tempo de detenção: 3 dias

Aerador: Baixa rotação

Detalhes

Profundidade do tanque/lagoa: 4.0 m

Largura do tanque/lagoa: 125.0 m

Comprimento do tanque/lagoa: 207.4 m

Volume do tanque/lagoa: 103680 m³

Potência total necessária: 629.7 cv

Equipamento

Potência do aerador: 5 cv

Quantidade de aeradores: 126

Necessário uso de tubo de tiragem

OK

Fig. 41 – Página principal.

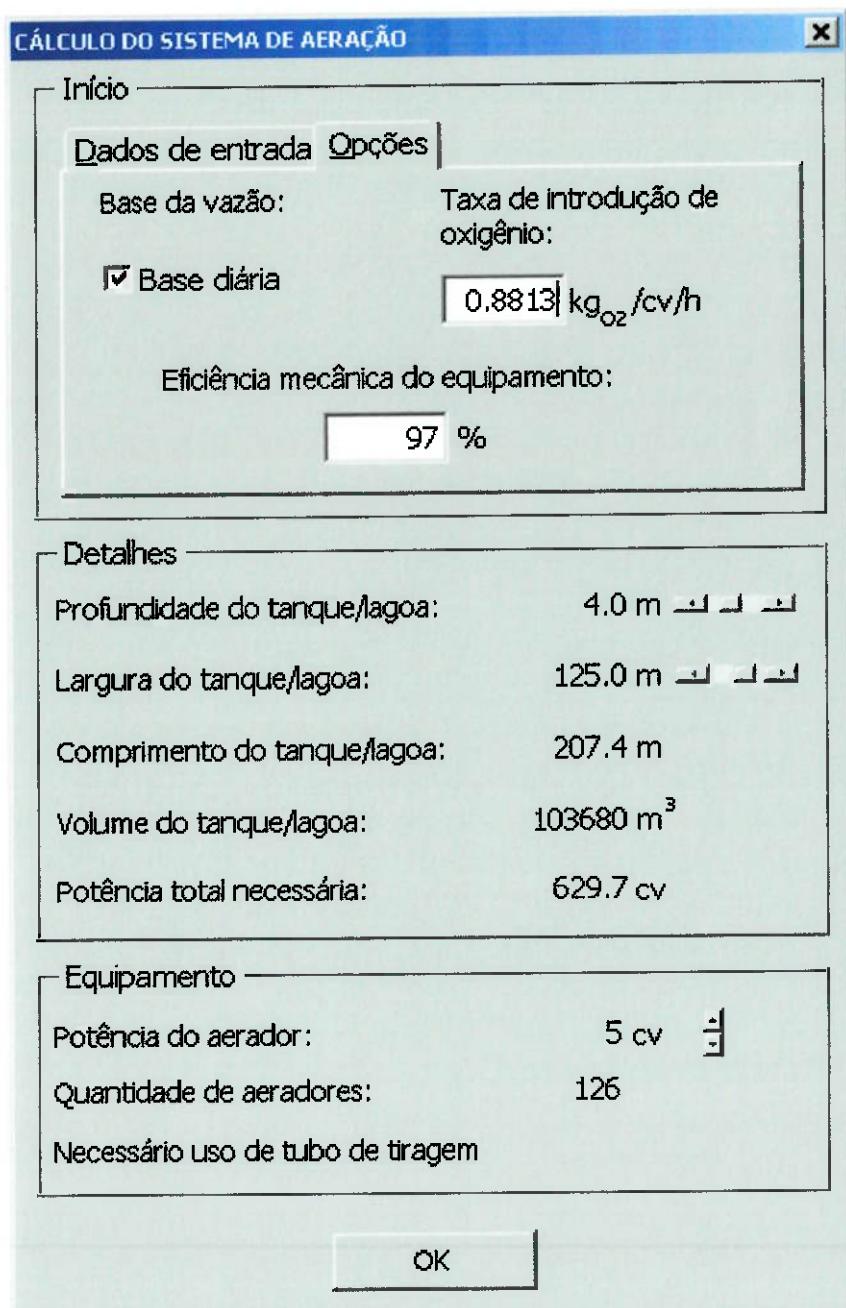


Fig. 42 - Página de opções.

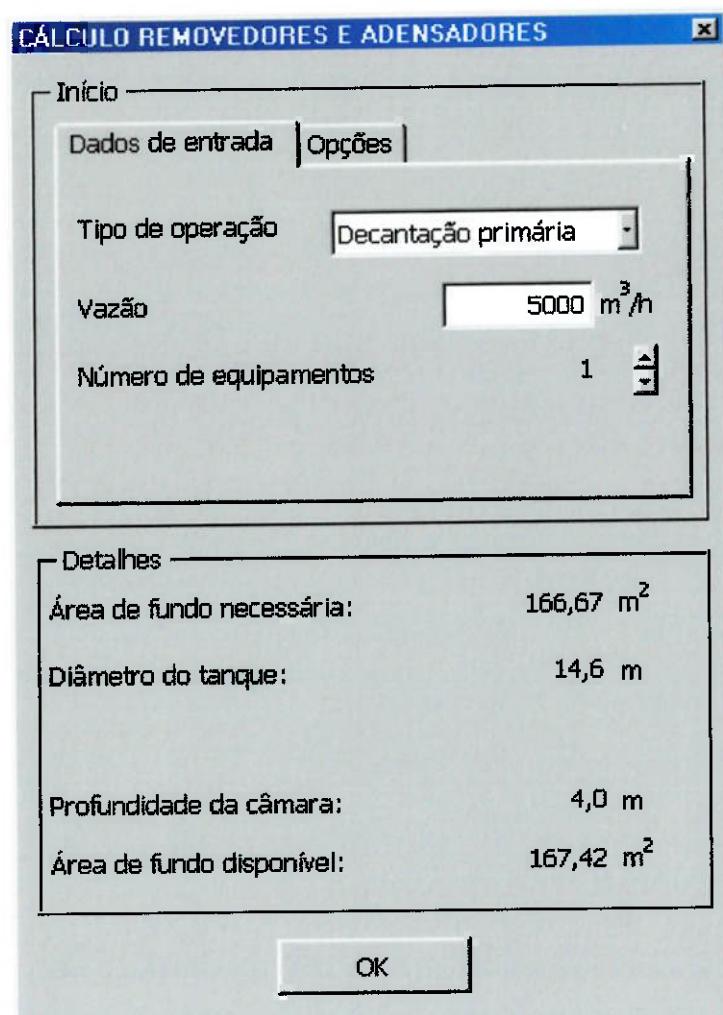
E) REMOVEDORES E ADENSADORES

Fig. 43 – Página principal, tanque circular.

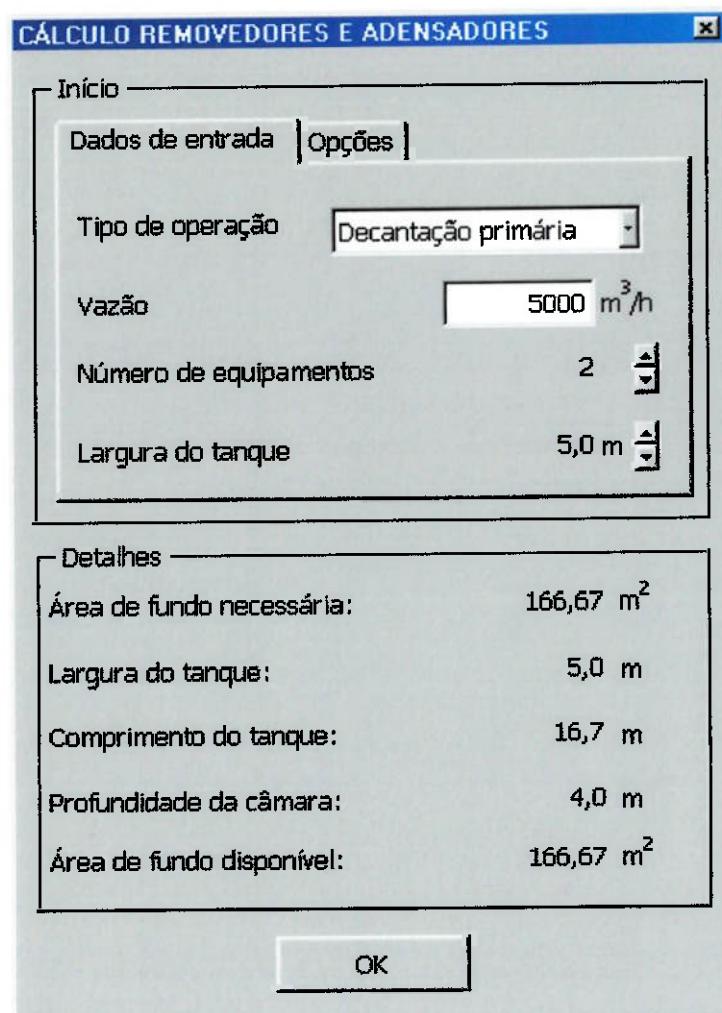
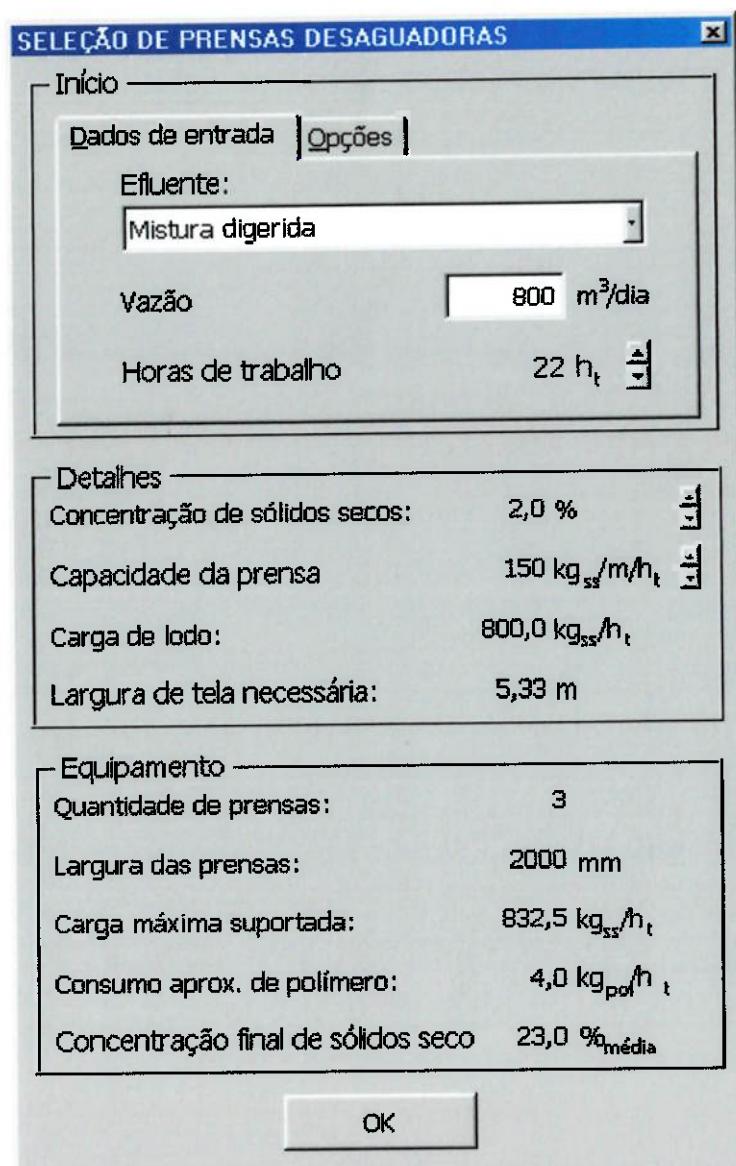


