

Curso de Tratamento de Águas Residuárias (*)

(continuação)

PROF. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

CAPÍTULO 3

MÉTODOS GERAIS DE TRATAMENTO. CLASSIFICAÇÃO

3.01 — Razões para o tratamento das águas residuárias

O tratamento dos esgostos é feito com o objetivo de se evitar parcial ou completamente os inconvenientes já apontados.

A necessidade do tratamento das águas servidas tem sido uma conseqüência da civilização e do progresso que a caracteriza: O aumento da densidade demográfica e a expansão industrial obrigam a certas medidas sanitárias, entre as quais, o controle da poluição.

As razões que justificam o tratamento das águas residuárias podem ser resumidas nos quatro pontos seguintes:

Razões higiênicas: Saúde Pública: Para evitar a contaminação direta (banhistas, desportistas, populações etc.), indireta (verduras, leite etc.) e sobretudo os efeitos, desastrosos e indesejáveis sobre os abatecimentos de água à jusante.

Razões econômicas: Relacionadas ao valor das terras e demais propriedades nas zonas de jusante (depreciadas pela poluição), indústrias da pesca e da caça, efeitos sobre as estruturas fixas e flutuantes, indústria do leite etc.

Razões estéticas de conforto: Para evitar: Mau aspecto, mau cheiro, despreendimento de gases, materiais suspeitos etc. (Os cursos d'água muito poluídos causam a descoloração de pinturas, alteração de metais, irritações nos olhos etc.).

Razões legais: Relacionadas aos direitos de proprietários marginais prejudicados pela situação com a poluição crescente das águas. Direitos das populações de jazante em contraposição às infrações cometidas pelos poluidores.

3.02 — Fases e processos de tratamento

O tratamento das águas servidas pode incluir várias técnicas e pode ser feito de maneira a garantir um grau de tratamento compatível com as condições locais.

As diversas fases ou graus do tratamento convencional costumam ser classificados:

I — **Tratamentos preliminares:** Destinam-se à preparação das águas de esgoto para uma disposição ou tratamento subsequente. As unidades preliminares podem compreender:

- a) Grades ou desintegradores.
- b) Caixas de areia ou desarenadores.
- c) Tanques de remoção de óleos e graxas (skimming tanks).
- d) Aeração preliminar.

II — **Tratamentos primários:** Além dos processos preliminares poderão incluir:

- a) Decantação simples (primária).
- b) Precipitação química e decantação.
- c) Digestão dos lodos.
- d) Secagem, disposição sobre o terreno, incineração ou afastamento dos lodos resultantes.
- e) Desinfecção.
- f) Filtros grosseiros.

(*) Nos números anteriores publicamos os seguintes capítulos:

I — Generalidades, Composição, Concentração das águas residuárias, variações de vazão.
II — Conseqüências do lançamento das águas residuárias nas águas interiores e litorâneas.

III — Tratamentos secundários: Em adição aos tratamentos precedentes deverão incluir um processo biológico adequado e uma decantação final (secundária).

De um modo geral, o tratamento de esgotos é dispendioso e deverá ser limitado às necessidades reais. Cada caso deve ser estudado cuidadosamente pelo engenheiro sanitarista com o escopo da solução mais adequada e econômica.

Em alguns casos bastam os tratamentos preliminares, como por exemplo: Lançamento ao mar em condições favoráveis, lançamento em rios de grande volume quando se deseja salvaguardar o aspecto estético etc.

Muitas vezes os tratamentos primários são necessários e suficientes, produzindo efluentes compatíveis com as condições das águas receptoras.

Outras vezes é indispensável a fase secundária: Neste caso costuma-se qualificar o tratamento como "completo" ou tratamento em ciclo completo.

As condições locais determinam sempre o grau de tratamento a ser adotado. Os resultados conhecidos através da experiência dão indicações sobre as eficiências que podem ser esperadas para os diversos processos de depuração.

