

FLOCUÇÃO



Profa. MARGARITA M^a. DUEÑAS OROZCO
margarita.unir@gmail.com



INTRODUÇÃO



Processos de tratamento de água

CLARIFICAÇÃO



Remoção de sólidos

DESINFECÇÃO



Eliminação de
microorganismos

FLUORETAÇÃO



Prevenção de cárie

**CONTROLE DE
CORROSÃO**



Aspectos
econômicos

INTRODUÇÃO



• TRATAMENTO CONVENCIONAL

Clarificação

+

Filtração

+

Desinfecção

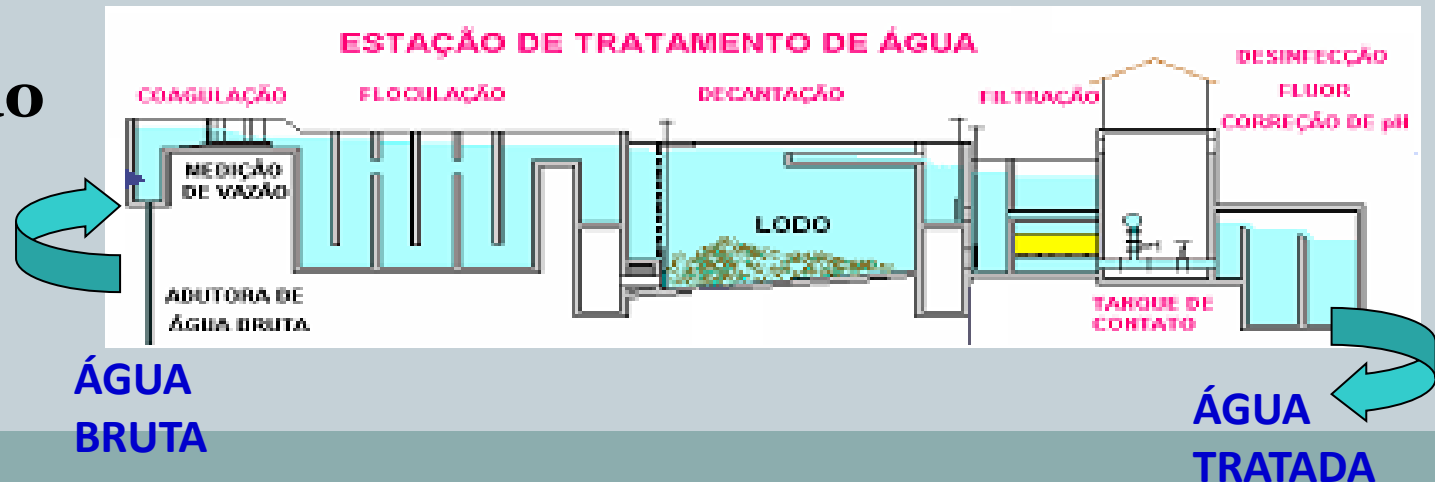
COAGULAÇÃO

+

FLOCULAÇÃO

+

DECANTAÇÃO/FLOTAÇÃO



FLOCULAÇÃO



- Operação unitária de **clarificação**
- Conjunto de **fenómenos físicos** que visam reduzir o número de partículas suspensas e coloidais na massa líquida.
- Fornecem-se, condições (tempo e agitação) para que ocorram choques entre partículas anteriormente desestabilizadas (coagulante), objetivando a formação de flocos.

FLOCULAÇÃO



- Flocos posteriormente removidos por sedimentação/flotação.



FLOCULAÇÃO

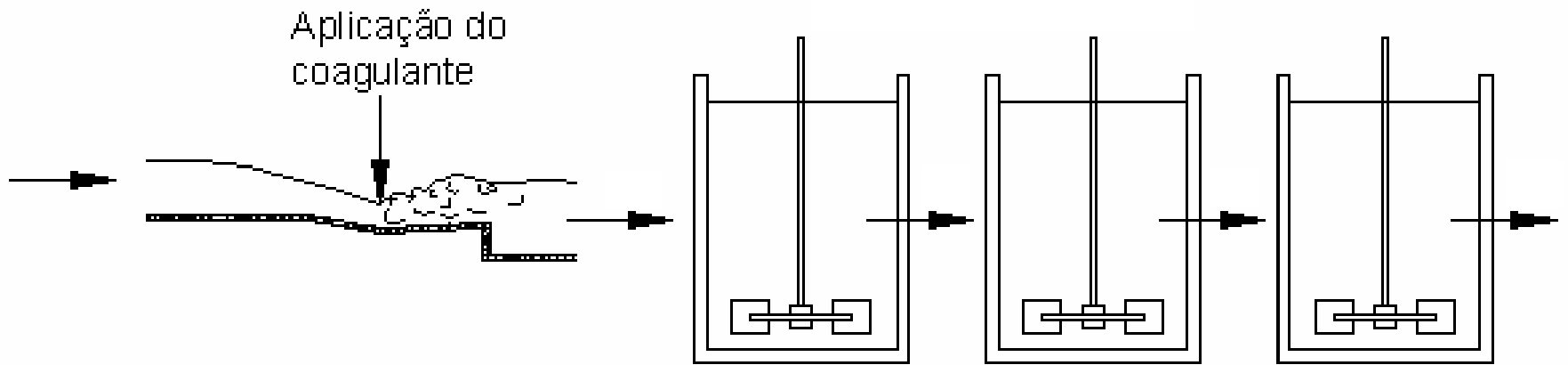


1. Criação de microflocos por desestabilização da solução coloidal, ou coagulação propriamente dita;
2. Criação de macroflocos , a partir dos microflocos, principalmente através de agitação, aumentando as possibilidades de encontro dos floculantes que estabelecem os pontos de contato entre as partículas
3. Decantação dos floculados

FLOCULAÇÃO

COAGULAÇÃO

FLOCULAÇÃO



As partículas desestabilizadas se chocam, formando os denominados **flocos**.