Fig. 44 - Página principal, tanque retangular.

F) PRENSAS DESAGUADORAS**Fig. 46 - Página principal, base diária.**

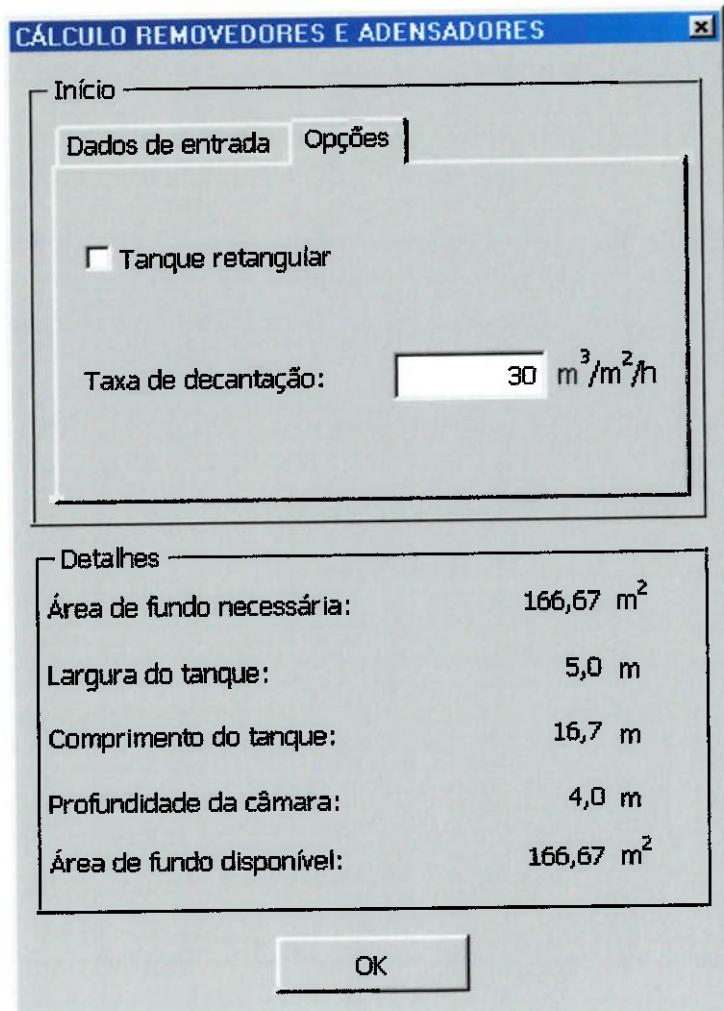


Fig. 45 - Página de opções.

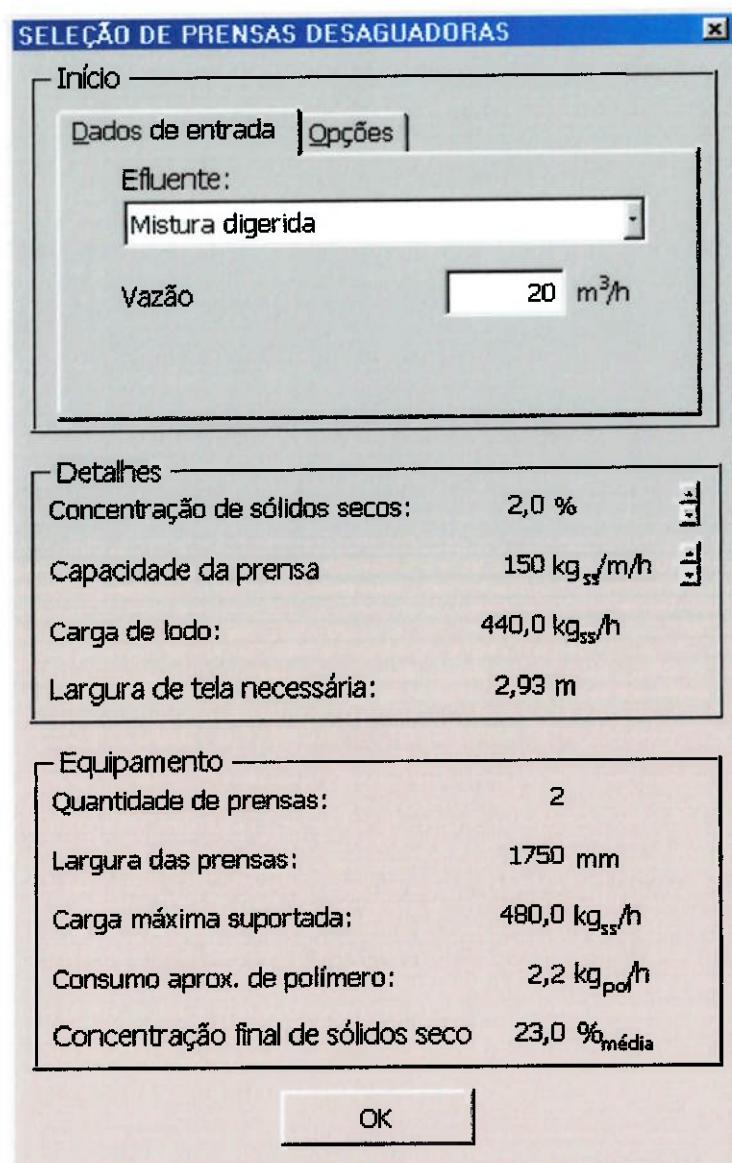


Fig. 47 - Página principal, vazão instantânea.

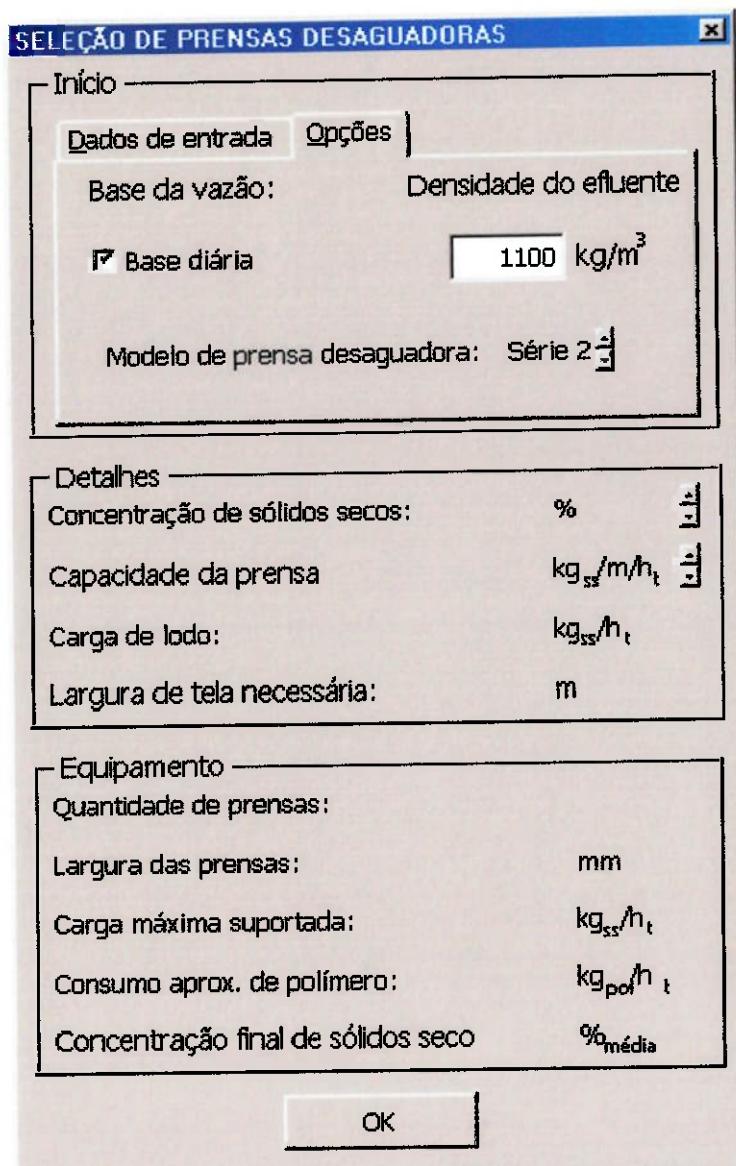


Fig. 48 - Página de opções.

