



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PHA 3411 - TRATAMENTO DE ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO

TRATAMENTO DE ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO
SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

Prof. Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho
Prof. Dr. José Carlos Mierzwa



SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

- ▶ Introdução
- ▶ Lei de Newton
- ▶ Lei de Stokes
- ▶ Sedimentação Discreta (Tipo I)
- ▶ Modelação Matemática do Processo de Sedimentação Discreta

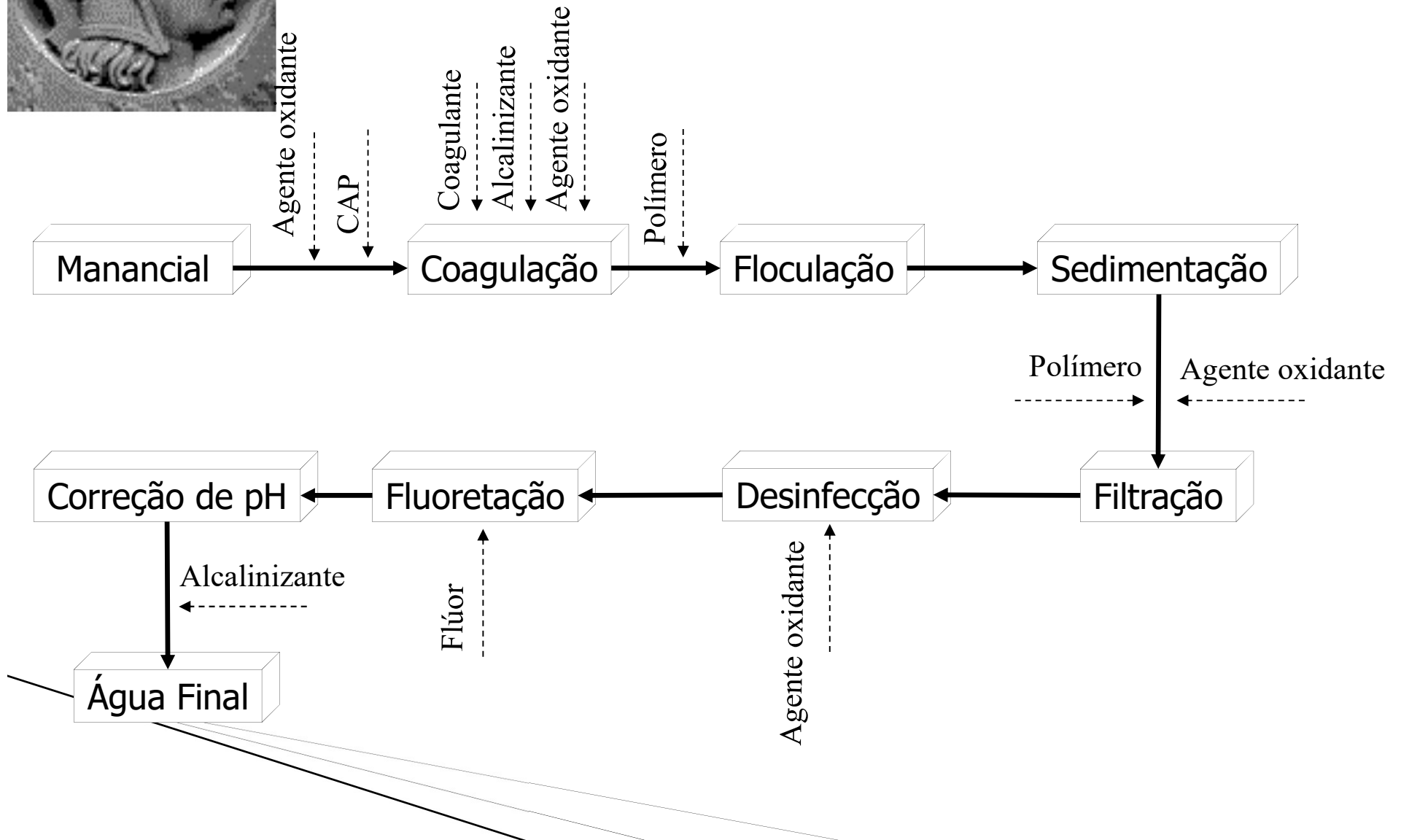


SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

- ▶ Sedimentação Floculenta (Tipo II)
- ▶ Decantadores convencionais de fluxo horizontal
- ▶ Decantadores laminares
- ▶ Exercício – Dimensionamento de decantadores convencionais e laminares