Os tratamentos biológicos (de oxidação) compreendem:

a) Filtração biológica	{	De baixa capacidade (filtros clássicos)	
		De alta capacidade	{
			filtros comuns bio-filtros aero-filtros acelo-filtros etc.
b) Lodos ativados	{	Com ar difuso	{
			tipo convencional com agitação mecânica
		Com aeração superficial (Sistemas mecânicos)	{
			Kessener Simplex Sheffield etc.

IV — Tratamentos terciários

Destinam-se a completar os processos anteriores sempre que as condições locais exigirem eventualmente um grau mais elevado de depuração:

- Filtros de areia.
- Lodos ativados (em seqüência à filtração biológica)
- Lagoas de estabilização (ou de oxidação).
- Processos de oxidação total.

V — Desinfecção

Quando necessária faz-se a cloração das águas residuárias ou dos efluentes das estações de tratamento.

3.03 — Eficiências das diversas fases de tratamento

Os resultados comumente obtidos nas diversas fases de tratamento levam às seguintes reduções:

REDUÇÕES OBTIDAS NAS DIVERSAS FASES DE TRATAMENTO

Processo	B.O.D.	Sólidos em Suspensão	Bactérias	Coliformes
1 — Grades finas	5-10%	5-20%	10-20%	
2 — Cloração de esg. bruto ou decantado	15-30	...	90-95	
3 — Sedimentação simples ...	25-45	40-70	25-75	40-60%
4 — Precipitação química	45-85	65-90	40-80	60-90
5 — Filtração biológica (incl. decantação)	75-90	70-90	90-95	80-90
6 — Lodos ativados (incl. decantação)	80-97	85-95	90-98	90-96
7 — Filtros intermitentes de areia	85-95	85-95	95-98	85-95
8 — Cloração de esgotos tratados biologicamente	98-99	

3.04 — Custo das instalações de tratamento

Para o engenheiro sanitarista são de grande utilidade índices básicos, de custo, que permitem preparar estimativas preliminares do custo de instalações de tratamento.

Dados norteamericanos anteriores a 1.940 e compilados por Schroeffer atualizados para o ano de 1.960 de acôrdo com o índice de preços do Engineering News Record (1960/1939 = 827/236 = 3,5) correspondem aos valores seguintes (em dólares per capita) *

Processo de tratamento	Custo inicial (Constr. e equip.)	Custo anual de operação	Despesas totais anuais, inclus. juros e amort.
Grades e caixa de areia	\$ 0,17 a \$ 0,28
Trat. primário	\$ 6,30 a \$ 9,10	\$0,42 a \$0,63	\$0,80 a \$1,20
Precip. química	\$ 8,40 a \$14,00	\$0,52 a \$0,98	\$1,02 a \$1,82
Filt. biol. baixa cap. ..	\$29,40 a \$33,60	\$0,40 a \$0,84	\$2,30 a \$2,83
Filt. biol. alta cap	\$16,40 a \$18,60	\$0,63 a \$0,88	\$1,61 a \$2,00
Lodos ativ. (ar dif.) ..	\$19,20 a \$22,50	\$1,72 a \$3,08	\$2,87 a \$4,40

* Valores mais baixos para as instalações de maior capacidade.

Os custos por unidade de capacidade variam com o processo e grau de tratamento e se reduzem à medida que cresce o tamanho das instalações. Outros fatores de grande influência nos valores são a concentração das águas residuárias e as condições do solo para as estruturas.

As estimativas de custo podem basear-se na população servida (custo per capita) ou no volume de águas residuárias (custo por m³/seg., milhão de litros/dia ou milhão de galões/dia).

C.J. Velz em trabalho publicado no Engineering News Record, Vol. 141, N.º 16.84 (1954) propôs a seguinte fórmula para ajustar o custo de uma instalação por unidade de volume a tratar:

$$C_a = C_b \times \% \times s \times i$$

C_a = Custo ajustado, por milhão de galões/dia ou por milhão de litros a tratar por 24 horas.

C_b = Custo básico médio.

$\%$ = porcentagem de remoção de BOD.

s = fator de correção devido ao tamanho da instalação.

i = índice dos custos de construção (variável com o tempo).