A) SELEÇÃO DE BOMBAS

SELEÇÃO DE BOMBAS	
Vazão	90 m ³ /h
Altura de Recalque	5 m
Rotação Nominal do Motor	1750 rpm
Rotação Específica	83
Bomba a ser utilizada	Bomba Dinâmica com Escoamento Diagonal

Fig. 49 - Página principal.

BOMBAS CENTRÍFUGAS		
Líquido	água/esgoto	
Vazão	5 m ³ /h	
Temperatura do Líquido	60 °C	
Altitude Local	690 m	
Altura de Succão	1 m	
Altura de Recalque	8 m	
Perda de Carga na Tubulação	Sucção	0.5 m
	Recalque	0.5 m
Rendimento (Motor X Bomba)	67 %	
Potência no Eixo	0.28 cv	
Folga do motor elétrico	50 %	
Motor Elétrico a ser utilizado	0.4 cv	
NPSH disponível	5.58 m	

Fig. 50 – Informações para bombas centrífugas.

B) PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA							
		Tabela de Materiais					
Material	Código	Aço / Ferro	1	Cobre	2	Plásticos	3
Velocidade (m/s)	2						
Q Referência (m ³ /h)	100						
Descrição	Quantidade (m)	Material	Coef De Material	Divisor de Ramal	Q ramal (m ³ /h)	Diametro (m)	
tubo1	1	2	140	2	50,0	3,7	
tubo2	2	2	140	3	33,3	3,0	
tubo3	3	3	140	4	25,0	2,6	
tubo4	4	1	140	5	20,0	2,3	
tubo5	5	3	140	6	16,7	2,1	
tubo6	1	2	140	1	100,0	5,2	
tubo7	2	1	140	1	100,0	5,2	
tubo8	3	1	140	3	33,3	3,0	
tubo9	4	1	140	1	100,0	5,2	
tubo10	5	1	140	1	100,0	5,2	
tubo11	1	1	140	1	100,0	5,2	
tubo12	2	1	140	1	100,0	5,2	
tubo13	3	1	140	1	100,0	5,2	
tubo14	4	1	140	1	100,0	5,2	
tubo15	5	1	140	1	100,0	5,2	
J total (m)		1,102					

Fig. 51 – Página principal.

C) PERDA DE CARGA LOCALIZADA

PERDA DE CARGA LOCALIZADA						
Q referência (m³/h)	100					
Lista de Peças		Código	Lista de Peças			
Ampliação gradual	1	Válv. Gaveta - Aberta	11	Tabela de Materiais		
Colovelo de 90°	2	Válv. Globo - Aberta	12	Material		
Colovelo de 45°	3	Saída de Canalização	13	Código	1	
Curva de 90°	4	Té passagem direta	14	Aço / Ferro	2	
Curva de 45°	5	Té saída de lado	15	Cobre	3	
Entrada Normal	6	Té saída bilateral	16	Plásticos		
Entrada de Borda	7	Válv.-de-de e Crivo	17			
Junção	8	Válv. de Relevo	18			
Redução Gradual	9					
Redução	10					

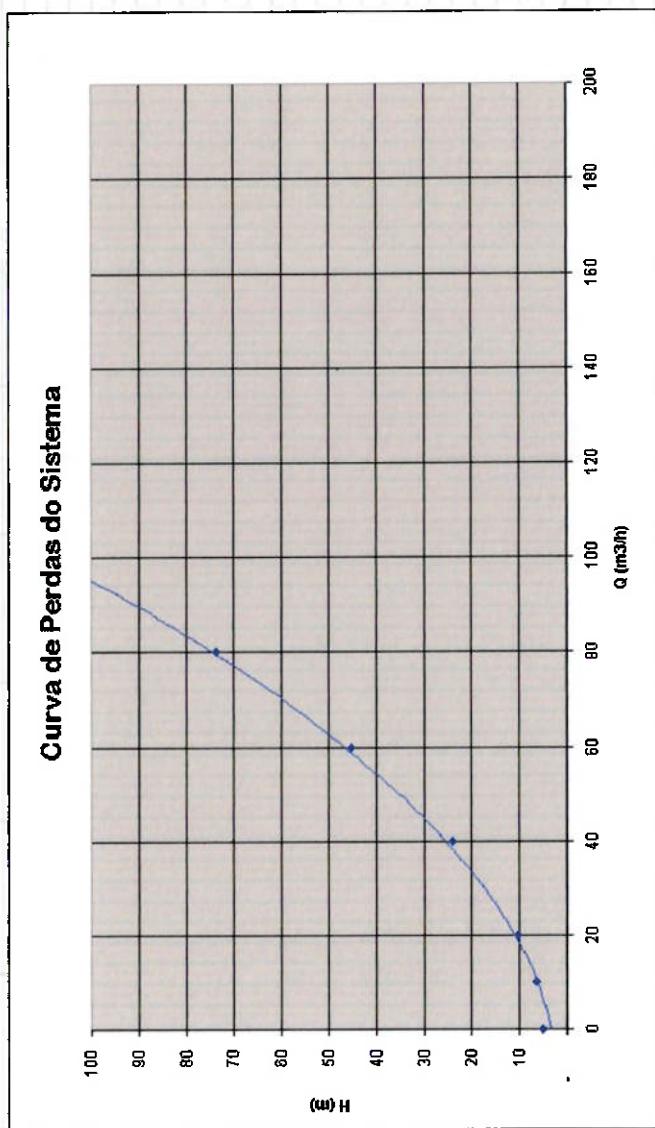
Código da Peças	Descrição	Diâmetro (m)	Quantidade	Código do Material	No. de Diam.	Coef De Material	Divisor de Ramal	Q ramal (m³/h)	J (m)
1	Ampliação Gradual	3	2	3	12	140	1	100	0,767
2	Colovelo 90°	4	2	2	45	140	1	100	0,944
3	Colovelo 45°	1	2	3	20	0,00002	1	100	8,483
4	Curva 90°	4	2	1	30	140	1	100	0,650
5	Curva 45°	6	2	3	15	140	1	100	0,068
6	Entrada Normal	2	2	2	17	140	1	100	5,216
7	Entrada de Borda	5	2	1	35	140	1	100	0,310
8	Junção	6	2	2	30	140	1	100	0,131
9	Redução Gradual	3	2	2	6	140	1	100	0,383
10	Redução	6	2	1	35	140	1	100	0,153
11	Válv. Gaveta - Aberta	3	2	2	8	140	1	100	0,511
12	Válv. Globo - Aberta	10	2	3	350	140	8	100	0,005
13	Saída de Canalização	6	2	1	35	140	1	100	0,153
14	Té passagem direta	6	2	2	20	140	1	100	0,087
15	Té saída de lado	4	2	3	50	140	1	100	1,049
16	Té saída bilateral	5	2	1	65	140	1	100	0,575
17	Válv.-de-de e Crivo	6	2	2	250	140	1	100	1,092
18	Válv. de Relevo	10	2	3	100	140	1	100	0,061
1	Ampliação Gradual	6	2	1	12	140	1	100	0,052
2	Colovelo 90°	10	2	1	45	140	1	100	0,027
3	Colovelo 45°	8	2	1	20	140	1	100	0,029
							J total (m)		20.704

Fig. 52 – Página principal.