FLOCULAÇÃO



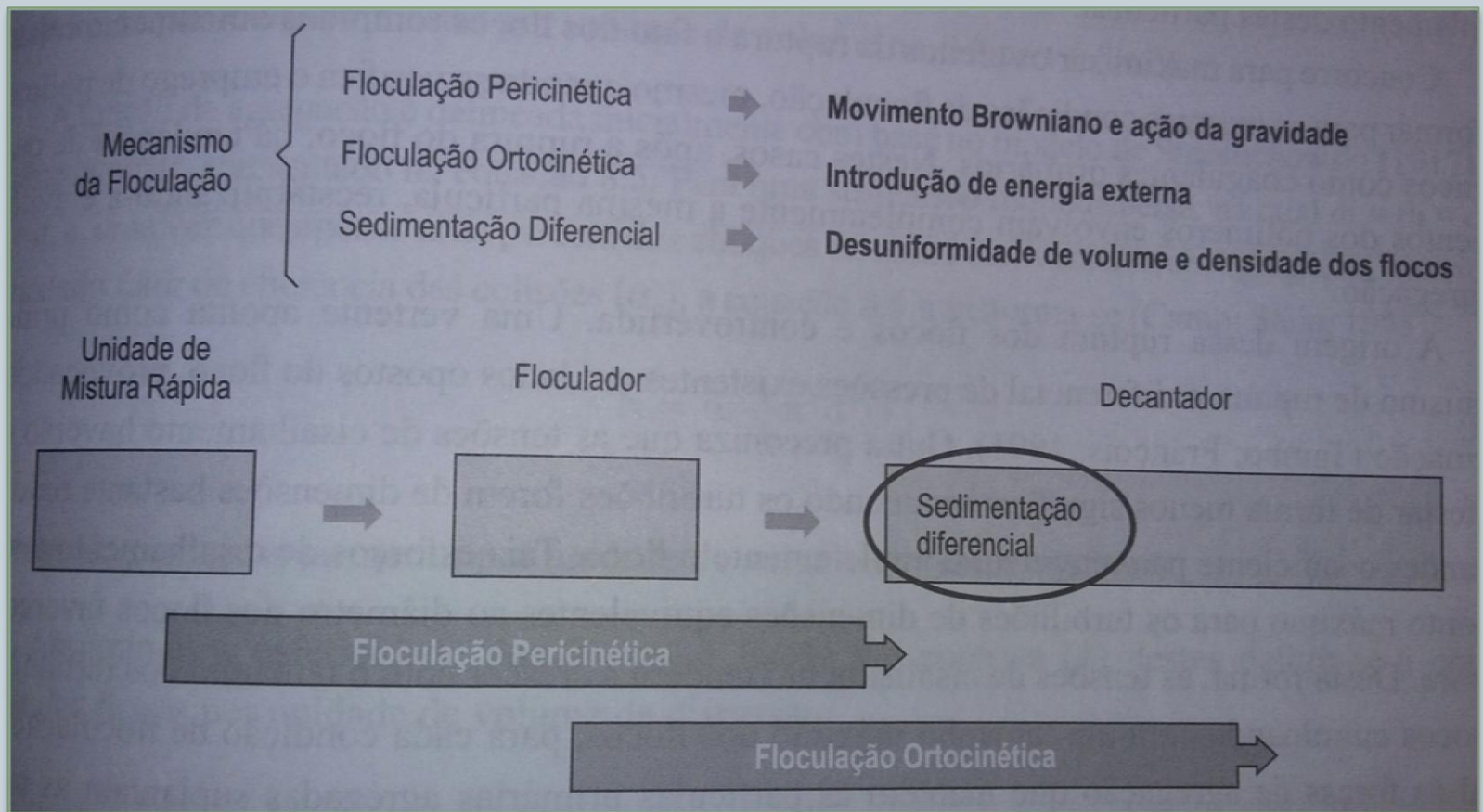
A finalidade da floculação não é remover a matéria suspensa presente na água, mas sim aumentar o tamanho do material em suspensão.

**FLOCULAÇÃO –
MISTURA LENTA**

FLOCULAÇÃO



Mecanismos de formação dos flocos



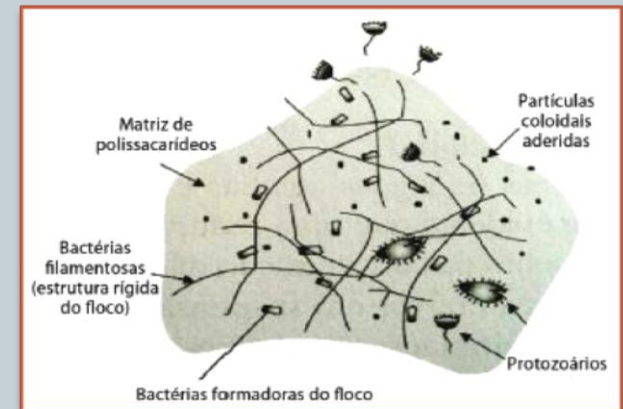
FLOCULAÇÃO



Na unidade de floculação ocorrem dois fenômenos que se opõem:

- agregação;
- ruptura dos flocos.

A agitação da água pode ser promovida por meios **mecânicos** ou **hidráulicos**.



FLOCULAÇÃO



FATORES QUE INFLUENCIAM A FLOCULAÇÃO

- Êxito da coagulação
- Tempo de detenção
- Gradiente de velocidade
- Geometria dos agitadores e das câmaras

FLOCULADORES



São unidades para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida.



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Faz com que a água percorra um caminho cheio de mudanças de direção.

A intensidade de agitação resulta da resistência hidráulica ao escoamento e é medida pela perda de carga.

Tipos de flocladores hidráulicos:

- ◆ Floclador de chicanas.
 - Floclador de chicanas verticais;
 - Floclador de chicanas horizontais.
- ◆ Floclador tipo Alabama.
- ◆ Flocladores em meio poroso.

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Floculador hidráulico de chicanas verticais

Velocidade da água ao longo dos canais:

$10 \text{ cm/s} < V < 30 \text{ cm/s}$ –

Para evitar sedimentação

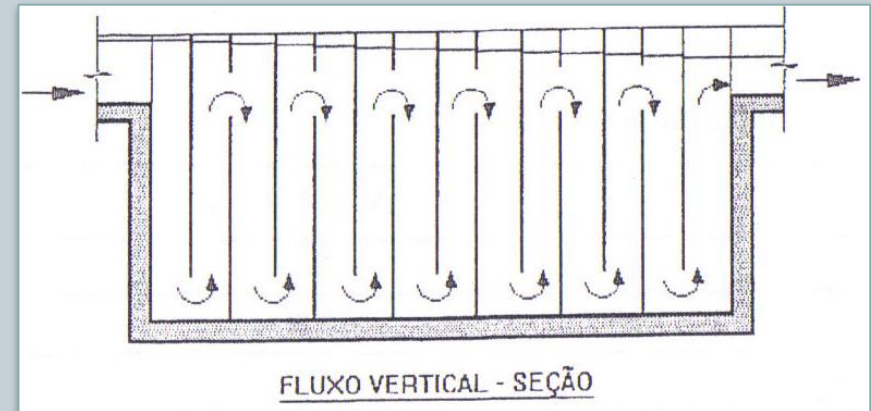
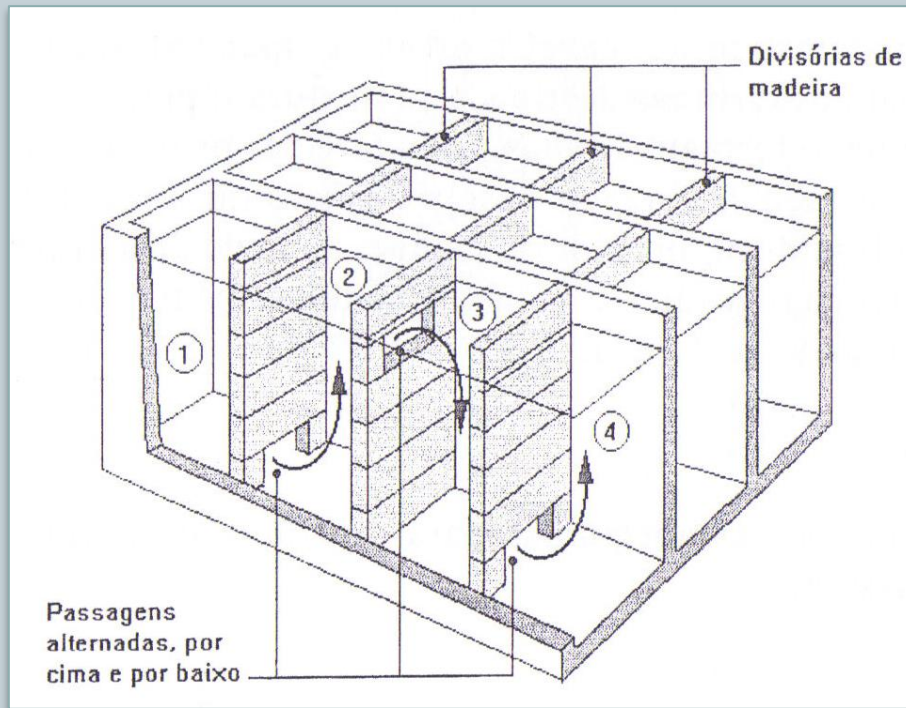
Espaçamento mínimo entre chicanas: 0,60 m, podendo ser menor, desde que dotadas de dispositivos para sua fácil remoção.



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



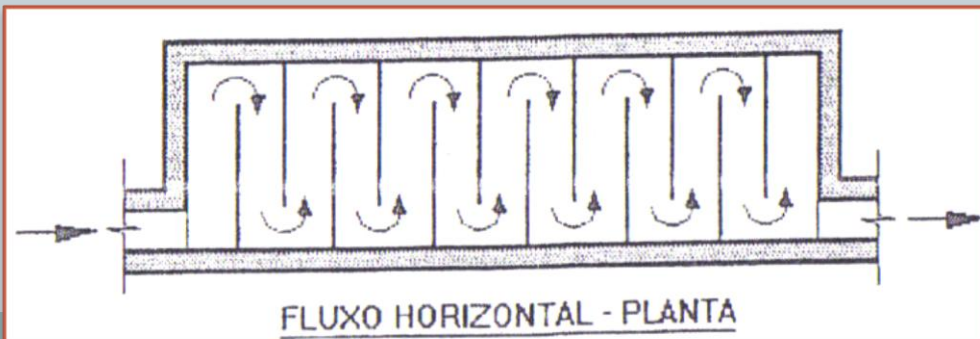
Floculador hidráulico de chicanas verticais