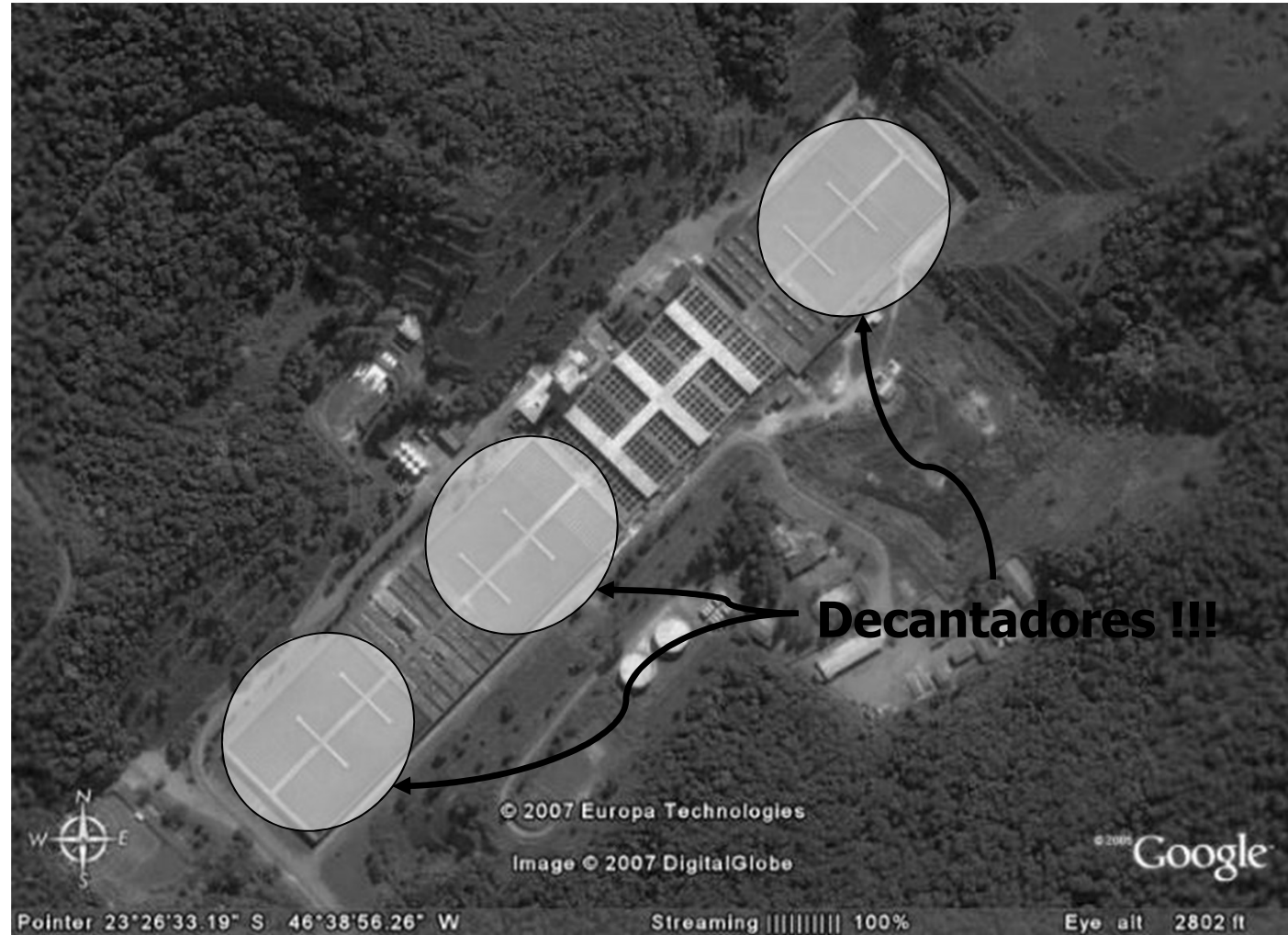


TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

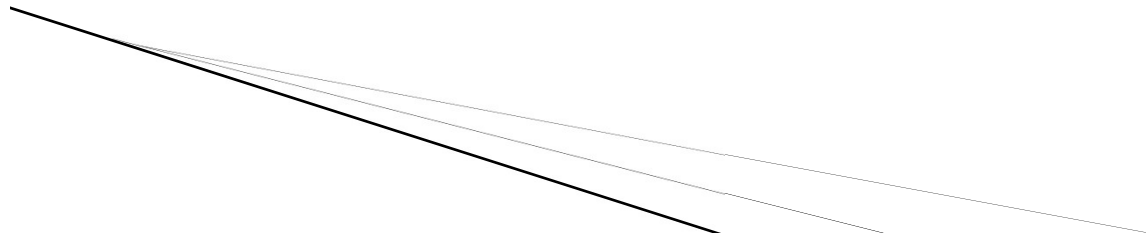




SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL



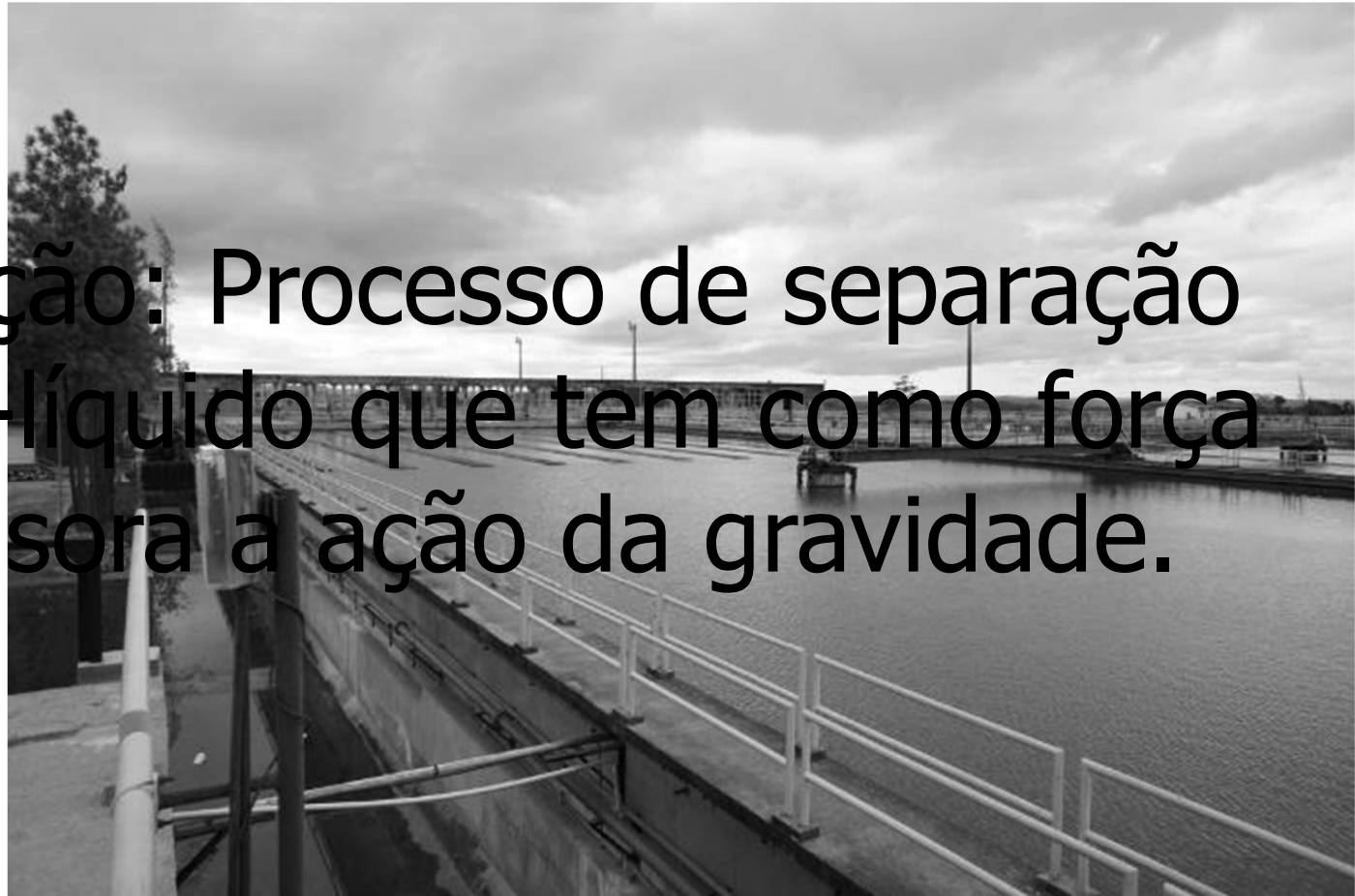
SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL





SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

Definição: Processo de separação sólido-líquido que tem como força propulsora a ação da gravidade.





SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

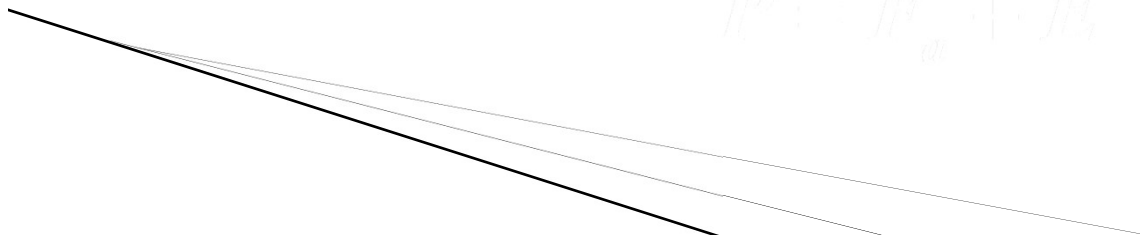
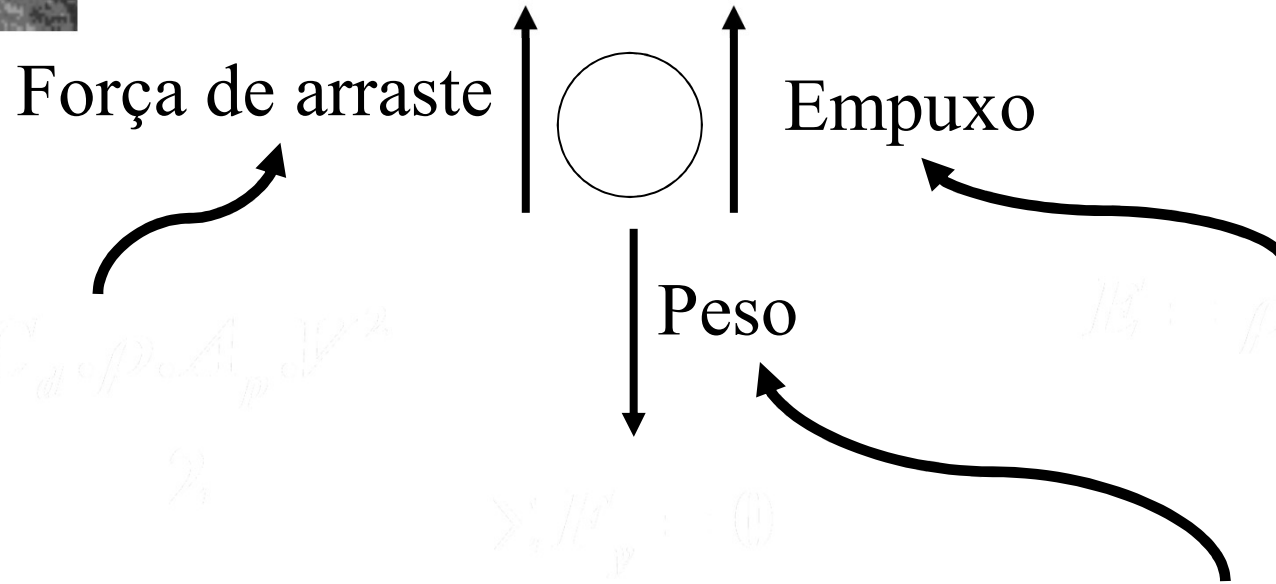
Classificação dos Processos de Sedimentação

- ▶ Sedimentação discreta (Tipo 1)
- ▶ Sedimentação floculenta (Tipo 2)
- ▶ Sedimentação em zona (Tipo 3)
- ▶ Sedimentação por compressão (Tipo 4)