D) LISTAGEM DE MATERIAL

Contagem de Material		Tabela de Referência de Custos				Tabela de Custos / Peças Selecionadas			
Aço/Ferro	Lista de Peças	Cobre	Lista de Peças	Plástico	Lista de Peças	Tubulação	Lista de Tubos	Tubulação	Lista de Tubos
Lista de Peças	Valor (R\$)	Lista de Peças	Valor (R\$)	Lista de Peças	Valor (R\$)	Quantidade (m)	Lista de Tubos	Valor (R\$)	Quantidade (m)
Amplofôto grande	1	Amplofôto grande	20	Amplofôto grande	40	1	tubo1	11	1
Côbolo de 90°	2	Côbolo de 90°	21	Côbolo de 90°	41	2	tubo2	22	2
Côbolo de 45°	3	Côbolo de 45°	22	Côbolo de 45°	42	3	tubo3	33	3
Cuna de 90°	4	Cuna de 90°	23	Cuna de 90°	43	4	tubo4	44	4
Cuna de 45°	5	Cuna de 45°	24	Cuna de 45°	44	5	tubo5	55	5
Entrada Normal	6	Entrada Normal	25	Entrada Normal	45	6	tubo6	66	6
Entrada da Borda	7	Entrada da Borda	26	Entrada da Borda	46	7	tubo7	77	7
Junção	8	Junção	27	Junção	47	8	tubo8	88	8
Redutora Gratal	9	Redutora Gratal	28	Redutora Gratal	48	9	tubo9	99	9
Redução	10	Redução	29	Redução	49	10	tubo10	100	10
Válv. Gavita - Aberta	11	Válv. Gavita - Aberta	30	Válv. Gavita - Aberta	50	11	tubo11	110	11
Válv. Globe - Aberta	12	Válv. Globe - Aberta	31	Válv. Globe - Aberta	51	12	tubo12	120	12
Saída de Canalização	13	Saída de Canalização	32	Saída de Canalização	52	13	tubo13	130	13
Té passagem direta	14	Té passagem direta	33	Té passagem direta	53	14	tubo14	140	14
Té saída de lado	15	Té saída de lado	34	Té saída de lado	54	15	tubo15	150	15
Té saída bilateral	16	Té saída bilateral	35	Té saída bilateral	55	16	tubo16	160	16
Válv. despejo e Chão	17	Válv. despejo e Chão	36	Válv. despejo e Chão	56	17	tubo17	170	17
Válv. de Retenção	18	Válv. de Retenção	37	Válv. de Retenção	57	18	tubo18	180	18
	0		0		0	19	tubo19	190	19
	0		0		0	20	tubo20	200	20

Fig. 53 – Página principal.

E) CURVA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA**Gráfico**

DESVÍO L (m)	Q (m³/h)	SOMA J (m)
0	0	0
10	10	6.468
20	20	10.291
40	40	24.073
60	60	45.382
80	80	73.798
100	100	108.897
120	120	150.576
140	140	198.616
160	160	252.872
180	180	313.219
200	200	379.550

Fig. 54 – Página principal.

APÊNDICE II – LISTAGEM DO CÓDIGO UTILIZADO

Este apêndice contém as listagens dos códigos em *Visual Basic for Applications™* dos formulários de cálculo elaborados.

Cada item corresponde a um formulário do arquivo Aplicativo.xls anexo no CD.

A) GRADES DE BARRAS

Código utilizado no formulário:

```
'Inicialização do formulário
Private Sub UserForm_Initialize()
    TextBox1.SetFocus
End Sub

'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub TextBox1_Change()
    If TextBox1.Value <> "" Then
        EscolhaGrade
        CalculosGrade
    End If
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    If TextBox2.Value <> "" Then
        EscolhaGrade
    End If
End Sub

Private Sub TextBox3_Change()
    If TextBox3.Value <> "" Then
        EscolhaGrade
    End If
End Sub

'Mudança do valor da velocidade do escoamento
Private Sub SpinButton1_Change()
    Label009.Caption = SpinButton1.Value / 10
    CalculosGrade
End Sub

'Escolha da abertura das barras
Private Sub SpinButton2_Change()
    Select Case SpinButton2.Value
        Case 1
            Label001.Caption = "fina"
        Case 2
            Label001.Caption = "média"
        Case 3
            Label001.Caption = "grossa"
        Case Else
    End Select
    CalculosGrade
End Sub
```

```
'Recalcula quando há mudança na grade escolhida
Private Sub ComboBox2_Change()
    CalculosGrade
End Sub

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload GradeForm
End Sub
```

Código utilizado na rotina:

```
'Definição de variável de tipo especial (grade)
Option Base 1
Type Grade
    tipo As String
    largura(2) As Single
    altura_canal As Single
    altura_liquido As Single
    abertura(3, 2) As Single
End Type

'Definição dos tipos de grade e suas características
Dim manual As Grade, thru_vertical As Grade, thru_inclinada As Grade, dois_cabos As Grade,
quatro_cabos As Grade, fuso As Grade, cremalheira As Grade, rotativa As Grade

Sub DefineGrade()

    With manual
        .tipo = "Limpeza Manual"
        .largura(1) = 0.6
        .largura(2) = 3
        .altura_canal = 3
        .altura_liquido = 2.5
        .abertura(1, 1) = 100
        .abertura(1, 2) = 10
        .abertura(2, 1) = 100
        .abertura(2, 2) = 10
        .abertura(3, 1) = 150
        .abertura(3, 2) = 13
    End With
    With thru_vertical
        .tipo = "Thru-Clean Vertical"
        .largura(1) = 0.6
        .largura(2) = 3
        .altura_canal = 12
        .altura_liquido = 2.2
        .abertura(1, 1) = 20
        .abertura(1, 2) = 8
        .abertura(2, 1) = 25
        .abertura(2, 2) = 8
        .abertura(3, 1) = 50
        .abertura(3, 2) = 10
    End With
    With thru_inclinada
        .tipo = "Thru-Clean Inclinada"
        .largura(1) = 0.6
        .largura(2) = 3
        .altura_canal = 12
        .altura_liquido = 6
        .abertura(1, 1) = 20
        .abertura(1, 2) = 8
    End With
End Sub
```

```
.abertura(2, 1) = 25
.abertura(2, 2) = 8
.abertura(3, 1) = 50
.abertura(3, 2) = 10
End With
With dois_cabos
    .tipo = "Dois Cabos"
    .largura(1) = 0.6
    .largura(2) = 3.6
    .altura_canal = 6
    .altura_liquido = 5.5
    .abertura(1, 1) = 12
    .abertura(1, 2) = 6
    .abertura(2, 1) = 25
    .abertura(2, 2) = 8
    .abertura(3, 1) = 25
    .abertura(3, 2) = 8
End With
With quatro_cabos
    .tipo = "Quatro Cabos"
    .largura(1) = 0.75
    .largura(2) = 3.6
    .altura_canal = 30
    .altura_liquido = 10
    .abertura(1, 1) = 12
    .abertura(1, 2) = 6
    .abertura(2, 1) = 25
    .abertura(2, 2) = 8
    .abertura(3, 1) = 75
    .abertura(3, 2) = 10
End With
With fuso
    .tipo = "Fuso-Castanha"
    .largura(1) = 0.3
    .largura(2) = 1.5
    .altura_canal = 2
    .altura_liquido = 1.5
    .abertura(1, 1) = 12
    .abertura(1, 2) = 6
    .abertura(2, 1) = 12
    .abertura(2, 2) = 6
    .abertura(3, 1) = 25
    .abertura(3, 2) = 8
End With
With cremalheira
    .tipo = "Cremalheira"
    .largura(1) = 0.6
    .largura(2) = 2
    .altura_canal = 6
    .altura_liquido = 2
    .abertura(1, 1) = 20
    .abertura(1, 2) = 8
    .abertura(2, 1) = 25
    .abertura(2, 2) = 8
    .abertura(3, 1) = 50
    .abertura(3, 2) = 10
End With
With rotativa
    .tipo = "Rotativa"
    .largura(1) = 0.6
    .largura(2) = 2
    .altura_canal = 2
    .altura_liquido = 1.5
    .abertura(1, 1) = 20
```

```

    .abertura(1, 2) = 8
    .abertura(2, 1) = 25
    .abertura(2, 2) = 8
    .abertura(3, 1) = 50
    .abertura(3, 2) = 10
End With
End Sub

'Rotina de escolha dos equipamentos aplicáveis
Sub EscolhaGrade()
    Do Until GradeForm.ComboBox2.ListCount = 0
        GradeForm.ComboBox2.RemoveItem (GradeForm.ComboBox2.ListCount - 1)
    Loop
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) = 0 Or Val(GradeForm.TextBox3.Value) = 0 Then Exit Sub
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= manual.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= manual.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem manual.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= fuso.altura_canal And Val(GradeForm.TextBox3.Value)
<= fuso.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem fuso.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= dois_cabos.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= dois_cabos.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem dois_cabos.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= rotativa.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= rotativa.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem rotativa.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= quatro_cabos.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= quatro_cabos.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem quatro_cabos.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= cremalheira.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= cremalheira.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem cremalheira.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= thru_vertical.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= thru_vertical.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem thru_vertical.tipo
    End If
    If Val(GradeForm.TextBox2.Value) <= thru_inclinada.altura_canal And
Val(GradeForm.TextBox3.Value) <= thru_inclinada.altura_liquido Then
        GradeForm.ComboBox2.AddItem thru_inclinada.tipo
    End If
    If GradeForm.ComboBox2.ListCount <> 0 Then
        GradeForm.ComboBox2.ListIndex = 0
    End If
End Sub

'Rotina de cálculo das saídas
Sub CalculosGrade()
    If Val(GradeForm.TextBox1.Value) = 0 Or Val(GradeForm.TextBox2.Value) = 0 Or
Val(GradeForm.TextBox3.Value) = 0 Then Exit Sub
    Dim escolha As Grade, AreaUtil As Single, AreaGrade As Single, LarguraCanal As Single,
LarguraGrade As Single, NumeroGrade As Single
    'Definição da escolha
    Select Case GradeForm.ComboBox2.Value
        Case "Limpeza Manual"
            escolha = manual
        Case "Thru-Clean Vertical"
            escolha = thru_vertical
        Case "Thru-Clean Inclinada"