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA

Floculador hidráulico de chicanas horizontais

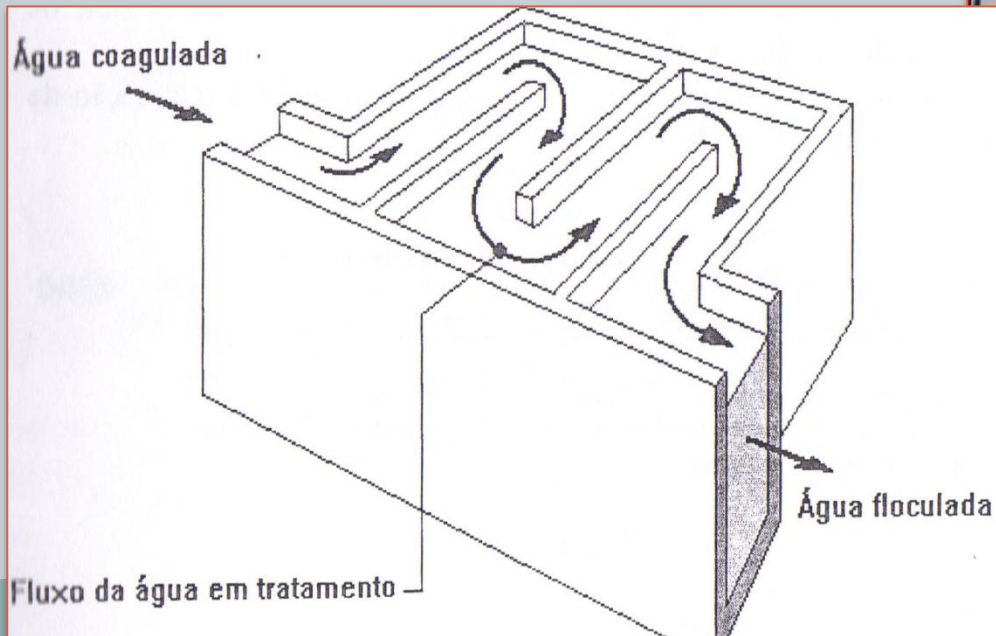
Vazões elevadas



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA

Floculador hidráulico de chicanas horizontais

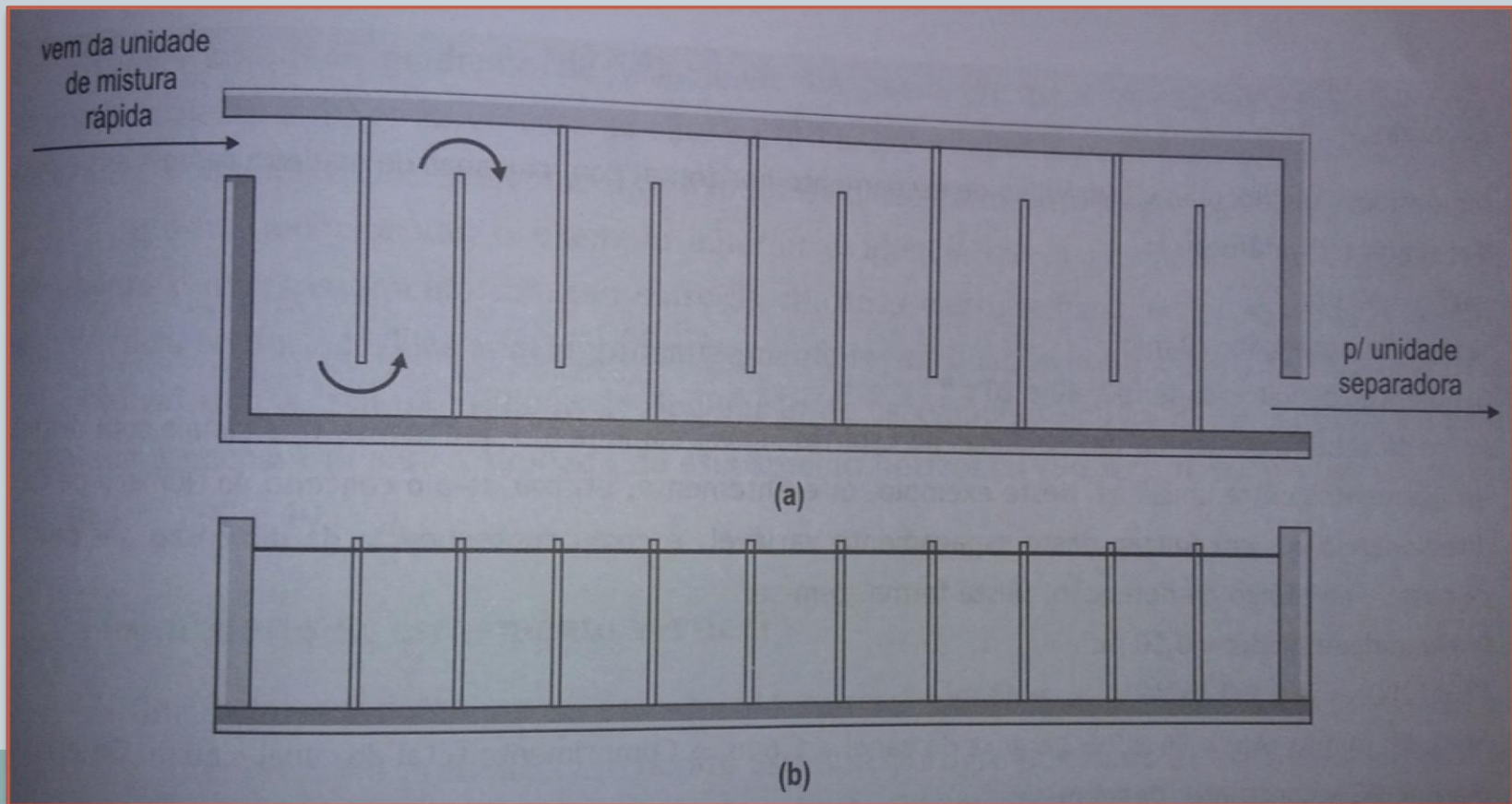
Vazões elevadas



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Floculador hidráulico de chicanas horizontais



FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA

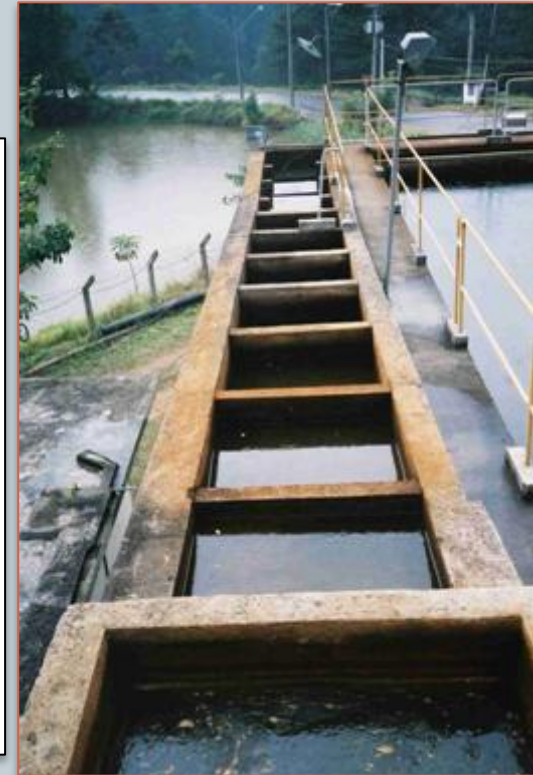
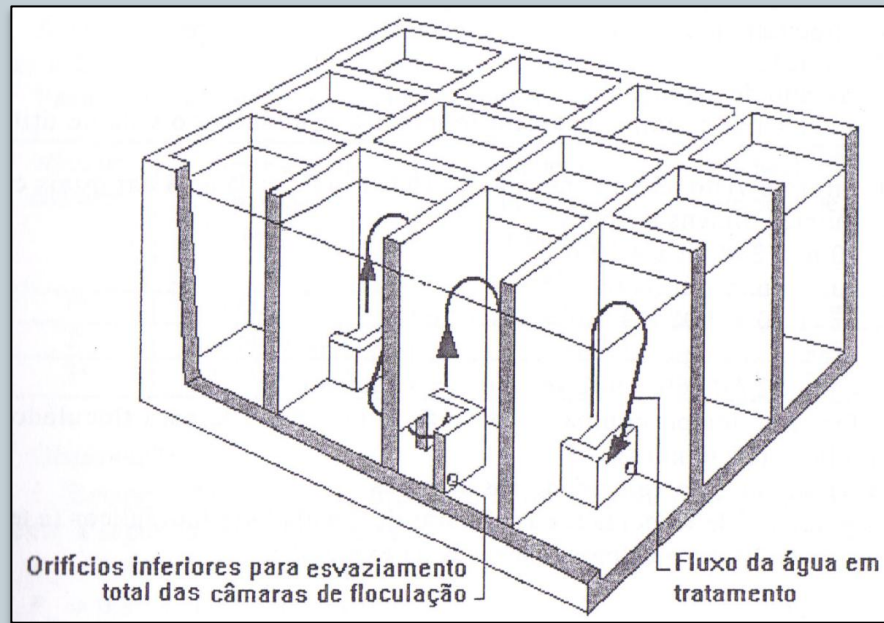


Floculador tipo Alabama

Não há necessidade de velocidade $> 0,10$ m/s



ETA Aldeia da Serra



ETA Aldeia da Serra

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

Floculadores Hidráulicos



Número de Camp → G t

confere-se às câmaras, iguais oportunidades de choques às partículas em tratamento.

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

Gradiente de velocidade

Para flocladores hidráulicos, a NBR12216 recomenda que o **Gradiente de velocidade** em um compartimento do floclador seja calculado pela seguinte expressão:

$$G = \sqrt{\frac{gh}{vt}}$$

onde:

G = gradiente de velocidade, em s⁻¹;

g = aceleração da gravidade, em m/s²;

h = soma as perdas de carga na entrada e ao longo do compartimento, em m;

v = viscosidade cinemática, em m²/s;

t = período de detenção no compartimento, em s.