Custos básicos atuais (1.962), de estações de tratamento que recebem efluentes de sistemas de esgotos do tipo separador são:

Custos por milhão de galões/dia (m.g.d.):

	Brasil	Estados Unidos
Tratam. primário	US\$ 25 000 a \$ 75 000	US\$ 50 000 a \$100 000
Tratam. completo	US\$100 000 a \$200 000	US\$150 000 a \$300 000

As estações de tratamento que recebem efluentes de sistemas unitários podem custar de 30 a 50% mais.

Para as estações depuradoras de São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília o custo dos equipamentos foi de 20 a 40% do custo total.

O custo de operação em instalações norteamericanas corresponde em média aos valores seguintes:

Tratamento primário	US\$ 12 a \$ 20. por m.g.d.
Tratamento completo	US\$ 24 a \$ 40. por m.g.d.

CAPITULO 4

GRADES, DESINTEGRADORES E TRITURADORES

4.01 — Grades de barras. Aplicações

São dispositivos constituídos por barras metálicas paralelas e igualmente espaçadas.

Destinam-se a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes estranhos aos esgotos e constituem a primeira unidade de uma estação de tratamento.

Os materiais comumente retidos incluem papéis, estopa, trapos, detritos vegetais, pedaços de madeira, rolhas, latas, materiais plásticos, escovas etc.

São utilizadas para proteger tubulações, válvulas, registros, bombas, equipamentos de tratamento etc.

Nas estações de tratamento asseguram melhor aspecto para os tanques e reduzem o volume de espuma.

Nos casos em que as águas residuárias são afastadas por simples diluição as grades resguardam o aspecto estético.

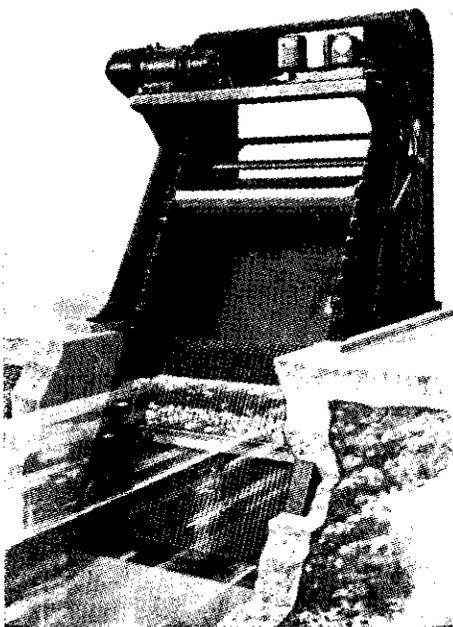


FIG. 4.01 — Grade de barras mecanizada
(Chain Belt Co.)

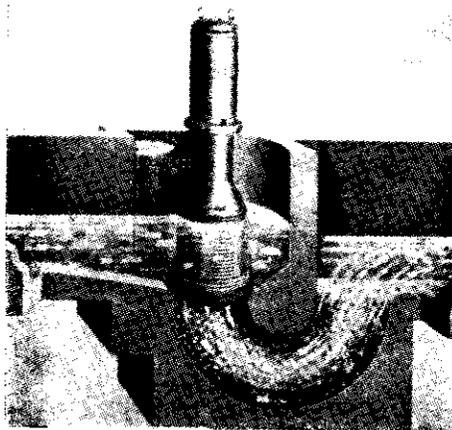


FIG. 4.02 — Desintegrador ("Comminutor")
(Chicago Pump Co.).

4.02 — Aberturas ou espaçamentos das barras

O espaçamento útil das barras depende da finalidade que se tem em vista:

Grandes grosseiras: 4,0 a 10,0 cm (acima de 1 1/2")

Grades comuns: 2,0 a 4,0 cm (3/4 a 1 1/2")

Grades finas: 1,0 a 2,0 cm (3/8 a 3/4")

As grades grosseiras são instaladas a montante de bombas de grande capacidade, turbinas etc. e às vezes precedem grades mais finas

As grades de 2,0 a 4,0 cm de abertura e particularmente as de 2,5 cm são as mais comumente empregadas nas estações de tratamento de águas residuárias.