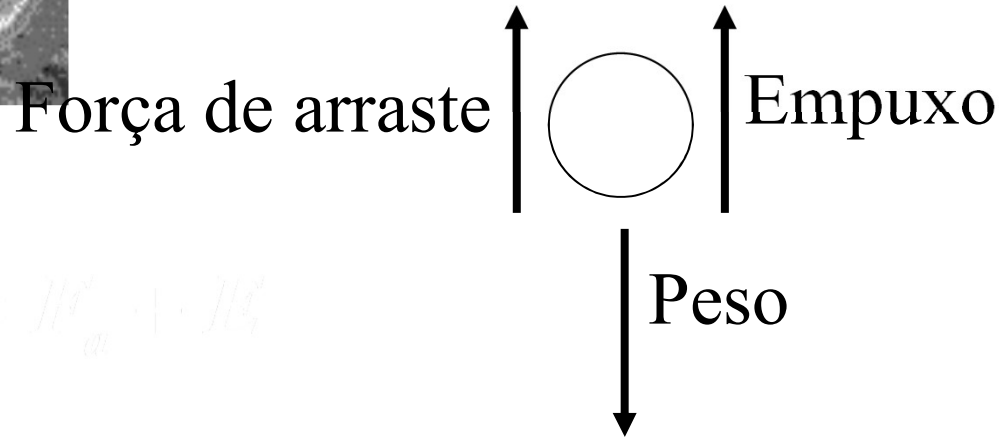


VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO





VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



$$W = W_p - W_f$$

$$C_d \rho A_p v^2$$

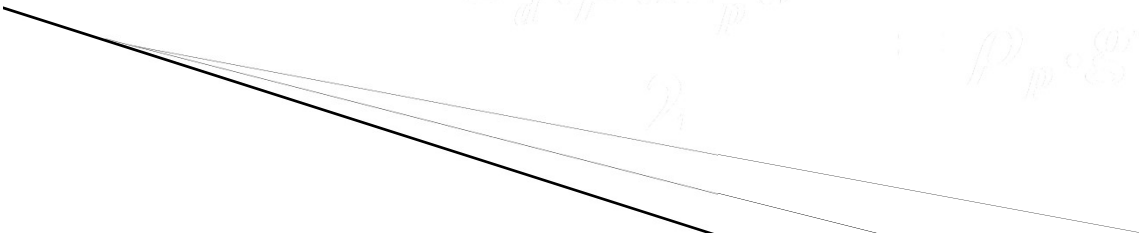
$\frac{2}{3}$

$$= \rho_p g V_{ol} - \rho_f g V_{ol}$$

$$C_d \rho A_p v^2$$

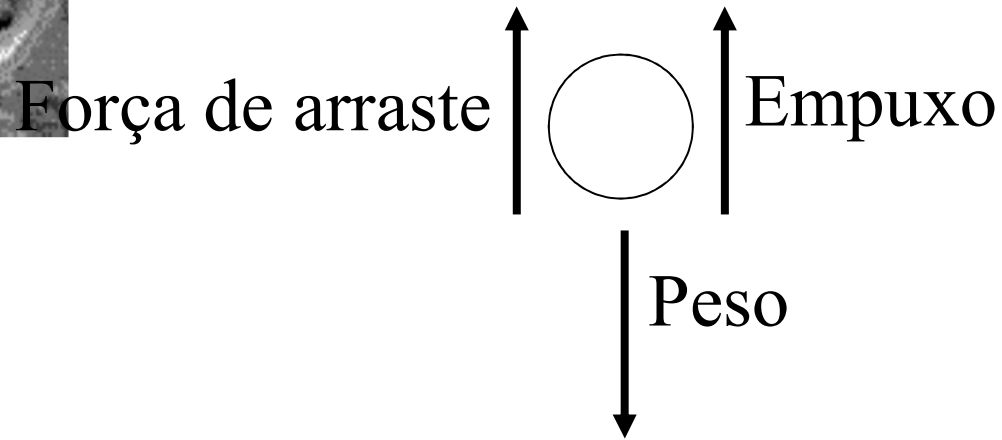
$\frac{2}{3}$

$$= \rho_p g V_{ol} - \rho_f g V_{ol}$$



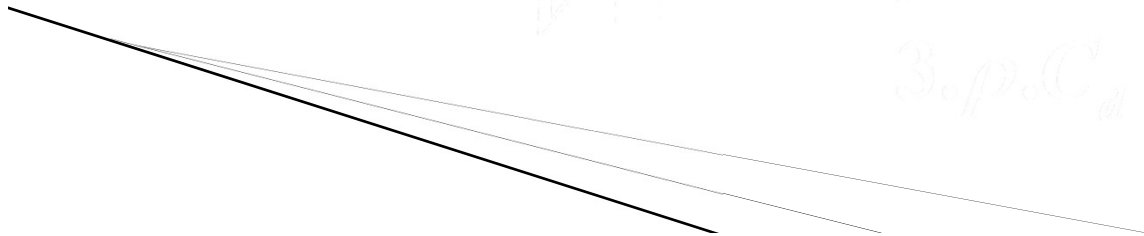


VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



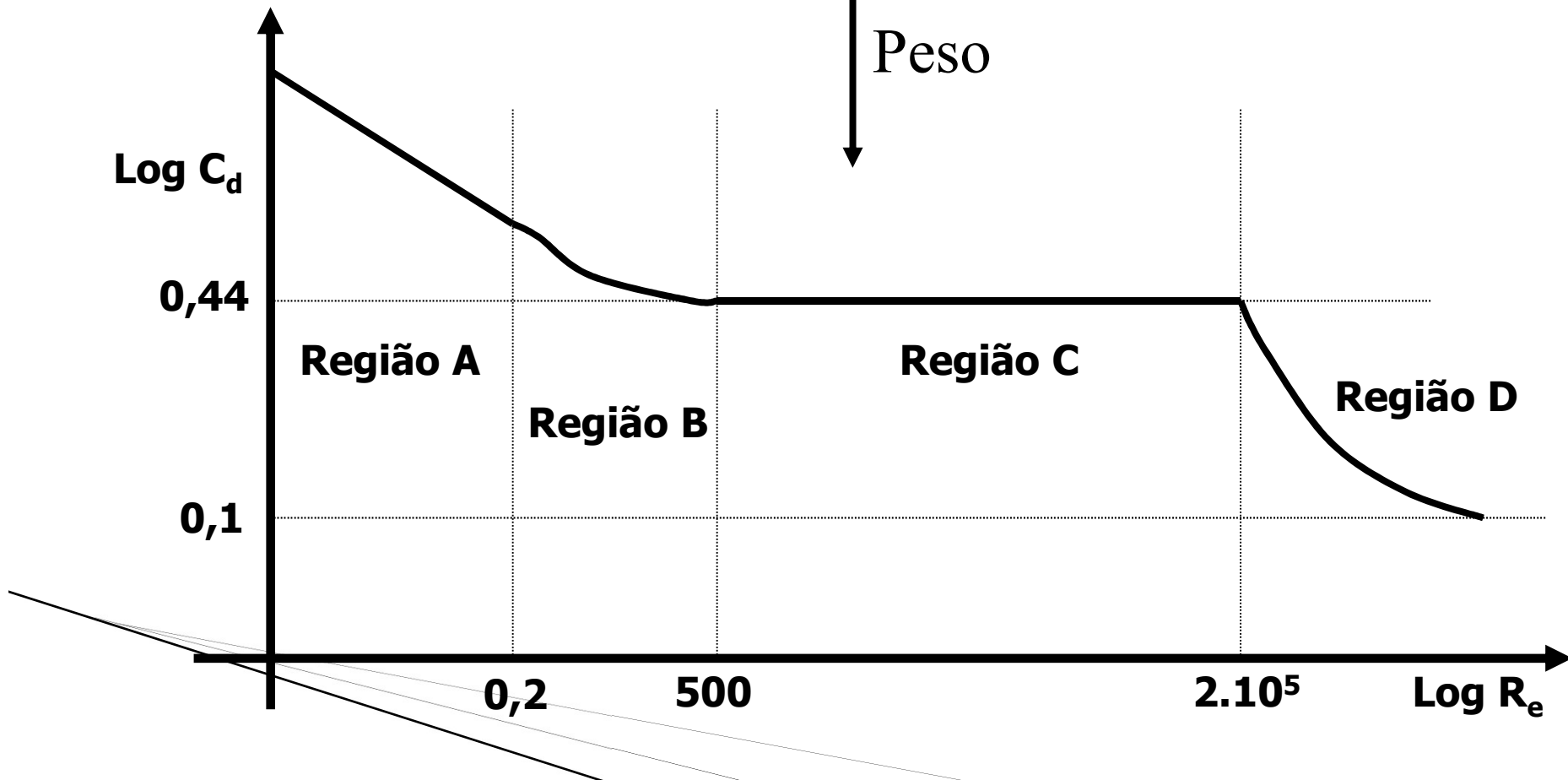
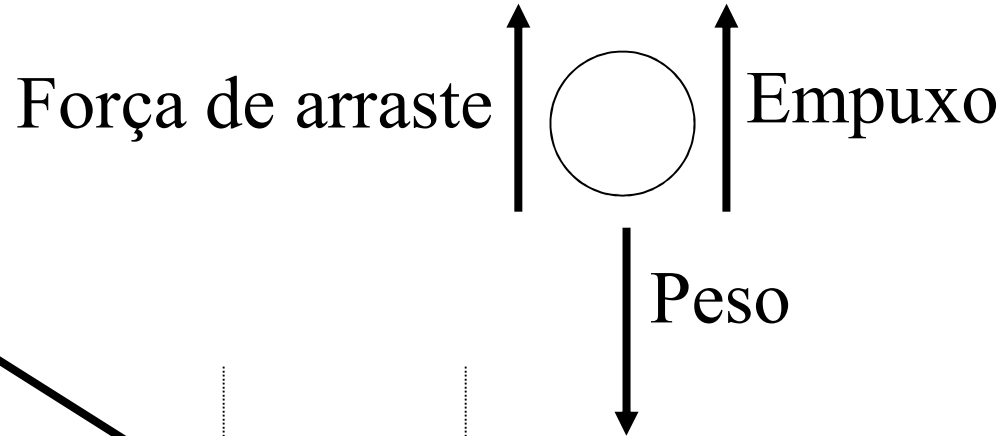
$$C_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot V_{at}^2 = P_p \cdot g \cdot V_{at} \cdot \frac{\rho_p - \rho}{\rho}$$