```

```

escolha = thru_inclinada
Case "Dois Cabos"
    escolha = dois_cabos
Case "Quatro Cabos"
    escolha = quatro_cabos
Case "Fuso-Castanha"
    escolha = fuso
Case "Cremalheira"
    escolha = cremalheira
Case "Rotativa"
    escolha = rotativa
Case Else
    Exit Sub
End Select
'Cálculo da área útil
AreaUtil = Val(GradeForm.TextBox1.Value) / (GradeForm.SpinButton1.Value / 10)
GradeForm.Label004.Caption = Format$(AreaUtil, "0.00")
'Cálculo da área de grade
AreaGrade = AreaUtil * (escolha.abertura(GradeForm.SpinButton2.Value, 1) +
escolha.abertura(GradeForm.SpinButton2.Value, 2)) / escolha.abertura(GradeForm.SpinButton2.Value, 1)
GradeForm.Label005.Caption = Format$(AreaGrade, "0.00")
GradeForm.Label002.Caption = escolha.abertura(GradeForm.SpinButton2.Value, 1)
GradeForm.Label003.Caption = escolha.abertura(GradeForm.SpinButton2.Value, 2)
'Cálculo da largura do canal
LarguraCanal = AreaGrade / Val(GradeForm.TextBox3.Value)
GradeForm.Label006.Caption = Format(LarguraCanal, "0.00")
'Cálculo do número de grades
NumeroGrade = -Int(-LarguraCanal / escolha.largura(2))
GradeForm.Label007.Caption = NumeroGrade
'Cálculo da largura das grades
LarguraGrade = LarguraCanal / NumeroGrade
GradeForm.Label008.Caption = Format$(LarguraGrade, "0.00")
End Sub

```

B) CAIXAS DE AREIA**Código utilizado no formulário:**

```

'Inicialização do formulário
Private Sub UserForm_Initialize()
    With ComboBox1
        .AddItem "Quadrada CS"
        .AddItem "Retangular"
        .ListIndex = 0
    End With
    TextBox1.SetFocus
End Sub

'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub TextBox1_Change()
    If 9.155 ^ 2 * Val(TextBox2.Value) * 10 < Val(TextBox1.Value) Then
        MsgBox "Vazão muito grande, utilize outra alternativa.", , "ATENÇÃO"
        Exit Sub
    End If
    SpinButton3.Value = 1
    CalculosCaixa
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    CalculosCaixa
End Sub

```

```
'Mudança na quantidade de câmaras
Private Sub SpinButton3_Change()
    Label3.Caption = SpinButton3.Value
    CalculosCaixa
End Sub

'Mudança do modelo de caixa de areia
Private Sub ComboBox1_Change()
    Label001.Visible = ComboBox1.ListIndex
    Label002.Visible = ComboBox1.ListIndex
    Label003.Visible = ComboBox1.ListIndex
    SpinButton2.Visible = ComboBox1.ListIndex
    CalculosCaixa
End Sub

'Mudança na largura da câmara
Private Sub SpinButton2_Change()
    Label002.Caption = Format$(SpinButton2.Value / 2, "0.0")
    CalculosCaixa
End Sub

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload CaixaForm
End Sub
```

Código utilizado na rotina:

```
'Definição de variável de tipo especial (caixa de areia)
Option Base 1
Type caixaAreia
    tipo As String
    largura(10) As Single
    comprimento As Single
    profundidade(10) As Single
End Type

'Definição dos tipos de caixa de areia e suas características
Dim CS As caixaAreia

Sub defineCaixa()
    With CS
        .tipo = "Quadrada CS"
        .largura(1) = 2.44
        .largura(2) = 3.05
        .largura(3) = 3.66
        .largura(4) = 4.275
        .largura(5) = 4.57
        .largura(6) = 4.88
        .largura(7) = 5.495
        .largura(8) = 6.1
        .largura(9) = 7.62
        .largura(10) = 9.155
        .comprimento = 2.44
        .profundidade(1) = 0.455
        .profundidade(2) = 0.48
        .profundidade(3) = 0.51
        .profundidade(4) = 0.535
        .profundidade(5) = 0.535
        .profundidade(6) = 0.56
        .profundidade(7) = 0.585
        .profundidade(8) = 0.61
    End With
End Sub
```

```

.profundidade(9) = 0.685
.profundidade(10) = 0.735
End With
End Sub

'Rotina de cálculo das saídas
Sub CalculosCaixa()
If Val(CaixaForm.TextBox2.Value) = 0 Or Val(CaixaForm.TextBox1.Value) < 300 Then
With CaixaForm
.Label4 = ""
.Label5 = ""
.Label6 = ""
.Label7 = ""
.Label8 = ""
End With
Exit Sub
End If

Dim escolhaCaixa As caixaAreia, vazão As Single, AreaNecessaria As Single, AreaCaixa As
Single, taxa As Single, largura As Single, comprimento As Single, profundidade As Single, numero As Single, i As
Integer
taxa = Val(CaixaForm.TextBox2.Value)
vazão = Val(CaixaForm.TextBox1.Value)
numero = CaixaForm.SpinButton3.Value
AreaNecessaria = vazão / taxa
If CaixaForm.ComboBox1.ListIndex Then
largura = CaixaForm.SpinButton2.Value / 2
comprimento = AreaNecessaria / numero / largura
profundidade = -Int(-(0.358 + 0.214 * largura) * 10) / 10
Else
With CS
testa:
For i = 1 To 10
If .largura(i) ^ 2 >= AreaNecessaria / numero Then Exit For
Next
If i = 11 Then
numero = numero + 1
GoTo testa
End If
largura = .largura(i)
comprimento = .largura(i)
profundidade = .profundidade(i)
tempoDetenção = profundidade / taxa
End With
End If
CaixaForm.Label4.Caption = Format$(AreaNecessaria, "0.00")
CaixaForm.Label5.Caption = Format$(largura * 1000, "0")
CaixaForm.Label6.Caption = Format$(comprimento * 1000, "0")
CaixaForm.Label7.Caption = Format$(profundidade * 1000, "0")
CaixaForm.Label8.Caption = Format$(largura * comprimento * numero, "0.00")
CaixaForm.SpinButton3.Value = numero
End Sub

```

C) BOMBAS PARAFUSO

Código utilizado no formulário:

```

'Inicialização do formulário
Private Sub UserForm_Initialize()
    TextBox1.SetFocus
End Sub

```

```
'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub TextBox1_Change()
    If TextBox1.Value <> "" Then
        If Val(TextBox1.Value) > 6 Then
            MsgBox "Vazão muito grande para um único equipamento!" & Chr$(13) & "Divida em mais
equipamentos!", , "ATENÇÃO!"
            Exit Sub
        Else: CalculosBomba
        End If
    End If
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    If TextBox2.Value <> "" Then
        If Val(TextBox2.Value) > 9 Then
            MsgBox "Altura muito grande para um único equipamento!" & Chr$(13) & "Divida em mais
equipamentos!", , "ATENÇÃO!"
            Exit Sub
        Else: CalculosBomba
        End If
    End If
End Sub

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload BombaForm
End Sub
```

Código utilizado na rotina:

```
'Definição de variável de tipo especial (bomba)
Option Base 1
Type bomba
    vazãoNominal As Single
    alturaNominal As Single
    vazãoMax As Single
    rotação As Single
    rendimento As Single
    potencia As Single
    angulo As Integer
    entradas As Integer
    diâmetro As Single
    comprimento As Single
End Type

'Rotina de seleção dos dados de saída
Sub CalculosBomba()

    If (BombaForm.TextBox1.Value = "" Or BombaForm.TextBox1.Value = 0) Or
(BombaForm.TextBox2.Value = "" Or BombaForm.TextBox2.Value = 0) Then Exit Sub

    Dim bombaPar As bomba, aux As Range, i As Integer, j As Integer, vazão As Single, altura As
Single

    For i = 6 To 162 Step 6
        If CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i, 2).Value) >=
Val(BombaForm.TextBox1.Value) Then
            bombaPar.vazãoNominal = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i, 2).Value)
            Exit For
        End If
    Next
    For j = 0 To 5
        If Val(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 3).Value) = 0 Then
```

```

    MsgBox "Aplicação não recomendada, considere outra alternativa para a operação!", ,
"ATENÇÃO!"
    Exit Sub
    Elseif CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 3).Value) >=
Val(BombaForm.TextBox2.Value) Then
        bombaPar.alturaNominal = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 3).Value)
        Exit For
    End If
    Next
    With bombaPar
        .vazãoMax = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 4).Value)
        .rotação = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 5).Value)
        .rendimento = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 6).Value)
        .potencia = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 7).Value)
        .angulo = CInt(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 8).Value)
        .entradas = CInt(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 9).Value)
        .diametro = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 10).Value)
        .comprimento = CSng(Worksheets("BOMBA PARAFUSO").Cells(i + j, 11).Value)
    End With
    With BombaForm
        .Label16.Caption = bombaPar.angulo
        .Label17.Caption = bombaPar.entradas
        .Label18.Caption = Format$(bombaPar.diametro, "0.00")
        .Label19.Caption = Format$(bombaPar.comprimento, "0.00")
        .Label20.Caption = Format$(bombaPar.vazãoNominal, "0.000")
        .Label21.Caption = Format$(bombaPar.alturaNominal, "0.0")
        .Label22.Caption = Format$(bombaPar.vazãoMax, "0.000")
        .Label23.Caption = bombaPar.rotação
        .Label24.Caption = bombaPar.rendimento
        .Label25.Caption = bombaPar.potencia
    End With
End Sub