As grades finas freqüentemente apresentam problemas de limpeza e geralmente são mecanizadas.

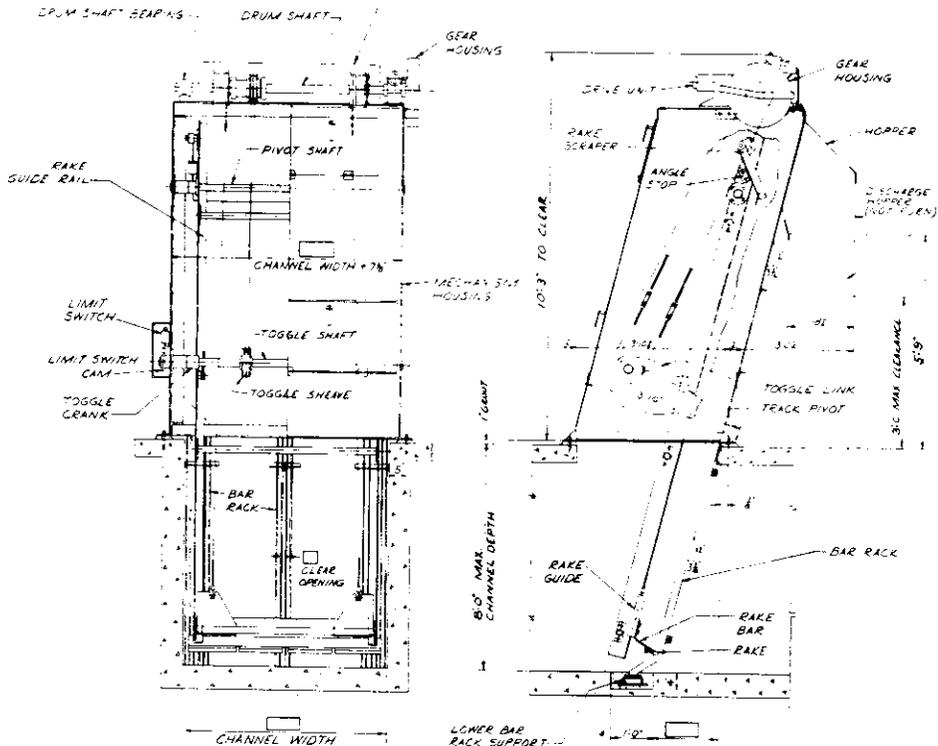


FIG. 4.03 — Detalhes de uma grade de barras mecanizada (Cortesia da Dorr-Oliver).

4.03 — Tipos de grades

De acordo com o sistema de limpeza as grades podem ser classificadas em duas categorias:

- a) Grades simples, de limpeza manual;
- b) Grades mecanizadas, de limpeza mecânica.

As grades singelas, de limpeza manual, são empregadas em instalações pequenas e, com aberturas relativamente grandes são instaladas à montante de grades comuns mecanizadas, bombas de grande capacidade, turbinas etc. Nestes casos não são esperados grandes volumes de detritos retidos.

As grades mecanizadas exigem cuidadosa manutenção e por isso somente são adotadas nas instalações cujas características justificam o seu emprego.

4.04 — Dimensões das barras

Geralmente as barras são de secção retangular de 5 a 15 mm de espessura por 30 a 60 mm.

São usuais as dimensões:

Grades grosseiras: $3/8 \times 2''$
 $3/8 \times 2 \ 1/2''$
 $1/2 \times 1 \ 1/2''$
 $1/2 \times 2''$

Grades comuns: $5/16 \times 2''$
 $3/8 \times 1 \ 1/2''$
 $3/8 \times 2''$

Instalações pequenas: $1/4 \times 1 \ 1/2''$
 $5/16 \times 1 \ 1/2''$
 $3/8 \times 1 \ 1/2''$