$$V_{at} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho} \right) \cdot g \cdot d_p$$
$$3 \cdot \rho \cdot C_d$$



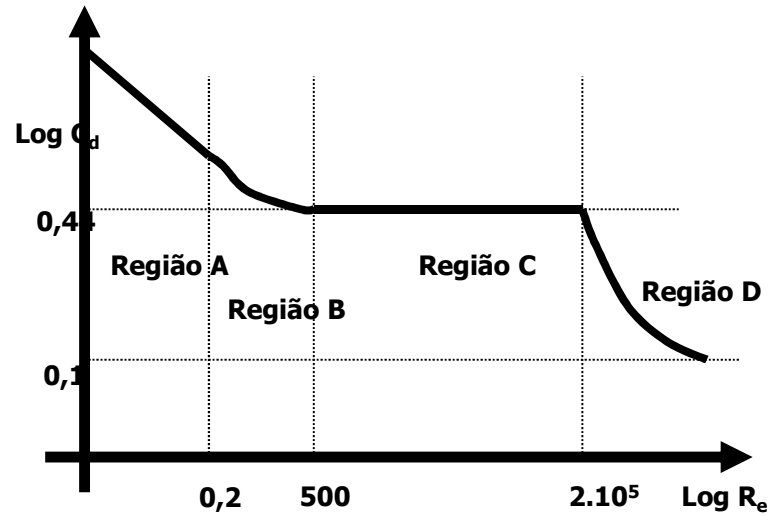


VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO





VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



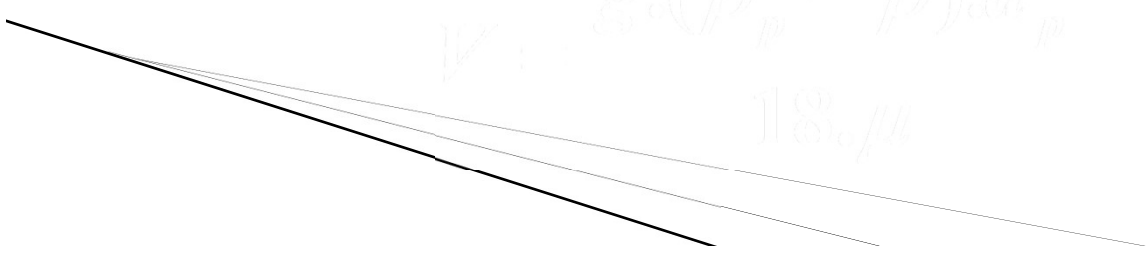
Lei de Newton



Lei de Stokes



$$F_d = 1.0 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g \cdot d_p^2$$
$$3.0 \cdot \rho \cdot C_d$$
$$V = \frac{8.0 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p^2}{18.0 \cdot \mu}$$
$$C_d = \frac{24.0}{R_e} = \frac{24.0 \cdot \mu}{V \cdot d_p \cdot \rho}$$

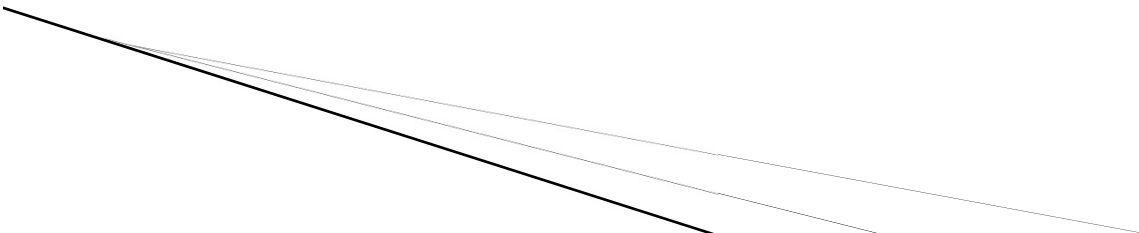




VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

$$V_s = \frac{1}{3} \frac{(\rho_p - \rho) g d_p^2}{\mu C_d}$$

Velocidade de sedimentação (cm/min)				
ρ_p (kg/m ³)	Diâmetro (mm)			
	0,01 mm	0,1 mm	1,0 mm	10 mm
2.750	0,59	48,5	1.078	4.676
2.000	0,31	28,5	762	3.504
1.200	0,09	6,1	262	1.520
1.020	0,02	1,2	46	456





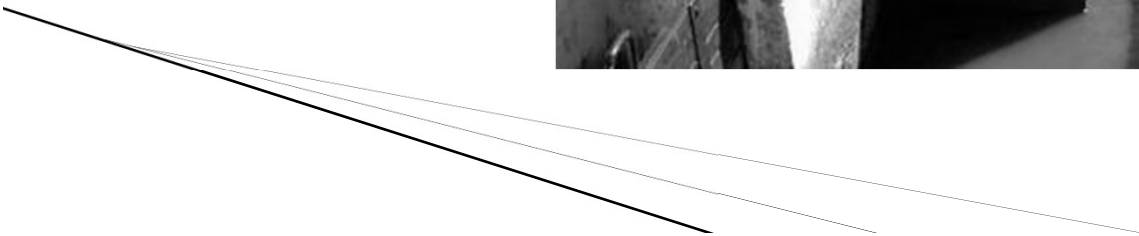
SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)

- ▶ Sedimentação discreta: As partículas permanecem com dimensões e velocidades constantes ao longo do processo de sedimentação, não ocorrendo interação entre as mesmas





SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)





SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)



SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)





SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)