```

D) AERADORES

Código utilizado no formulário:

```

'Inicialização do formulário
Private Sub UserForm_Initialize()
    With ComboBox1
        .AddItem arDifuso.tipo
        .AddItem altaOut.tipo
        .AddItem altaIn.tipo
        .AddItem Baixa.tipo
    End With
    ComboBox1.ListIndex = 0
    TextBox1.SetFocus
End Sub

'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub ComboBox1_Change()
    Select Case ComboBox1.ListIndex
    Case 0
        TextBox0.Text = Format$(arDifuso.taxa, "0.00")
    Case 1
        TextBox0.Text = Format$(altaOut.taxa, "0.00")
    Case 2
        TextBox0.Text = Format$(altaIn.taxa, "0.00")
    Case 3
        TextBox0.Text = Format$(Baixa.taxa, "0.00")
    Case Else
        Exit Sub
    End Select
End Sub

```

```
End Select
CalculosAerador
End Sub

Private Sub TextBox0_Change()
    CalculosAerador
End Sub

Private Sub TextBox1_Change()
    CalculosAerador
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    CalculosAerador
End Sub

Private Sub TextBox3_Change()
    CalculosAerador
End Sub

Private Sub TextBox4_Change()
    CalculosAerador
End Sub

'Mudança na largura do tanque
Private Sub ScrollBar1_Change()
    CalculosAerador
End Sub

'Mudança na profundidade do tanque
Private Sub scrollbar2_Change()
    CalculosAerador
    Label6.Caption = Format$(ScrollBar2.Value / 10, "0.0")
End Sub

'Mudança no modelo de aerador
Private Sub SpinButton2_Change()
    CalculosAerador
End Sub

'Mudança na base de vazão
Private Sub CheckBox1_Click()
    If CheckBox1.Value Then
        CheckBox1.Caption = "Base diária"
        Labela.Caption = "m /dia"
        Labelb.Caption = "kg /dia"
        Labelc.Caption = "dias"
    Else
        CheckBox1.Caption = "Base horária"
        Labela.Caption = "m /h"
        Labelb.Caption = "kg /h"
        Labelc.Caption = "h"
    End If
    CalculosAerador
End Sub

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload AeradorForm
End Sub
```

Código utilizado na rotina:

```
'Definição de variável de tipo especial (aerador)
Option Base 1
Type aerador
    tipo As String
    taxa As Single
    modelos As Integer
    profundidade(3, 14) As Single
    potencia(14) As Single
End Type

'Definição dos tipos de aerador e suas características
Public arDifuso As aerador, altaIn As aerador, altaOut As aerador

Sub DefineAerador()

    With arDifuso
        .tipo = "Ar Difuso"
        .taxa = 2.3 * 0.55
        .modelos = 1
        .profundidade(1, 1) = 6
        .potencia(1) = 0.07
    End With
    With altaIn
        .tipo = "Alta rotação aspirado"
        .taxa = 0.7 * 0.55
        .modelos = 8
        .potencia(1) = 3
        .potencia(2) = 5
        .potencia(3) = 7.5
        .potencia(4) = 10
        .potencia(5) = 15
        .potencia(6) = 20
        .potencia(7) = 25
        .potencia(8) = 30
        .profundidade(1, 1) = 1.5
        .profundidade(1, 2) = 1.5
        .profundidade(1, 3) = 1.5
        .profundidade(1, 4) = 2
        .profundidade(1, 5) = 2
        .profundidade(1, 6) = 2.5
        .profundidade(1, 7) = 2.5
        .profundidade(1, 8) = 2.5
        .profundidade(2, 1) = 1.5
        .profundidade(2, 2) = 1.5
        .profundidade(2, 3) = 1.5
        .profundidade(2, 4) = 2
        .profundidade(2, 5) = 2
        .profundidade(2, 6) = 2.5
        .profundidade(2, 7) = 2.5
        .profundidade(2, 8) = 2.5
        .profundidade(3, 1) = 3
        .profundidade(3, 2) = 3
        .profundidade(3, 3) = 3
        .profundidade(3, 4) = 3
        .profundidade(3, 5) = 3
        .profundidade(3, 6) = 3
        .profundidade(3, 7) = 3
        .profundidade(3, 8) = 3
    End With
    With altaOut
        .tipo = "Alta rotação"
        .taxa = 1.2 * 0.55
    End With
End Sub
```

```
.modelos = 14
.potencia(1) = 1
.potencia(2) = 2
.potencia(3) = 3
.potencia(4) = 5
.potencia(5) = 7.5
.potencia(6) = 10
.potencia(7) = 15
.potencia(8) = 20
.potencia(9) = 25
.potencia(10) = 30
.potencia(11) = 40
.potencia(12) = 50
.potencia(13) = 60
.potencia(14) = 75
.profundidade(1, 1) = 0.3
.profundidade(1, 2) = 0.4
.profundidade(1, 3) = 0.6
.profundidade(1, 4) = 0.7
.profundidade(1, 5) = 0.8
.profundidade(1, 6) = 0.9
.profundidade(1, 7) = 1.1
.profundidade(1, 8) = 1.2
.profundidade(1, 9) = 1.3
.profundidade(1, 10) = 1.4
.profundidade(1, 11) = 1.5
.profundidade(1, 12) = 1.6
.profundidade(1, 13) = 1.7
.profundidade(1, 14) = 1.8
.profundidade(2, 1) = 1
.profundidade(2, 2) = 1.1
.profundidade(2, 3) = 1.3
.profundidade(2, 4) = 1.4
.profundidade(2, 5) = 1.5
.profundidade(2, 6) = 1.6
.profundidade(2, 7) = 1.8
.profundidade(2, 8) = 1.9
.profundidade(2, 9) = 2
.profundidade(2, 10) = 2.1
.profundidade(2, 11) = 2.2
.profundidade(2, 12) = 2.3
.profundidade(2, 13) = 2.4
.profundidade(2, 14) = 2.5
.profundidade(3, 1) = 2.4
.profundidade(3, 2) = 2.6
.profundidade(3, 3) = 2.8
.profundidade(3, 4) = 3.1
.profundidade(3, 5) = 3.4
.profundidade(3, 6) = 3.6
.profundidade(3, 7) = 3.8
.profundidade(3, 8) = 4.1
.profundidade(3, 9) = 4.3
.profundidade(3, 10) = 4.6
.profundidade(3, 11) = 4.8
.profundidade(3, 12) = 5.1
.profundidade(3, 13) = 5.3
.profundidade(3, 14) = 5.6
```

End With

With Baixa

```
.tipo = "Baixa rotação"
.taxa = 1.6 * 0.55
.modelos = 14
.potencia(1) = 5
.potencia(2) = 7.5
```

```
.potencia(3) = 10
.potencia(4) = 15
.potencia(5) = 20
.potencia(6) = 25
.potencia(7) = 30
.potencia(8) = 40
.potencia(9) = 50
.potencia(10) = 60
.potencia(11) = 75
.potencia(12) = 100
.potencia(13) = 125
.potencia(14) = 150
.profundidade(1, 1) = 1.5
.profundidade(1, 2) = 1.8
.profundidade(1, 3) = 1.8
.profundidade(1, 4) = 2.1
.profundidade(1, 5) = 2.1
.profundidade(1, 6) = 2.1
.profundidade(1, 7) = 2.1
.profundidade(1, 8) = 2.4
.profundidade(1, 9) = 2.4
.profundidade(1, 10) = 2.4
.profundidade(1, 11) = 3
.profundidade(1, 12) = 3
.profundidade(1, 13) = 3.6
.profundidade(1, 14) = 3.6
.profundidade(2, 1) = 1.8
.profundidade(2, 2) = 2.1
.profundidade(2, 3) = 2.1
.profundidade(2, 4) = 2.4
.profundidade(2, 5) = 2.4
.profundidade(2, 6) = 2.4
.profundidade(2, 7) = 2.4
.profundidade(2, 8) = 2.7
.profundidade(2, 9) = 2.7
.profundidade(2, 10) = 2.7
.profundidade(2, 11) = 3.3
.profundidade(2, 12) = 3.3
.profundidade(2, 13) = 4
.profundidade(2, 14) = 4
.profundidade(3, 1) = 2.4
.profundidade(3, 2) = 2.7
.profundidade(3, 3) = 2.7
.profundidade(3, 4) = 3
.profundidade(3, 5) = 3
.profundidade(3, 6) = 3
.profundidade(3, 7) = 3
.profundidade(3, 8) = 3.6
.profundidade(3, 9) = 3.6
.profundidade(3, 10) = 3.6
.profundidade(3, 11) = 4.3
.profundidade(3, 12) = 4.3
.profundidade(3, 13) = 4.9
.profundidade(3, 14) = 4.9
```

End With

End Sub

'Rotina de cálculo das saídas

Sub CalculosAerador()