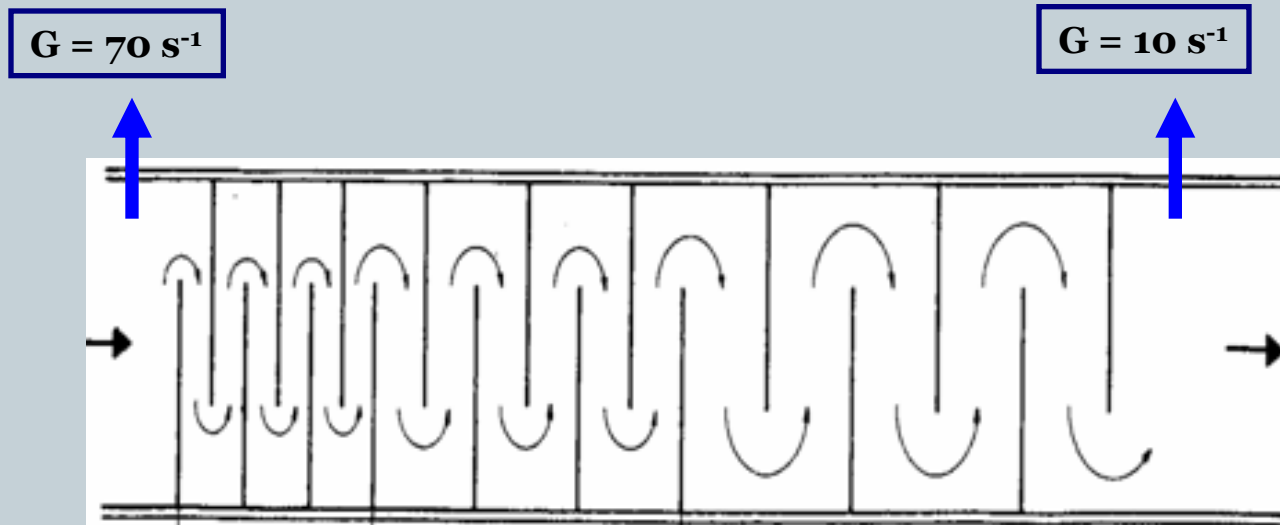
FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

Gradiente de velocidade Considerações normativas – NBR 12216

Não sendo realizados ensaios, deve ser previsto gradiente de velocidade máximo, no primeiro compartimento, de 70 s^{-1} e mínimo, no último, de 10 s^{-1} .



$G_{\text{passagem}} < G_{\text{câmara anterior}}$

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

Tempo de floculação

Considerações normativas – NBR 12216

NA IMPOSSIBILIDADE DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS



FLOCULADORES HIDRÁULICOS

$20 < T_f < 30 \text{ min}$

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

- Cálculo do volume do flocculador (V_f)

$$V_f = Q.T_f$$

- Cálculo da área superficial do flocculador (A_s), onde:
h: profundidade da lâmina líquida.

$$A_s = \frac{V_f}{h}$$

- Cálculo da largura do flocculador (B_f), onde:
L: comprimento do canal

$$B_f = \frac{A_s}{L}$$

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

- Cálculo do número de chicanas em cada câmara de floculação (n), onde:

n =número de espaçamentos;

a =largura do canal do flocculador em metros;

L =comprimento do flocculador em metros;

G =gradiente de velocidade em s^{-1} ;

Q =vazão em m^3/s ;

T_f =tempo de detenção hidráulico em minutos.

$$n = 0,045 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{a \cdot L \cdot G}{Q}\right)^2 \cdot T}$$

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA



Parâmetros de Projeto

- Cálculo do espaçamento entre chicanas (e)

$$e = \frac{L}{n + 1}$$

- Cálculo das velocidades nos trechos retos e curvas 180° (V_1 e V_2)

$$V_1 = \frac{Q}{B_f \cdot e}$$

- Cálculo do gradiente de velocidade (G)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \Delta H}{\mu \cdot T}}$$

FLOCULAÇÃO HIDRÁULICA

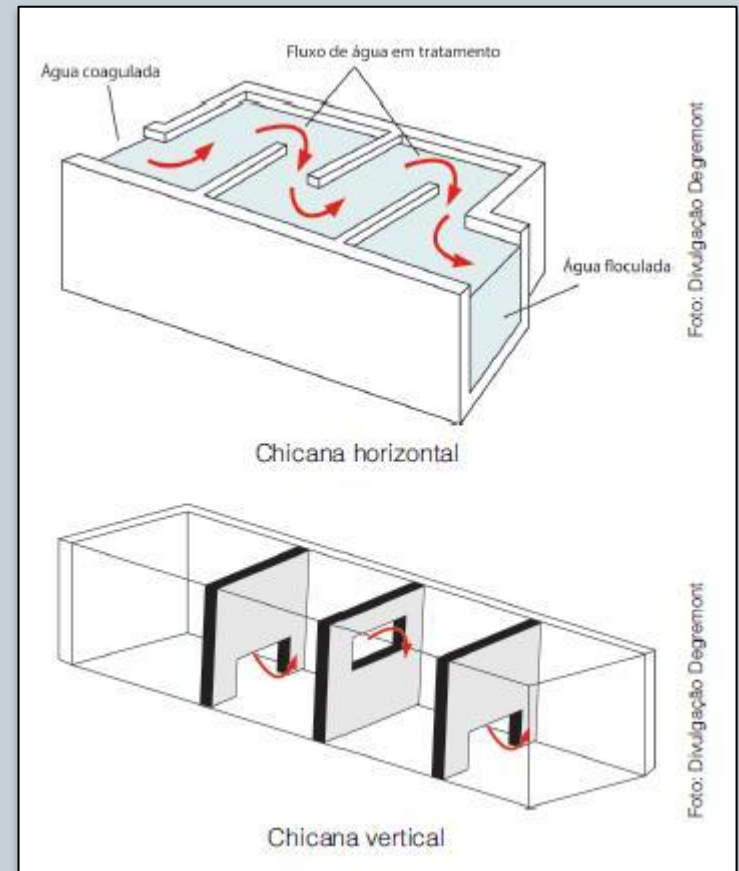
Floculadores hidráulicos

VANTAGENS

- Operação
- Equipamentos
- Custo
- Instalações de médio porte
- Energia elétrica

DESVANTAGENS

- Alterar a velocidade de agitação



FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Introdução de equipamentos mecânicos, capazes de manter a água em constante agitação.