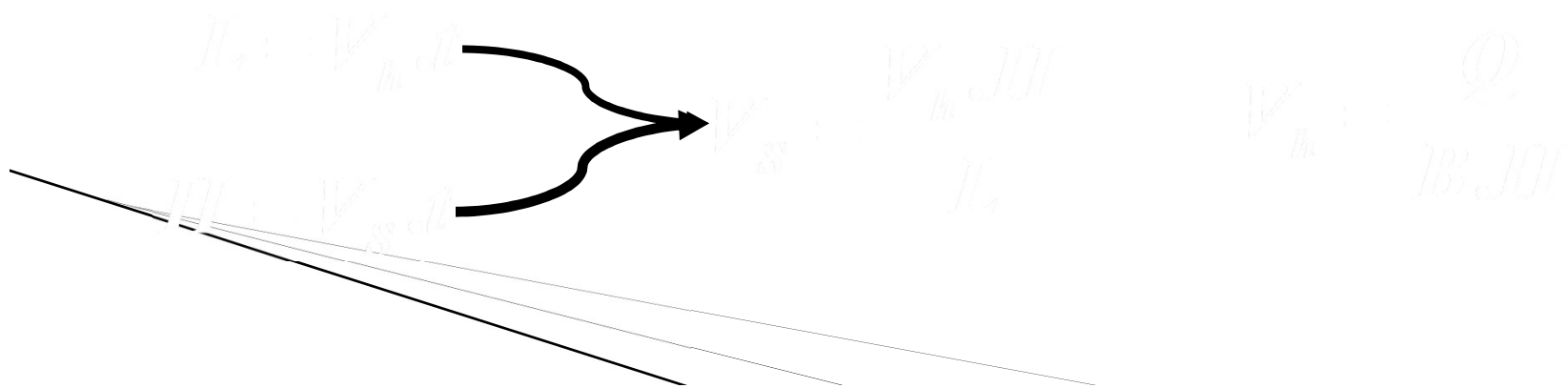
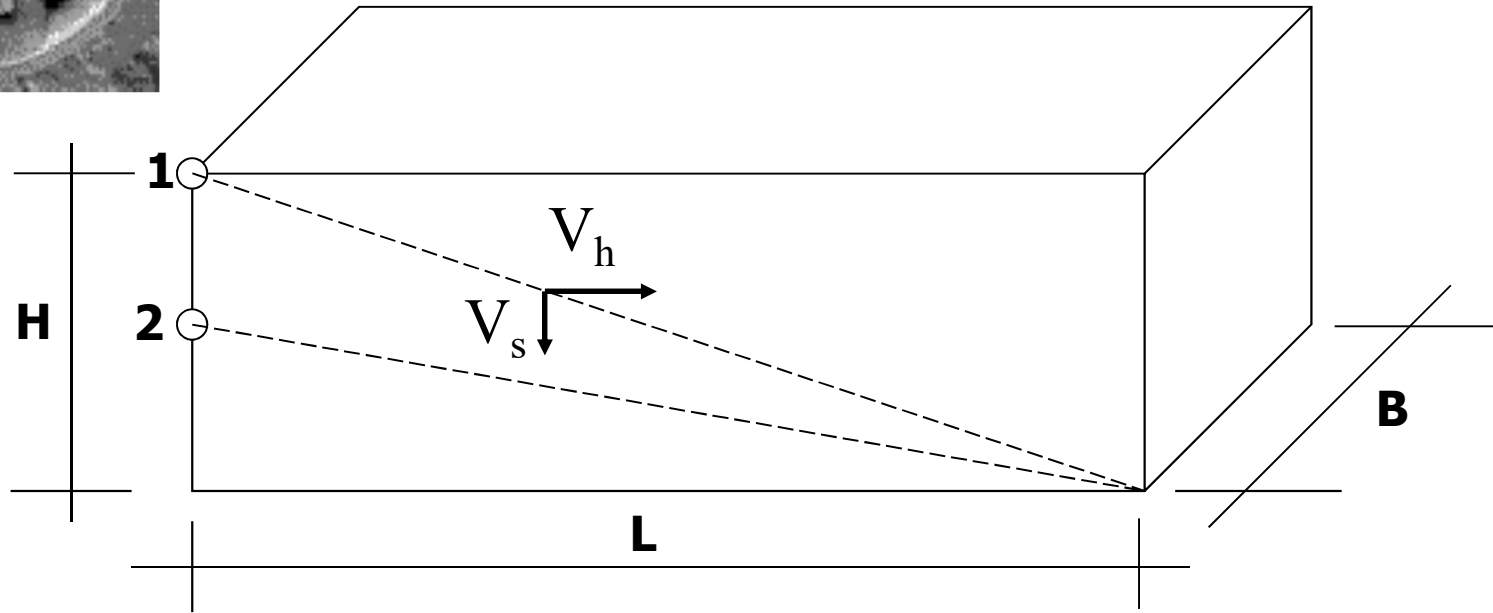


SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)



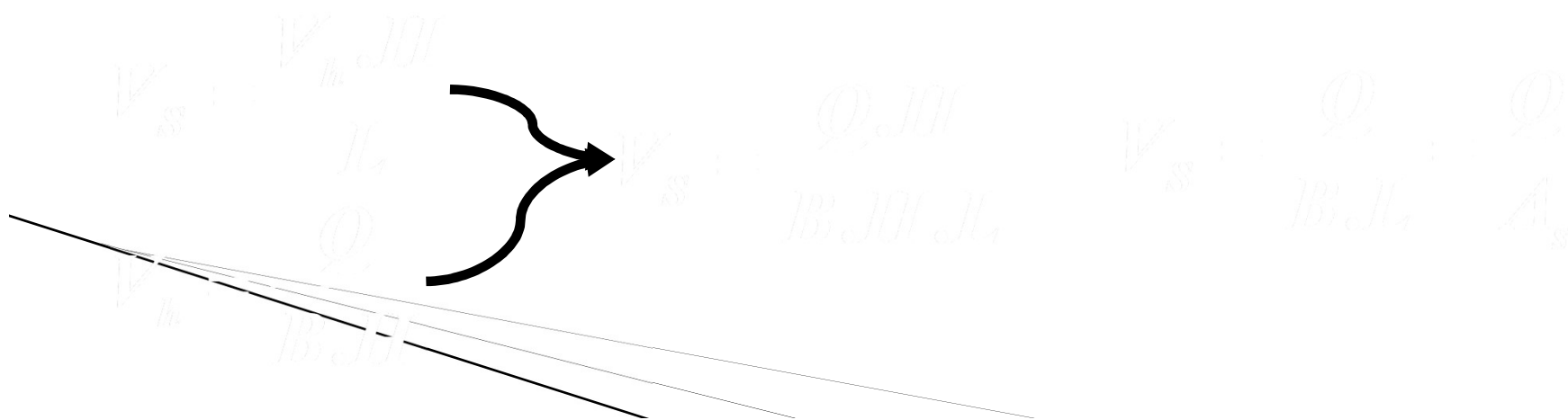
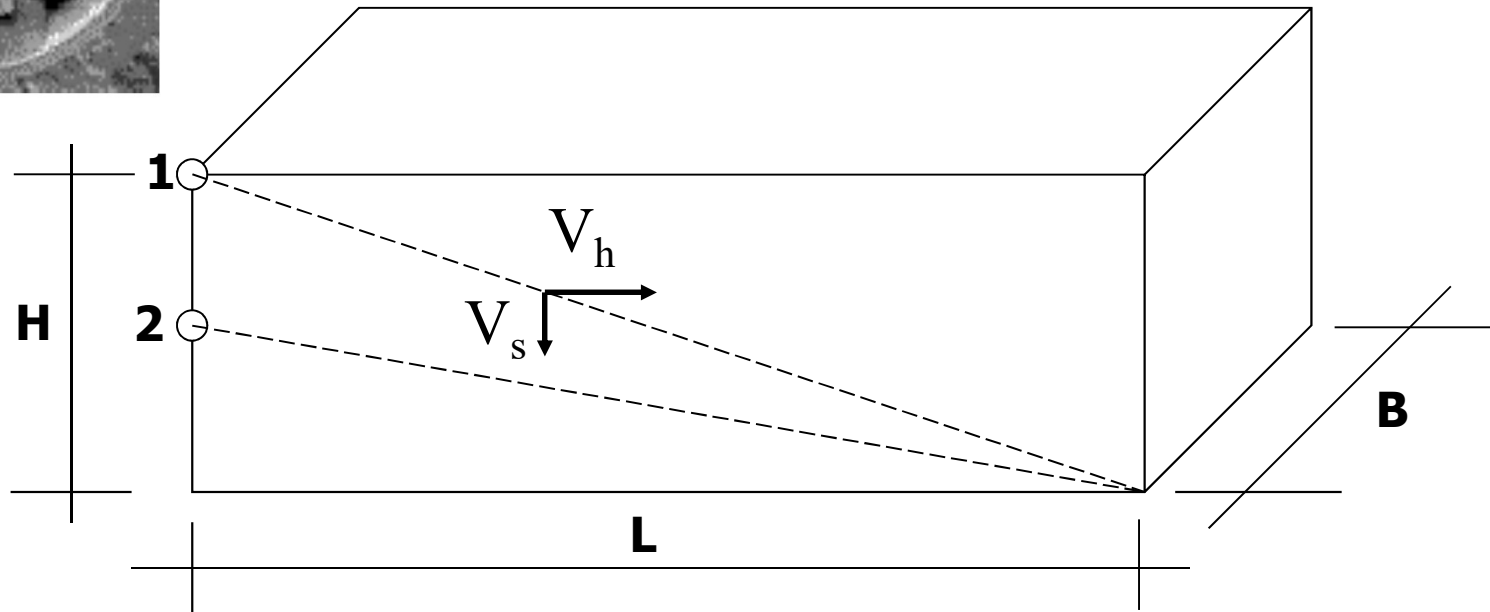


SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)



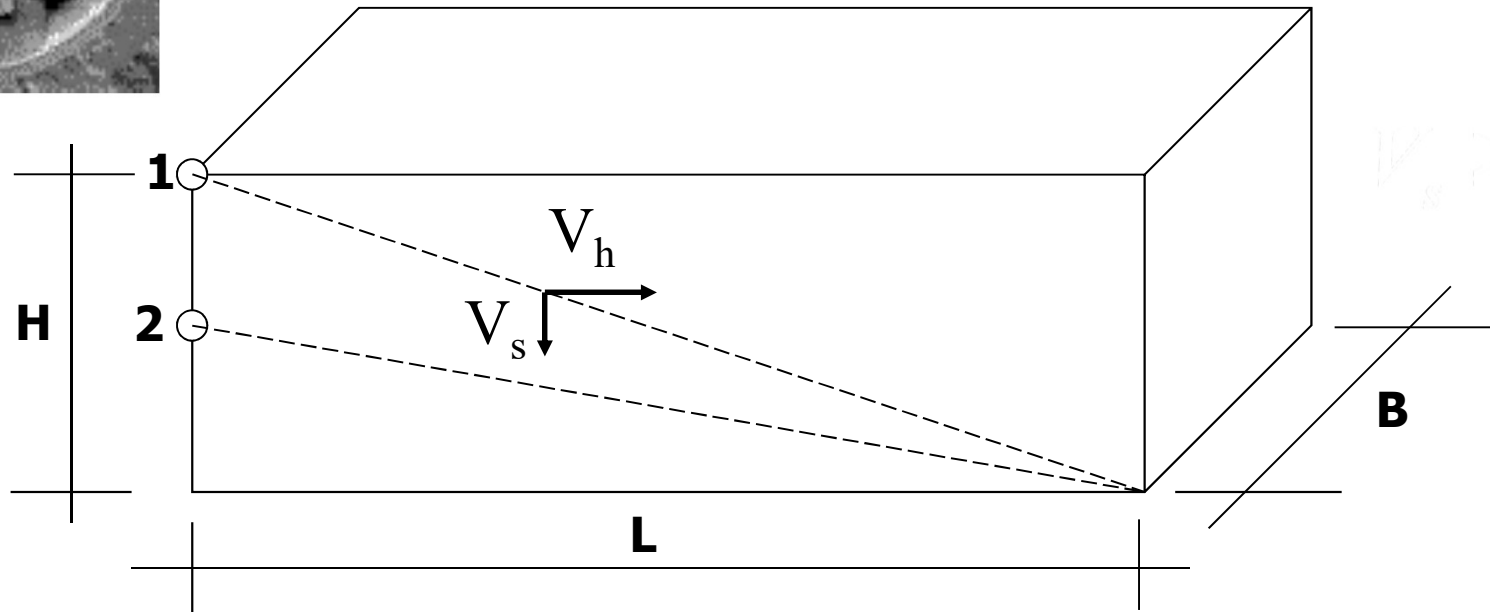


SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)





SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)



Taxa de escoamento superficial

Partículas com V_s superiores a q serão removidas durante o processo de sedimentação gravitacional



SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I) ANÁLISE DO EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO

V_s = Velocidade de sedimentação (m/s)

q = taxa de escoamento superficial ($m^3/m^2/dia$)

- ▶ q é função somente da geometria do decantador, portanto, é um parâmetro de projeto.



SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I) ANÁLISE DO EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO

V_s = Velocidade de sedimentação (m/s)

q = taxa de escoamento superficial (m³/m²/dia)

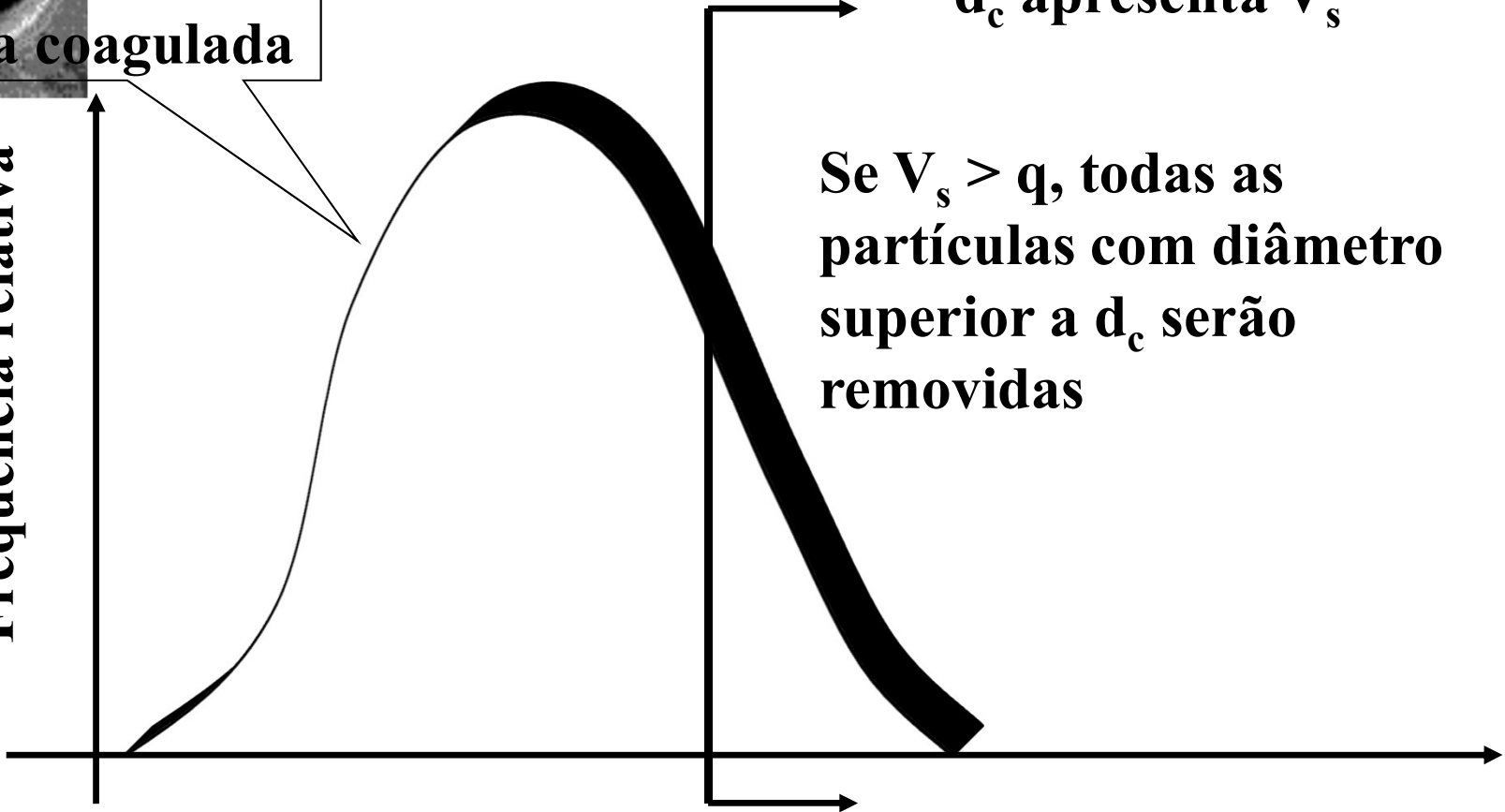
- ▶ V_s é uma propriedade da partícula, podendo esta ser manipulada mediante a operação dos processos de coagulação-floculação

FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO



Água bruta
Água coagulada

Frequência relativa



Diâmetro crítico

Diâmetro das partículas

FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO



Água bruta
Água coagulada

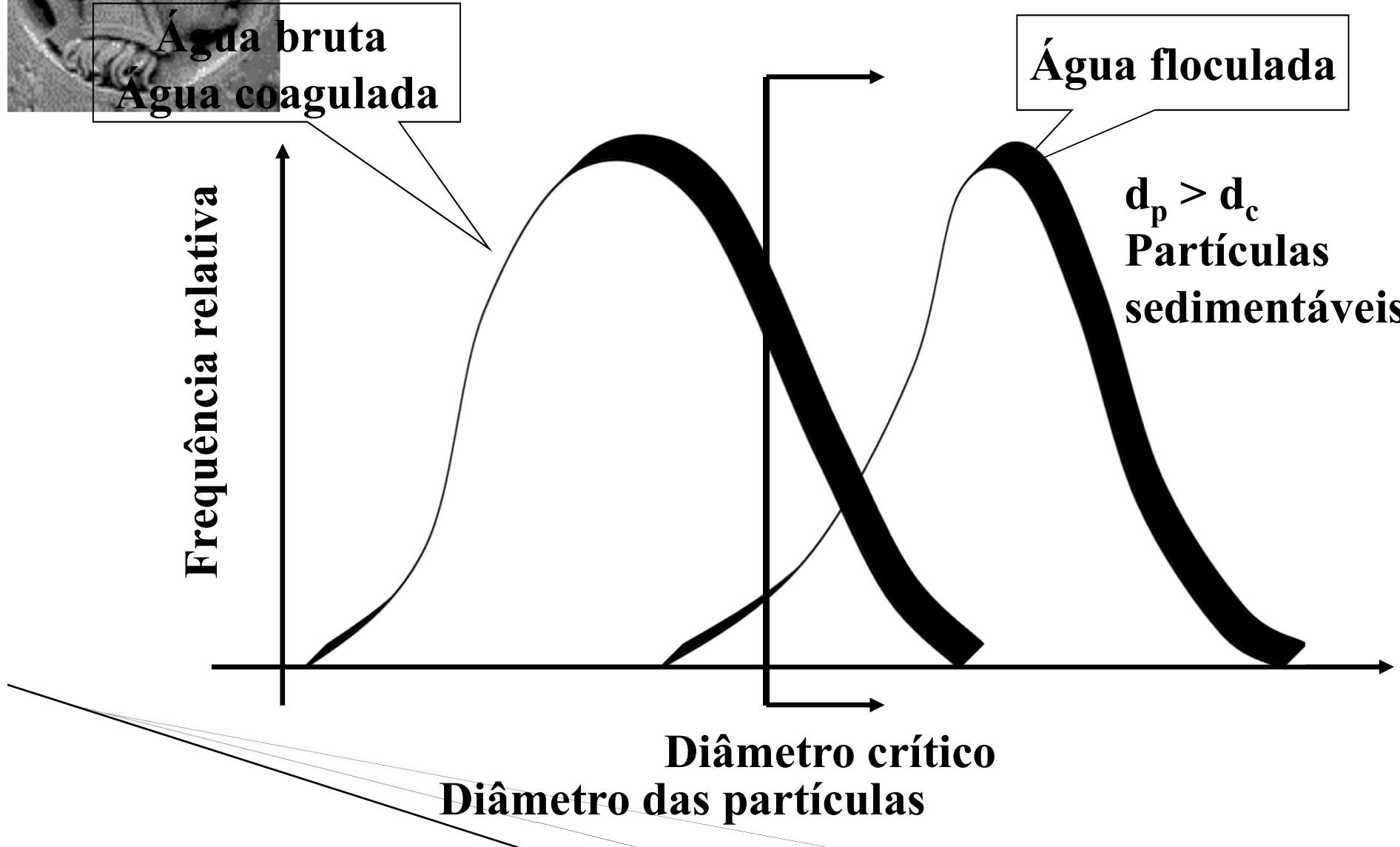
Água floculada

Frequência relativa

$d_p > d_c$
Partículas
sedimentáveis

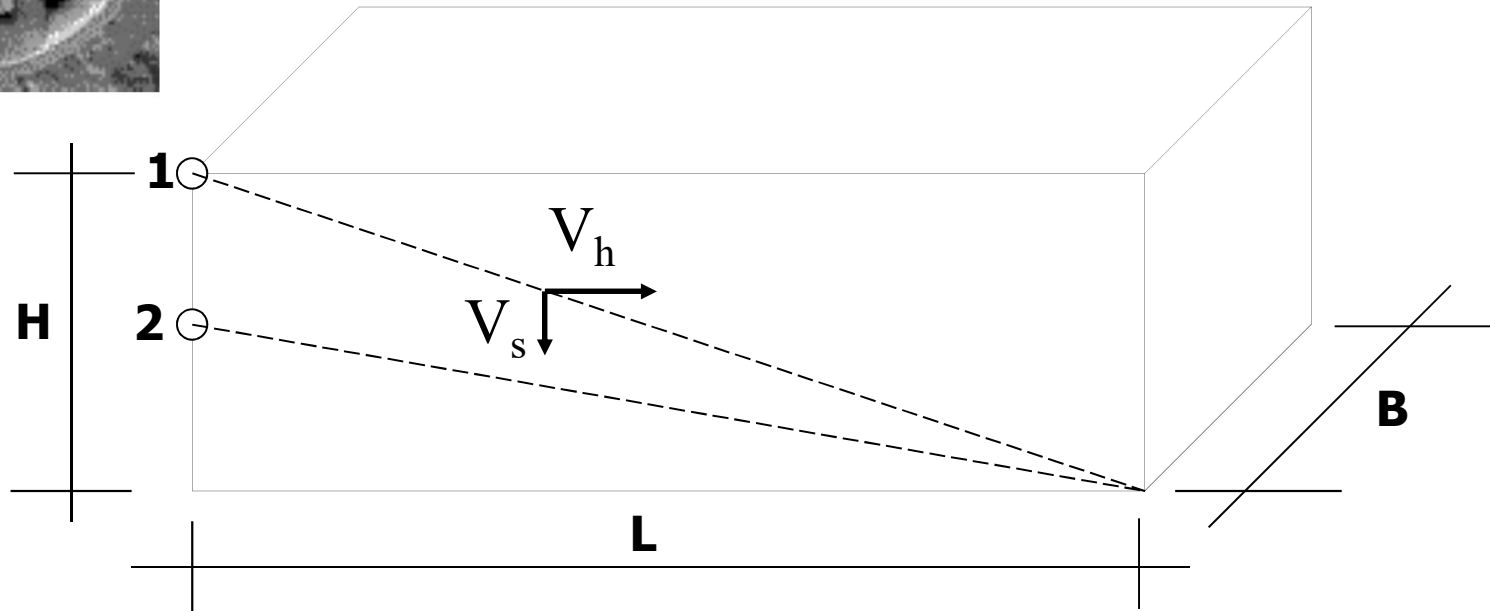
Diâmetro crítico

Diâmetro das partículas





SEDIMENTAÇÃO DISCRETA (TIPO I)