With AeradorForm

If Val(.TextBox0.Value) = 0 Or Val(.TextBox1.Value) = 0 Or Val(.TextBox2.Value) = 0 Or
Val(.TextBox3.Value) = 0 Or Val(.TextBox4.Value) = 0 Then Exit Sub

```

Dim escolhaAerador As aerador, vazão As Single, O2 As Single, tempoDetenção As Single,
volume As Single, potencia As Single, i As Integer, aux As Integer, numeroAerador As Long
    .ScrollBar2.Enabled = True
    .ScrollBar2.Max = 80
    .ScrollBar2.Min = 3
    .Label13.Visible = True
Select Case .ComboBox1.ListIndex
    Case 0
        escolhaAerador = arDifuso
        .ScrollBar2.Enabled = False
        .ScrollBar2.Value = escolhaAerador.profundidade(1, 1) * 10
        .Label13.Visible = False
    Case 1
        escolhaAerador = altaOut
    Case 2
        escolhaAerador = altain
        .ScrollBar2.Max = escolhaAerador.profundidade(3, 1) * 10
        .ScrollBar2.Min = escolhaAerador.profundidade(1, 1) * 10
    Case 3
        escolhaAerador = Baixa
        .ScrollBar2.Min = escolhaAerador.profundidade(1, 1) * 10
    Case Else
        Exit Sub
End Select
For i = 1 To escolhaAerador.modelos
    If escolhaAerador.profundidade(1, i) > .ScrollBar2.Value / 10 Then Exit For
    aux = i
Next
.spinButton2.Max = aux
Select Case (.ScrollBar2.Value / 10)
    Case Is < escolhaAerador.profundidade(2, .SpinButton2.Value)
        .Label13.Caption = "Necessário uso de acessório anti-erosão em lagoas"
    Case escolhaAerador.profundidade(2, .SpinButton2.Value) To
escolhaAerador.profundidade(3, .SpinButton2.Value)
        .Label13.Caption = "Profundidade de operação normal"
    Case Is > escolhaAerador.profundidade(3, .SpinButton2.Value)
        .Label13.Caption = "Necessário uso de tubo de tiragem"
    Case Else
        Exit Sub
End Select
vazão = Val(.TextBox1.Value)
O2 = Val(.TextBox2.Value)
tempoDetenção = Val(.TextBox3.Value)
volume = vazão * tempoDetenção
potencia = O2 / (Val(.TextBox0.Value) * 24 ^ -CInt(.CheckBox1.Value)) / (Val(.TextBox4.Value) /
100)
    .ScrollBar1.Max = 2 * (10 * volume / .ScrollBar2.Value) ^ 0.5
    numeroAerador = -Int(-potencia / escolhaAerador.potencia(.SpinButton2.Value))
    .Label7.Caption = Format$(.ScrollBar1.Value / 2, "0.0")
    .Label8.Caption = Format$(20 * volume / .ScrollBar1.Value / .ScrollBar2.Value, "0.0")
    .Label9.Caption = Format$(volume, "0")
    .Label10.Caption = Format$(potencia, "0.0")
    .Label11.Caption = escolhaAerador.potencia(.SpinButton2.Value)
    .Label12.Caption = numeroAerador
End With
End Sub

```

E) REMOVEDORES E ADENSADORES

Código utilizado no formulário:

'Inicialização do formulário

```
Private Sub UserForm_Initialize()
    With ComboBox1
        .AddItem "Adensamento"
        .AddItem "Decantação primária"
        .AddItem "Decantação secundária"
        .ListIndex = 1
    End With
    TextBox1.SetFocus
End Sub

'Mudança de tipo de operação
Private Sub ComboBox1_Change()
    If Not CBool(ComboBox1.ListIndex) Then CheckBox1.Value = True
    CheckBox1.Enabled = CBool(ComboBox1.ListIndex)
    Select Case ComboBox1.ListIndex
        Case 0
            TextBox2.Text = 20
        Case 1
            TextBox2.Text = 30
        Case 2
            TextBox2.Text = 35
        Case Else
            Exit Sub
    End Select
    CalculosRemover
End Sub

'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub TextBox1_Change()
    SpinButton3.Value = 1
    CalculosRemover
End Sub

Private Sub TextBox2_Change()
    CalculosRemover
End Sub

'Mudança na quantidade de câmaras
Private Sub SpinButton3_Change()
    Label3.Caption = SpinButton3.Value
    CalculosRemover
End Sub

'Mudança na largura do tanque
Private Sub SpinButton2_Change()
    Label002.Caption = Format$(SpinButton2.Value / 2, "0.0")
    CalculosRemover
End Sub

'Mudança na geometria do tanque
Private Sub CheckBox1_Change()
    If CheckBox1.Value Then
        CheckBox1.Caption = "Tanque circular"
        Label57.Caption = "Diâmetro do tanque:"
    Else
        CheckBox1.Caption = "Tanque retangular"
        Label57.Caption = "Largura do tanque:"
    End If
    Label001.Visible = Not CheckBox1.Value
    Label002.Visible = Not CheckBox1.Value
    Label003.Visible = Not CheckBox1.Value
    SpinButton2.Visible = Not CheckBox1.Value
    Label55.Visible = Not CheckBox1.Value
    Label6.Visible = Not CheckBox1.Value
End Sub
```

```

Label62.Visible = Not CheckBox1.Value
CalculosRemover
End Sub

```

```

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload RemoverForm
End Sub

```

Código utilizado na rotina:

```

'Rotina de cálculo das saídas
Sub CalculosRemover()
    If Val(RemoverForm.TextBox1.Value) < 500 Or Val(RemoverForm.TextBox2.Value) = 0 Then
Exit Sub

Dim vazão As Single, Td As Single, Area As Single, diametro As Single, largura As Single,
comprimento As Single
    vazão = Val(RemoverForm.TextBox1.Value)
    Td = Val(RemoverForm.TextBox2.Value)
    Area = vazão / Td
    numero = RemoverForm.SpinButton3.Value
    If RemoverForm.CheckBox1.Value Then
        largura = -Int(-20 * (Area / numero / 3.14159) ^ 0.5) / 10
        comprimento = largura / 4 * 3.14159
        profundidade = 4
    Else
        If (Area / numero / 2) ^ 0.5 < 3 Then
            RemoverForm.CheckBox1.Value = True
            Exit Sub
        End If
        If 2 * (Area / numero / 2) ^ 0.5 < 60 Then RemoverForm.SpinButton2.Max = 2 * (Area / numero
/ 2) ^ 0.5
            largura = RemoverForm.SpinButton2.Value / 2
            comprimento = Area / numero / largura
            profundidade = 4
        End If
    End If
    With RemoverForm
        .Label4.Caption = Format$(Area, "0.00")
        .Label5.Caption = Format$(largura, "0.0")
        .Label6.Caption = Format$(comprimento, "0.0")
        .Label7.Caption = Format$(profundidade, "0.0")
        .Label8.Caption = Format$(largura * comprimento * numero, "0.00")
    End With
End Sub

```

F) PRENSAS DESAGUADORAS

Código utilizado no formulário:

```

'Inicialização do formulário
Private Sub UserForm_Initialize()
    With ComboBox1
        .AddItem primFresco.tipo
        .AddItem primDigerido.tipo
        .AddItem mistoFresco.tipo
        .AddItem mistoDigerido.tipo
        .AddItem aerEstendida.tipo
        .AddItem fisQuim.tipo
        .AddItem laticinio.tipo
        .AddItem "-----"
    End With

```

```
.AddItem abrandamento1.tipo
.AddItem abrandamento2.tipo
.AddItem gases1.tipo
.AddItem gases2.tipo
.AddItem "_____"
.AddItem polpaFibra.tipo
.AddItem polpaPedaço.tipo
.AddItem polpaPapel.tipo
.AddItem "_____"
.AddItem aguaPotavel.tipo
.AddItem abrandamento3.tipo
.AddItem tintura.tipo
End With
ComboBox1.ListIndex = 0
End Sub

'Recalcula toda vez que há alteração dos dados de entrada
Private Sub ComboBox1_Change()
    If ComboBox1.Value = "_____ Then ComboBox1.ListIndex = ComboBox1.ListIndex
+ 1
    CalculosPrensa
End Sub

Private Sub TextBox0_Change()
    CalculosPrensa
End Sub

Private Sub TextBox1_Change()
    CalculosPrensa
End Sub

'Mudança no tempo de operação
Private Sub SpinButton1_Change()
    Labelh.Caption = SpinButton1.Value
    CalculosPrensa
    If SpinButton1.Value = 24 Then MsgBox "Recomenda-se no máximo 23h de operação!", 0,
"Atenção!"
    End Sub

'Mudança na capacidade da prensa
Private Sub SpinButton4_Change()
    CalculosPrensa
End Sub

'Mudança na concentração de sólidos secos
Private Sub SpinButton3_Change()
    CalculosPrensa
End Sub

'Mudança na base de vazão
Private Sub CheckBox1_Click()
    If CheckBox1.Value Then
        CheckBox1.Caption = "Base diária"
        Label5.Caption = "m /dia"
    Else:
        CheckBox1.Caption = "Vazão Instantânea"
        Label5.Caption = "m /h"
    End If
    Label1.Visible = CheckBox1.Value
    Label2.Visible = CheckBox1.Value
    Label3.Visible = CheckBox1.Value
    Label4.Visible = CheckBox1.Value
    Label5.Visible = CheckBox1.Value
    Labelht.Visible = CheckBox1.Value
```

```

Labelh.Visible = CheckBox1.Value
Labelhh.Visible = CheckBox1.Value
SpinBox1.Visible = CheckBox1.Value
CalculosPrensa
End Sub

'Mudança no modelo de prensa
Private Sub SpinButton2_Change()
    If SpinButton2.Value Then Label2.Caption = "Série 3" Else Label2.Caption = "Série 2"
    CalculosPrensa
End Sub

'Botão OK fecha o formulário
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload Prensaform
End Sub