Tipos de flocladores mecanizados

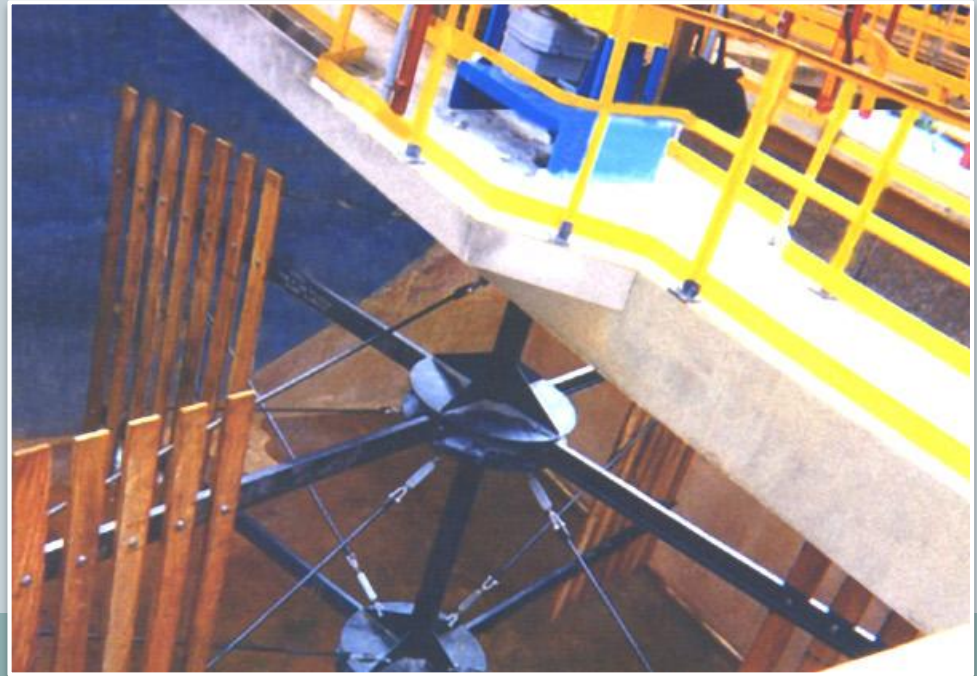
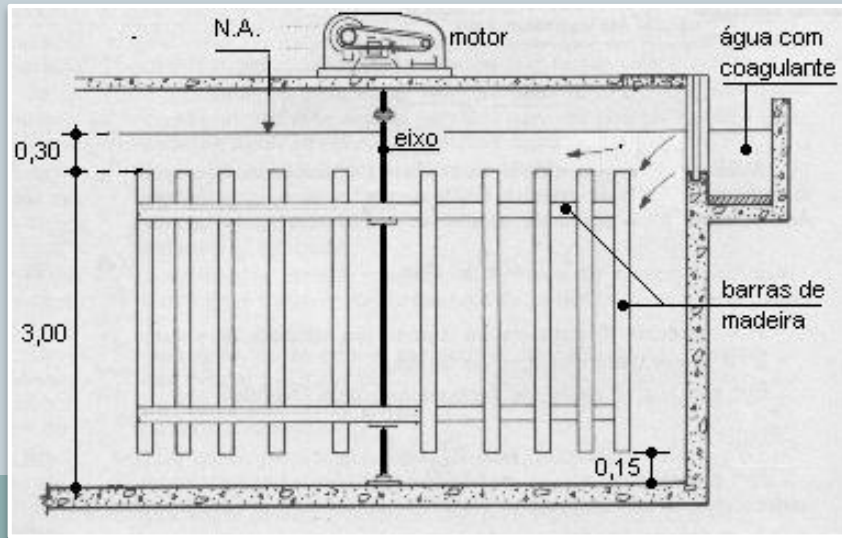
- ◆ Agitadores do tipo de paletas.
 - flocladores de paletas de eixo vertical;
 - flocladores de paletas de eixo horizontal;
 - flocladores de paleta única, de eixo vertical.
- ◆ Agitadores do tipo de fluxo axial.
 - turbinas e hélices.

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Floculadores mecanizados, do tipo paletas, de eixo vertical

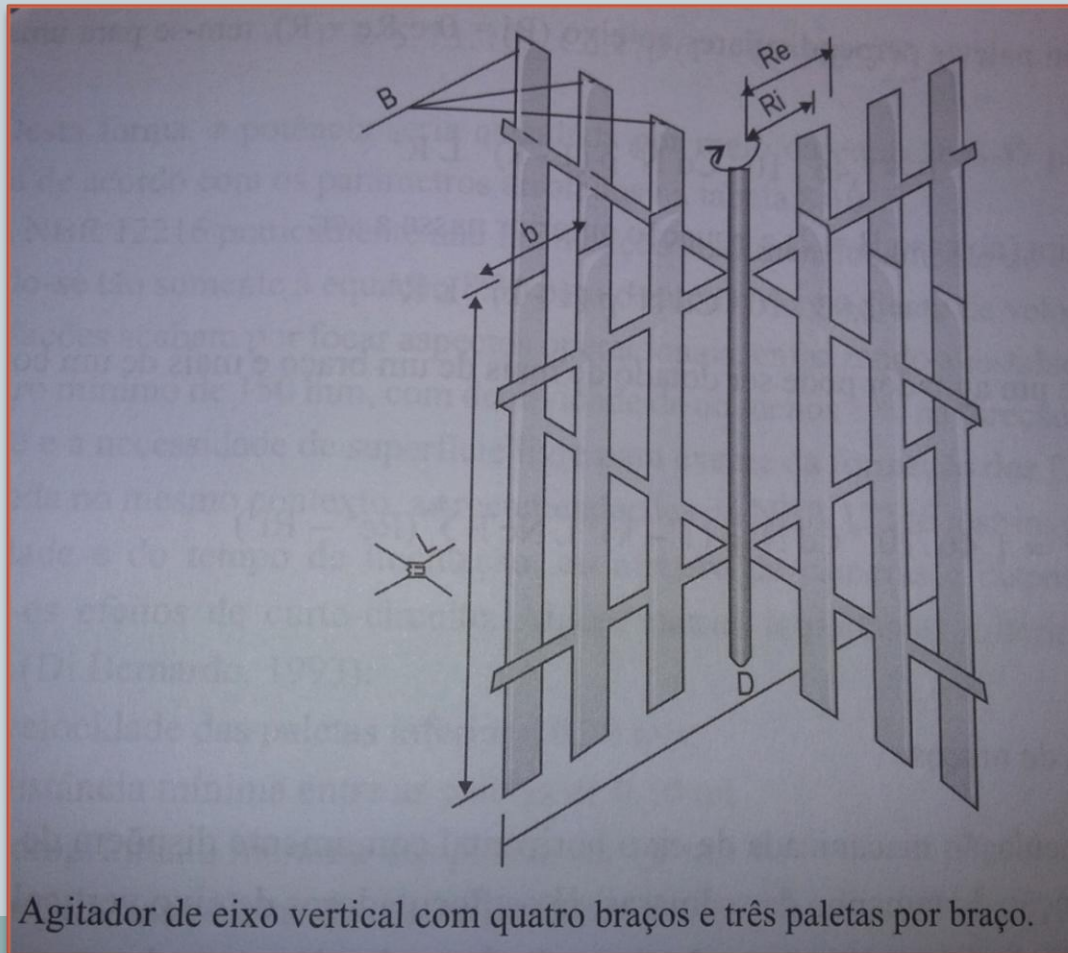
- Intensidade de agitação é diminuída em cada câmara sucessivamente
- G depende da rotação do eixo e das características da paleta (altura, espessura e espaçamento, entre outras.)



FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Floculadores mecanizados, do tipo paletas, de eixo vertical

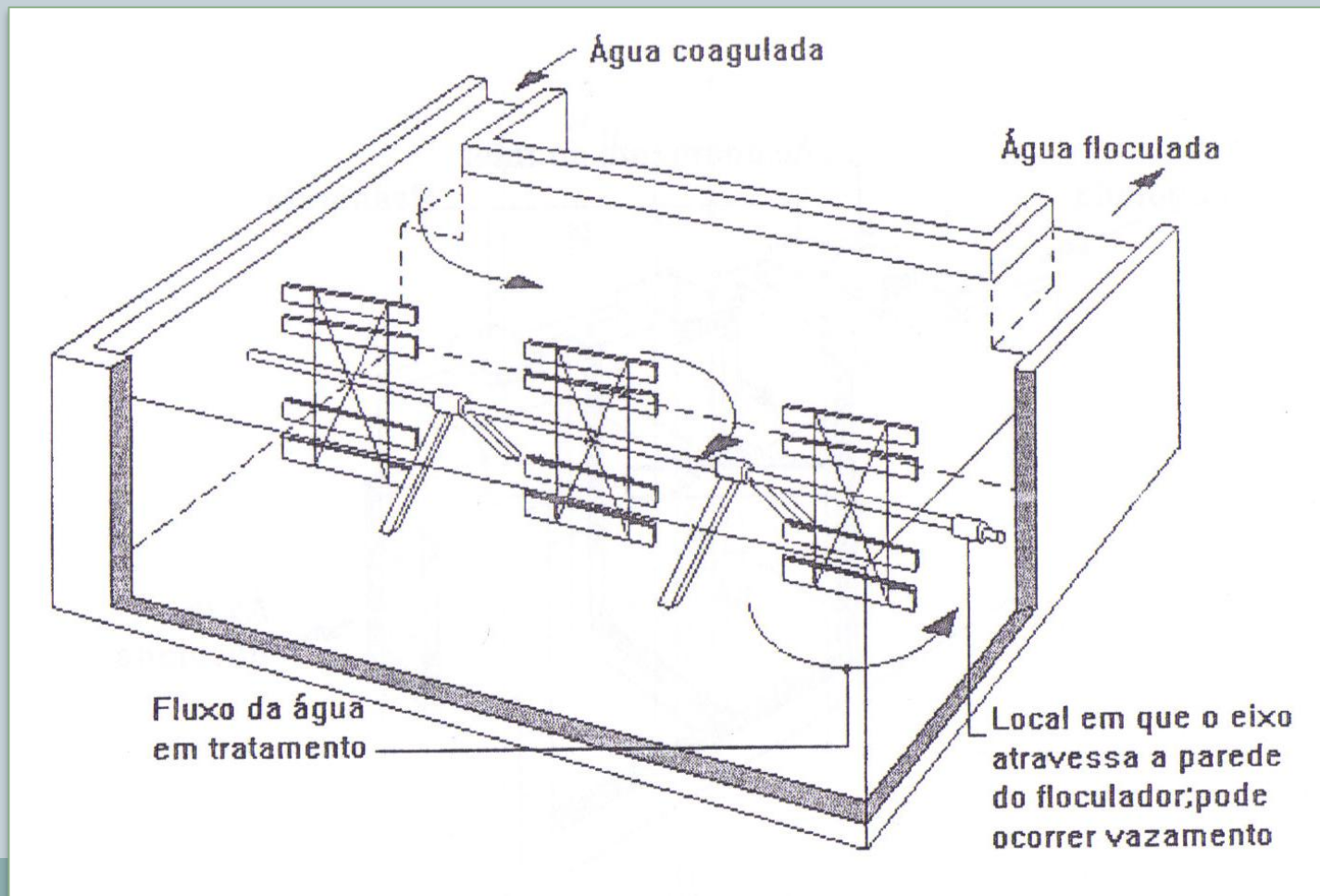


Agitador de eixo vertical com quatro braços e três paletas por braço.