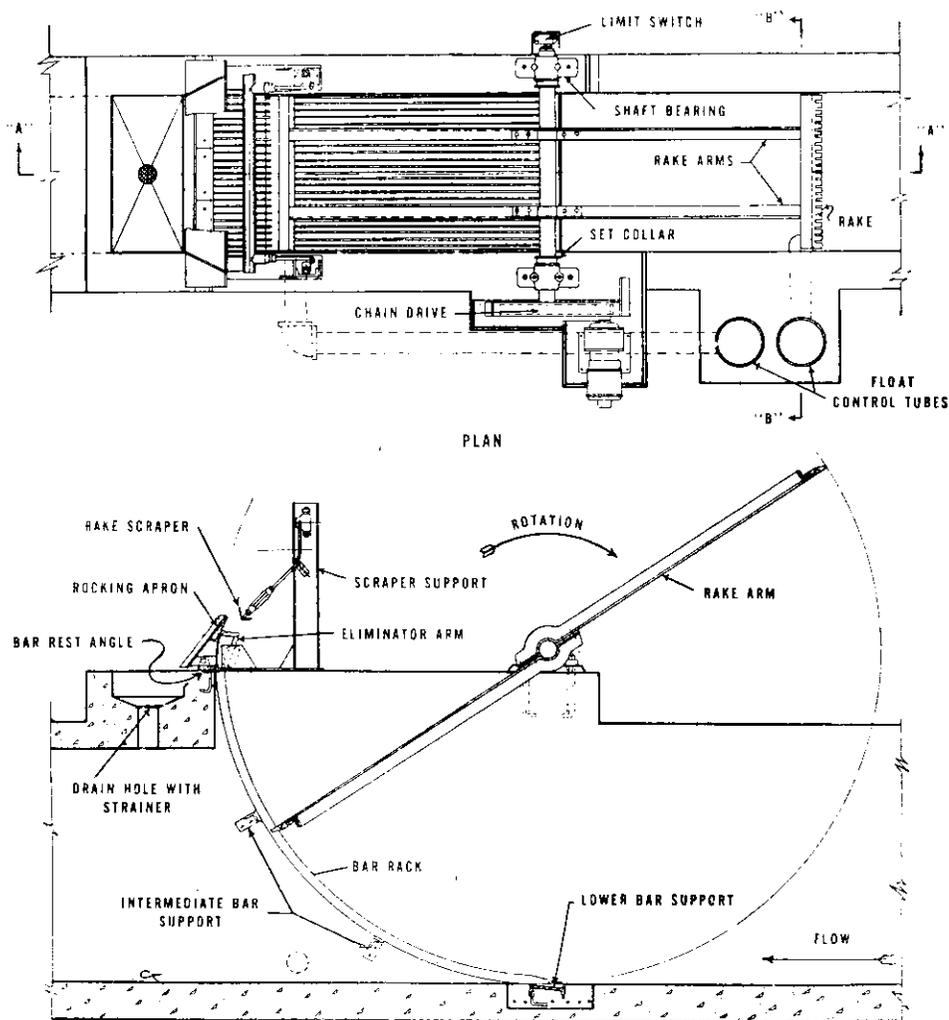


FIG. 4.04 — Grade de barras de perfil circular com limpador rotativo (Cortesía da Dorr Oliver).

4.05 — Inclinação das barras

Nas instalações de limpeza manual as grades de barras geralmente são assentadas fazendo um ângulo de 30 a 45° com a horizontal

Nas instalações mecanizadas esse ângulo é estabelecido em função das condições locais e de acordo com o tipo de equipamento adotado. Geralmente as grades de limpeza mecânica formam um ângulo de 45 a 90° com a horizontal (mais comumente 60°).

4.06 — Dimensionamento

As dimensões principais de uma grade são estabelecidas para que se tenha uma secção de escoamento com velocidade adequada.

Velocidades através das barras muito baixas podem concorrer para o aumento exagerado e indesejável de material retido e também para a deposição de areia no canal de acesso e, em contraposição, velocidades muito grandes provocam o arrastamento de materiais que deveriam ficar retidos.

Velocidades recomendadas (através das barras limpas):

Mínima: 0,40 m/seg.

Máxima: 0,75 "

Esses valores devem ser verificados para as vazões mínimas, média e máxima.

Estabelecida a velocidade das águas através das barras pode-se calcular a área útil (ou área livre: $A_u = Q/v$).