```

Código utilizado na rotina:

```

'Definição de variável de tipo especial (prensa e efluente)
Option Base 1
Type Prensa
    tipo As String
    largura(6) As Single
End Type

Type efluente
    tipo As String
    concentração(2, 2) As Single
    capacidadePrensa(2) As Single
End Type

'Definição dos tipos de prensa e suas características
Dim serie2 As Prensa, serie3 As Prensa
Public primFresco As efluente, primDigerido As efluente, mistoFresco As efluente, mistoDigerido
As efluente, aerEstendida As efluente, fisQuim As efluente, laticinio As efluente, abrandamento1 As efluente,
abrandamento2 As efluente, gases1 As efluente, gases2 As efluente, polpaFibra As efluente, polpaPedaço As
efluente, polpaPapel As efluente, aguaPotavel As efluente, abrandamento3 As efluente, tintura As efluente,
polimero As Single

Sub DefinePrensa()
    With serie2
        .tipo = "Série 2"
        .largura(1) = 0.75
        .largura(2) = 1
        .largura(3) = 1.25
        .largura(4) = 1.5
        .largura(5) = 1.75
        .largura(6) = 2
    End With
    With serie3
        .tipo = "Série 3"
        .largura(1) = 1
        .largura(2) = 1.25
        .largura(3) = 1.5
        .largura(4) = 1.75
        .largura(5) = 2
        .largura(6) = 2.25
    End With
End Sub

```

'Definição dos tipos de efluente e suas características
Sub DefineEfluente()

```
With primFresco
    .tipo = "Primário fresco"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.1
    .concentração(2, 1) = 0.2
    .concentração(2, 2) = 0.35
    .capacidadePrensa(1) = 250
    .capacidadePrensa(2) = 400
End With
With primDigerido
    .tipo = "Primário digerido"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.09
    .concentração(2, 1) = 0.2
    .concentração(2, 2) = 0.36
    .capacidadePrensa(1) = 250
    .capacidadePrensa(2) = 500
End With
With mistoFresco
    .tipo = "Mistura fresca"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.08
    .concentração(2, 1) = 0.18
    .concentração(2, 2) = 0.28
    .capacidadePrensa(1) = 130
    .capacidadePrensa(2) = 300
End With
With mistoDigerido
    .tipo = "Mistura digerida"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.07
    .concentração(2, 1) = 0.18
    .concentração(2, 2) = 0.28
    .capacidadePrensa(1) = 120
    .capacidadePrensa(2) = 350
End With
With aerEstendida
    .tipo = "Aeração estendida"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.035
    .concentração(2, 1) = 0.15
    .concentração(2, 2) = 0.25
    .capacidadePrensa(1) = 80
    .capacidadePrensa(2) = 150
End With
With fisQuim
    .tipo = "Processo físico-químico"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.08
    .concentração(2, 1) = 0.2
    .concentração(2, 2) = 0.27
    .capacidadePrensa(1) = 200
    .capacidadePrensa(2) = 300
End With
With laticinio
    .tipo = "Aeração estendida em laticínios"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.035
    .concentração(2, 1) = 0.11
    .concentração(2, 2) = 0.16
```

```
.capacidadePrensa(1) = 50
.capacidadePrensa(2) = 90
End With
With abrandamento1
    .tipo = "Abrandamento de água (Fe<1%)"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.3
    .concentração(2, 1) = 0.55
    .concentração(2, 2) = 0.7
    .capacidadePrensa(1) = 500
    .capacidadePrensa(2) = 1000
End With
With abrandamento2
    .tipo = "Abrandamento de água (1%<Fe<5%)"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.2
    .concentração(2, 1) = 0.45
    .concentração(2, 2) = 0.65
    .capacidadePrensa(1) = 300
    .capacidadePrensa(2) = 700
End With
With gases1
    .tipo = "Lavagem de gases de incineração"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.25
    .concentração(2, 1) = 0.4
    .concentração(2, 2) = 0.5
    .capacidadePrensa(1) = 800
    .capacidadePrensa(2) = 1000
End With
With gases2
    .tipo = "Lavagem de gases de autoforno"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.25
    .concentração(2, 1) = 0.38
    .concentração(2, 2) = 0.55
    .capacidadePrensa(1) = 400
    .capacidadePrensa(2) = 700
End With
With polpaFibra
    .tipo = "Polpa com fibras e serragem"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.07
    .concentração(2, 1) = 0.25
    .concentração(2, 2) = 0.36
    .capacidadePrensa(1) = 200
    .capacidadePrensa(2) = 400
End With
With polpaPedaço
    .tipo = "Polpa com pedaços e serragem"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.15
    .concentração(2, 1) = 0.35
    .concentração(2, 2) = 0.36
    .capacidadePrensa(1) = 600
    .capacidadePrensa(2) = 1000
End With
With polpaPapel
    .tipo = "Flocação em papeleiras"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.04
    .concentração(2, 1) = 0.22
    .concentração(2, 2) = 0.3
    .capacidadePrensa(1) = 100
```

```

    .capacidadePrensa(2) = 350
End With
With aguaPotavel
    .tipo = "Floculação em água potável"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.06
    .concentração(2, 1) = 0.16
    .concentração(2, 2) = 0.23
    .capacidadePrensa(1) = 80
    .capacidadePrensa(2) = 150
End With
With abrandamento3
    .tipo = "Abrandamento parcial de água"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.08
    .concentração(2, 1) = 0.25
    .concentração(2, 2) = 0.33
    .capacidadePrensa(1) = 150
    .capacidadePrensa(2) = 200
End With
With tintura
    .tipo = "Floculação em tinturarias"
    .concentração(1, 1) = 0.015
    .concentração(1, 2) = 0.1
    .concentração(2, 1) = 0.25
    .concentração(2, 2) = 0.3
    .capacidadePrensa(1) = 150
    .capacidadePrensa(2) = 250
End With
polimero = 5
End Sub

'Rotina de cálculo das saídas
Sub CalculosPrensa()
    If Val(Prensaform.TextBox1.Value) = 0 Then Exit Sub
    If Val(Prensaform.TextBox0.Value) = 0 Then Exit Sub

    Dim conc1 As Single, conc2 As Single, capacidade As Single, carga As Single, larguraTela As
    Single, i As Integer, aux As Single, numPrensa As Single, tamanhoPrensa As Single, escolhaPrensa As Prensa,
    escolhaEfluente As efluente

    Select Case Prensaform.ComboBox1.ListIndex
        Case 0
            escolhaEfluente = primFresco
        Case 1
            escolhaEfluente = primDigerido
        Case 2
            escolhaEfluente = mistoFresco
        Case 3
            escolhaEfluente = mistoDigerido
        Case 4
            escolhaEfluente = aerEstendida
        Case 5
            escolhaEfluente = fisQuim
        Case 6
            escolhaEfluente = laticinio
        Case 8
            escolhaEfluente = abrandamento1
        Case 9
            escolhaEfluente = abrandamento2
        Case 10
            escolhaEfluente = gases1
        Case 11
            escolhaEfluente = gases2
    End Select
End Sub

```

```

Case 13
    escolhaEfluente = polpaFibra
Case 14
    escolhaEfluente = polpaPedaço
Case 15
    escolhaEfluente = polpaPapel
Case 17
    escolhaEfluente = aguaPotavel
Case 18
    escolhaEfluente = abrandamento3
Case 19
    escolhaEfluente = tintura
Case Else
    Exit Sub
End Select
Prensaform.SpinButton3.Max = CInt((escolhaEfluente.concentração(1, 2) -
escolhaEfluente.concentração(1, 1)) / 0.005)
Prensaform.SpinButton4.Max = CInt((escolhaEfluente.capacidadePrensa(2) -
escolhaEfluente.capacidadePrensa(1)) / 10)
    conc1 = escolhaEfluente.concentração(1, 1) + Prensaform.SpinButton3.Value * 0.005
    conc2 = (escolhaEfluente.concentração(2, 1) + escolhaEfluente.concentração(2, 2)) / 2
    Prensaform.Label6.Caption = Format$(conc1 * 100, "0.0")
    capacidade = escolhaEfluente.capacidadePrensa(1) + Prensaform.SpinButton4.Value * 10
    Prensaform.Label7.Caption = capacidade
If Prensaform.CheckBox1.Value Then
    carga = Val(Prensaform.TextBox1.Value) * Val(Prensaform.TextBox0.Value) * conc1 /
Prensaform.SpinButton1.Value
Else
    carga = Val(Prensaform.TextBox1.Value) * Val(Prensaform.TextBox0.Value) * conc1
End If
Prensaform.Label8.Caption = Format$(carga, "0.0")
larguraTela = carga / capacidade
Prensaform.Label9.Caption = Format$(larguraTela, "0.00")
If Prensaform.SpinButton2.Value Then escolhaPrensa = serie3 Else escolhaPrensa = serie2
numPrensa = -Int(-larguraTela / (escolhaPrensa.largura(1) - 0.15))
tamanhoPrensa = escolhaPrensa.largura(1)
For i = 1 To 5
    aux = larguraTela / (escolhaPrensa.largura(i) - 0.15) - Int(larguraTela /
(escolhaPrensa.largura(i) - 0.15))
    If larguraTela / (escolhaPrensa.largura(i + 1) - 0.15) - Int(larguraTela /
(escolhaPrensa.largura(i + 1) - 0.15)) > aux Then
        numPrensa = -Int(-larguraTela / (escolhaPrensa.largura(i + 1) - 0.15))
        tamanhoPrensa = escolhaPrensa.largura(i + 1)
    End If
Next
Prensaform.Label10.Caption = numPrensa
Prensaform.Label11.Caption = tamanhoPrensa * 1000
Prensaform.Label12.Caption = Format$(numPrensa * (tamanhoPrensa - 0.15) * capacidade,
"0.0")
Prensaform.Label13.Caption = Format$(carga / 1000 * polimero, "0.0")
Prensaform.Label14.Caption = Format$(conc2 * 100, "0.0")
End Sub

```