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



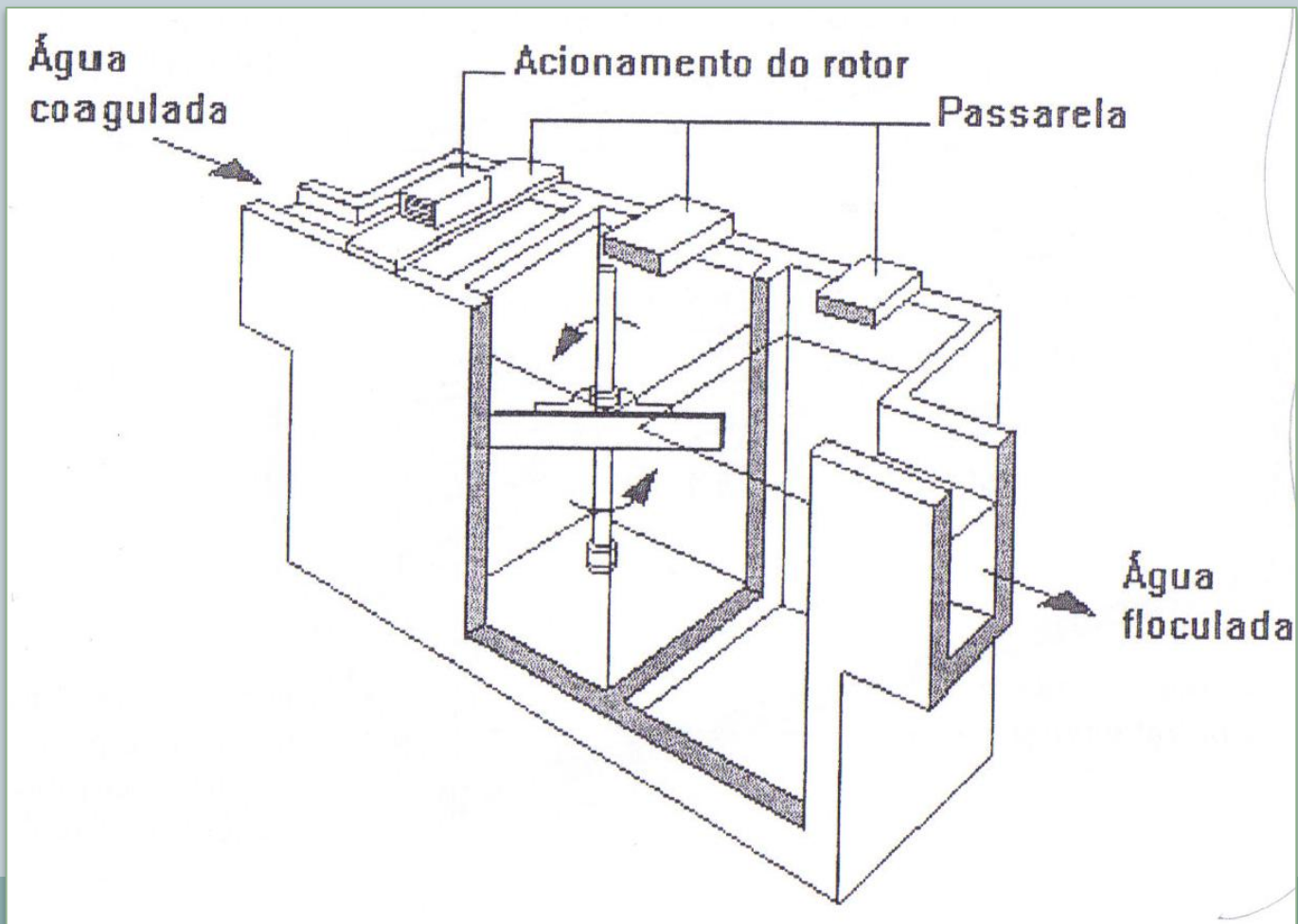
Floculadores mecanizados, do tipo paletas, de eixo horizontal



FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Floculadores mecanizados, do tipo paletas, de eixo vertical



FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Gradiente de velocidade

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot Vol}}$$

$$P_{ot} = G^2 \cdot \mu \cdot V$$

onde:

- μ = viscosidade absoluta da água, cujo valor pode ser encontrado para diversas temperaturas;
- Vol = volume do compartimento de floculação;
- P = potência dissipada na massa líquida em tratamento no compartimento de floculação.

- Cálculo da potência a ser introduzida no volume de líquido (Pot),

onde:

- G: gradiente de velocidade, em s^{-1} ;
- μ : viscosidade dinâmica, em Pa.s;
- V: volume útil do compartimento, em m^3 .

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Volume de cada compartimento

Pode ser determinado com facilidade, uma vez conhecidos a vazão da água a ser tratada e o tempo de detenção correspondente:

$$\text{Vol} = Q.t$$

Onde:

- Vol = volume do compartimento;
- Q = vazão;
- t = tempo de detenção.

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Tempo de floculação Considerações normativas – NBR 12216

NA IMPOSSIBILIDADE DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS



FLOCULADORES MECANIZADOS

$$30 < T_f < 40 \text{ min}$$

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



Parâmetros de projeto

- Cálculo da área superficial do floculador (A_s)

$$A_s = \frac{V_f}{h}$$

- Cálculo da largura do floculador (B_f)

$$B_f = \frac{A_s}{L}$$

- Cálculo do volume de cada câmara de floculação (V), onde n_c : número de câmaras de floculação.

$$V = \frac{V_f}{n_c}$$

FLOCULAÇÃO MECANIZADA



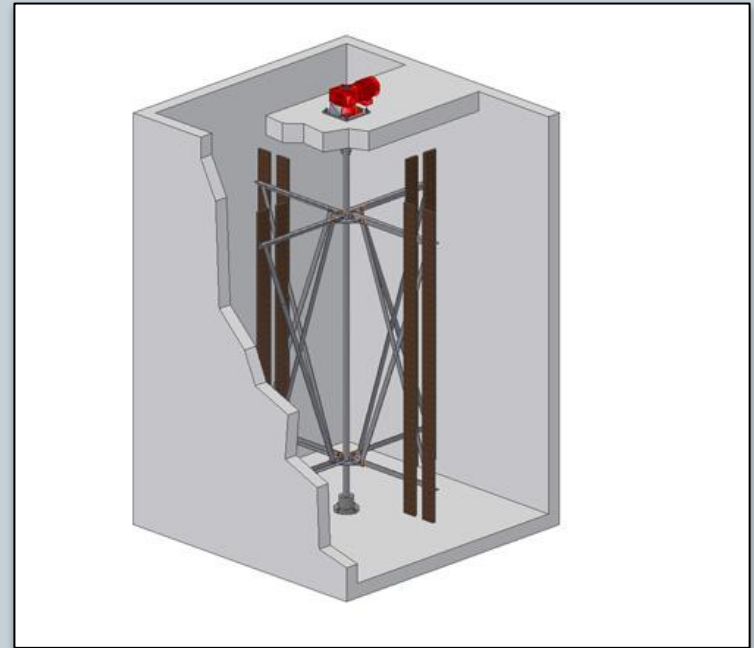
Floculadores mecanizados

VANTAGENS

- Mudança da velocidade de agitação
- Instalação em ETAs existentes

DESVANTAGENS

- Equipamentos
- Energia elétrica
- Manutenção
- Curto-circuitos



FLOCULAÇÃO



Cr terios para sele o:

- Tamanho da instala o
- Regularidade de vaz o e no per odo de opera o
- Seguran a operacional
- Capacidade operativa e de manuten o local
- Caracter sticas construtivas
- Custo
- Disponibilidade de energia

FLOCULAÇÃO



Características dos Floculadores

Características	Floculadores		
	Hidráulicos	Mecânicos Eixo Vertical	Mecânicos Eixo Horizontal
Custo	Baixo	Médio a alto	Médio a alto
Flexibilidade Operacional	Média a baixa	Boa	Boa
Tipo de construção	Fácil	Média	Média a difícil
Condições de fluxo	Próximo ao fluxo pistão	Curto-circuitos	Curto-circuitos
Manutenção	Baixa	Média	Média

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Aula baseada em:

- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 edição. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 494 p.
- HELLER, L.; PADUA, V.L. Abastecimento de água para consumo humano. 2ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- VIANNA, M.R. *Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água.* 3. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997. 576 p.
- Coagulação e floculação – slides. Prof. Piterson Moraes.