Conhecendo-se a abertura entre as barras (a), bem como a espessura das barras (t) pode-se calcular a área total ou secção de escoamento à montante da grade (S):

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

ou ainda:
$$S = \frac{A_u}{\frac{a}{a + t}}$$

Designando-se o denominador $\frac{a}{a + t}$ por E ("Eficiência" da grade):

$$S = \frac{A_u}{E}$$

Espessuras das barras (t)	"Eficiências": Valores de $\frac{a}{a + t}$		
	a = 3/4	a = 1"	a = 1 1/4"
1/4"	0,750	0,800	0,834
5/16"	0,730	0,768	0,803
3/8"	0,677	0,728	0,770
7/16"	0,632	0,696	0,741
1/2"	0,600	0,667	0,715

A profundidade da lâmina de água à montante da grade é determinada pelo nível d'água da unidade subsequente e pela perda de carga na grade.

Conhecida essa profundidade resulta a largura total da grade (largura do canal).

Nas instalações mecanizadas a largura está condicionada ao tipo padronizado de equipamento e geralmente está compreendida entre 0,60 e 3,60 m, podendo-se considerar o emprego de grades múltiplas.

As grades mecânicas são fabricadas com alturas desde 3,00 m até 12,00 m (alturas totais).

4.07 — Perda de carga na grade

Diversas fórmulas foram propostas para o cálculo da perda de carga decorrente da passagem da água através de grades de barras, entre as quais a de Kirschmer, Fellenius, Escande, Spangler etc.

Considerando-se que essas expressões correspondem à resistência oferecida pelas barras limpas e que nas instalações de tratamento de águas residuárias a acumulação de materiais altera rápida e consideravelmente essa condição, pode-se concluir que a precisão das fórmulas mencionadas tem pouco significado prático

Formúla de Kirschmer:

$$h_f = k \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^{4/3} \cdot \text{sen } b \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f = perda de carga, m

k = factor que depende da secção das barras:

secção retangular : $k = 2,42$

secção circular : $k = 1,79$

a = abertura ou espaçamento útil das barras

t = espessura da barra ou a maior dimensão normal à direção do escoamento

b = ângulo que a grade faz com a horizontal

v = velocidade à montante da grade, m/seg.

A fórmula conhecida como a de "Metcalf & Eddy", caracteriza-se pela sua simplicidade:

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

h_f = perda de carga, m

V = velocidade através das barras (0,50 a 0,75 m/s)

v = velocidade a montante da grade:

$v = V \times E$ (E = Eficiência)

g = aceleração da gravidade = 9,8 m/s²

Deve-se também calcular a perda de carga para o caso em que a grade fica "50% suja, isto é, para um valor V' igual a duas vezes V .

4.08 — Quantidade de material retido

A quantidade de material gradeado é influenciada pelas condições locais, hábitos da população, época do ano etc. e depende muito da abertura especificada.

Nos Estados Unidos a quantidade de material retido em grades com aberturas da ordem de 2,5 cm, geralmente está compreendida entre 0,015 e 0,030 litros por metro cúbico de águas residuárias (2 a 4 pés cúbicos por milhão de galões).

No Brasil medições feitas em bairros da cidade de São Paulo conduziram a resultados variando de 0,010 a 0,025 litro/m³.

Dados apresentados por Schroepfer mostram a variação da quantidade de material retido em relação às aberturas das grades:

Aberturas, cm	Quantidades, litro/m ³
2,0	0,038
2,5	0,023
3,5	0,012
4,0	0,009

4.09 — Natureza do material retido

O material gradeado constitui-se principalmente de papel, trapos e detritos de cozinha, apresenta 70 a 90% de água e pesa de 0,70 a 1,00kg. por litro.

De observações feitas em São Paulo, foram obtidos os seguintes dados:

Composição:

Papéis	10 a 70%
Estópa	10 a 20%
Trapos e panos	5 a 15%
Para essas três parcelas:	40 a 80% (média: 60%)
Materiais diversos	20 a 60% (média: 40%)
Perda de umidade:	85% (matéria volátil)

4.10 — Remoção e destino do material gradeado

Nas pequenas instalações a limpeza é feita por rastelos manuais e o material retirado é enterrado ou incinerado.

Em instalações grandes os detritos são removidos mecanicamente, incinerados, digeridos ou triturados e devolvidos aos esgotos.

Para evitar o problema do mau cheiro o material quando enterrado deve ser recoberto com uma camada de terra de 0,30 a 0,50 m.

A incineração é feita após secagem parcial a uma temperatura acima de 700.°C. Os incineradores exigem o emprêgo de um combustível auxiliar (gás, óleo ou carvão).

A digestão de material gradeado nos próprios digestores das estações de tratamento não tem sido satisfatória.

O material retirado das grades pode ainda ser triturado e retornado aos esgotos. Esta solução apresenta dificuldades de manutenção do equipamento, formação de escumas prejudiciais nos digestores e problemas relacionados com a estética das instalações.

4.11 — Detalhes dos canais das grades

As instalações mecanizadas devem ser projetadas com duas unidades ou pelo menos com um "by-pass" provido de grade simples.

A largura do canal das grades, bem maior do que o diâmetro ou a largura do emissário, deve igualar a largura das próprias grades, evitando-se espaços mortos.

O canal de acesso deve ser suficientemente longo para que sejam evitados turbilhões junto às grades.

O fundo do canal geralmente é mais baixo (10 a 15 cm) do que a soleira do emissário.

A área til para determinação da velocidade de escoamento através das barras é considerada em projeção vertical.

As grades são instaladas em guias laterais de perfis "U", podendo assentar no fundo sobre um perfil "L".

Nas instalações de limpeza manual geralmente se dispõe o tampo das barras sobre uma pequena plataforma de concreto, com pequena declividade, para facilitar a operação de limpeza.

A perda de carga nas grades manuais geralmente não ultrapassa 0,15 m. As grades mecanizadas são acionadas automaticamente sempre que a perda de carga atingir um valor preestabelecido.

As grades mecânicas podem ser instaladas ao ar livre ou em pavilhões especialmente projetados (regiões frias).

4.12 — Trituradores

Os trituradores são utilizados em conjugação com grades mecânicas, e normalmente têm capacidade para moer de 20 a 40 kg de material molhado por hora e por cavalo vapor.

Os motores necessários geralmente são de 25 a 50 HP.

A presença de certos detritos nos materiais gradeados obriga a intervenção freqüente de operadores.

4.13 — Desintegradores ou "Comminutors"

O problema do destino a ser dado ao material retido nas grades mecanizadas, a necessidade de retirar esse material e muitas vezes retorná-lo aos esgotos, após trituração, levou à concepção e adoção dos equipamentos submersos de desintegração.

Esses aparelhos conhecidos pelas denominações comerciais tais como "Comminutors" "Griductors" etc. fazem simultaneamente as duas operações de retenção e desintegração no próprio canal, dando passagem às águas residuárias.

Constituem ao mesmo tempo, por assim dizer, as grades e os trituradores numa única unidade.

Os desintegradores são constituídos por uma peça rotativa com aberturas horizontais (fendas) de 1/4 ou 3/8" e são equipados internamente com cortadores especiais.

Para proteção das partes mecânicas recomenda-se a instalação dos desintegradores a jusante das caixas de areia.

A potência dos motores elétricos varia com a capacidade dos aparelhos e geralmente está compreendida entre 0,5 e 2,5 HP.

A perda de carga é determinada de acordo com as características do equipamento e normalmente varia de 0,05 a 0,25 m

A seguinte comparação pode ser feita dos desintegradores com as grades conjugadas com trituradores:

Vantagens das grades com trituradores: equipamentos mais robustos com peças vitais fora das águas, de fácil inspeção;

Vantagens dos desintegradores ("Comminutors"): Exigem um único motor elétrico, de menor potência São equipamentos mais simples e ocupam menor espaço

Os desintegradores exigem reparos periódicos das peças de corte e apresentam para as estações de tratamento os mesmos problemas decorrentes do aumento da quantidade de espuma.

(continua no próximo número).