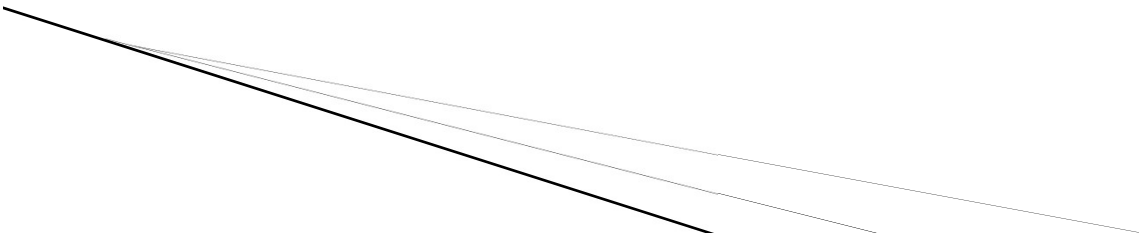
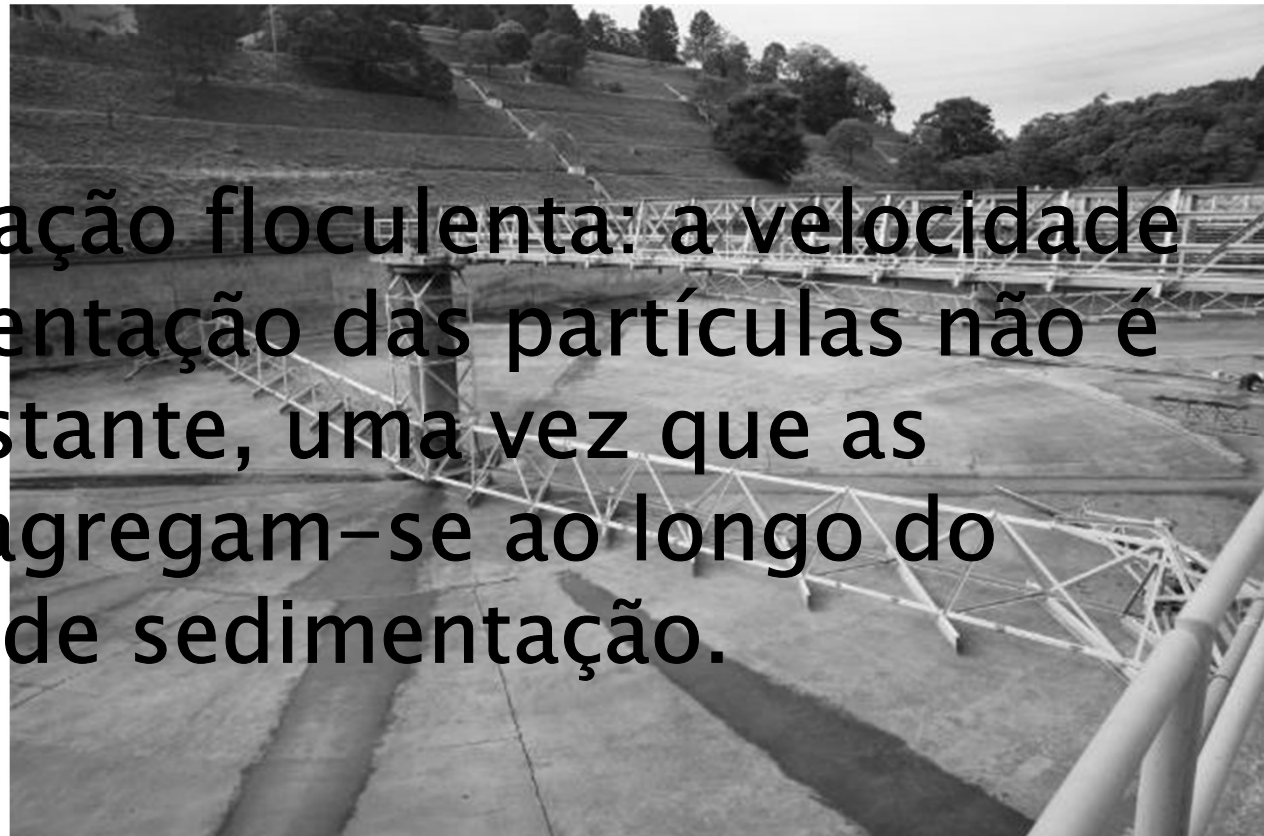


Propriedade da sedimentação discreta: A dimensão física da partícula permanece inalterada durante o seu processo de sedimentação gravitacional, o que significa dizer que a sua velocidade de sedimentação é constante.



SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA (TIPO II)

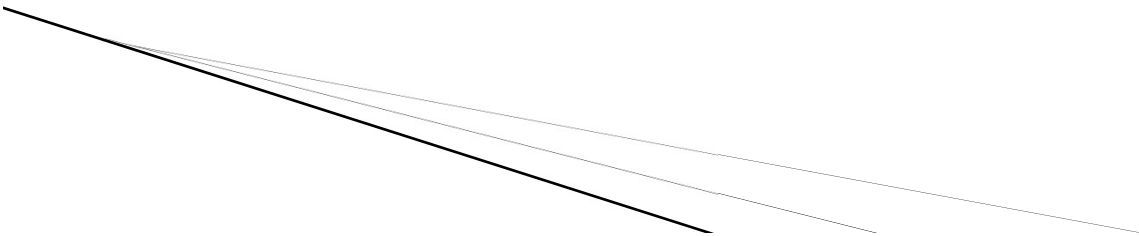
- ▶ Sedimentação floculenta: a velocidade de sedimentação das partículas não é mais constante, uma vez que as mesmas agregam-se ao longo do processo de sedimentação.





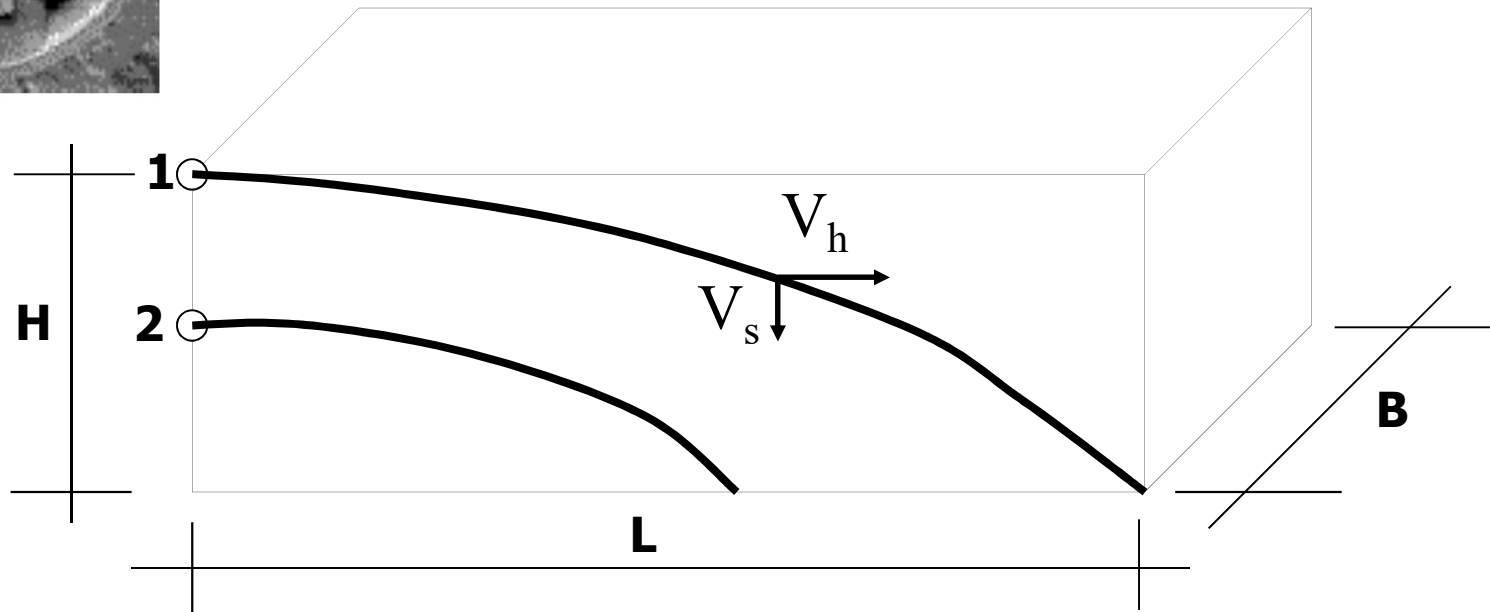
SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA (TIPO II)

- ▶ Com o aumento do diâmetro das partículas há, conseqüentemente, o aumento de sua velocidade de sedimentação ao longo da altura.





SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA (TIPO II)



Propriedade da sedimentação floculenta: A dimensão física da partícula é alterada durante o seu processo de sedimentação gravitacional (floculação por sedimentação diferencial), o que significa dizer que a sua velocidade de sedimentação é variável.



DECANTADORES CONVENCIONAIS ETA ALTO DA BOA VISTA



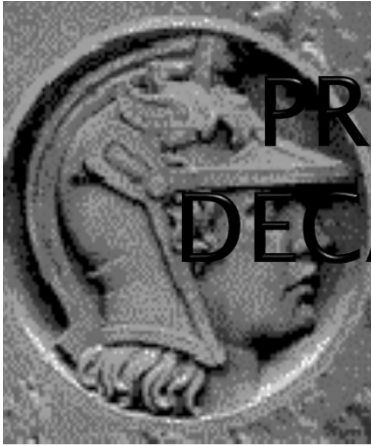
DECANTADORES CONVENCIONAIS ETA ALTO DA BOA VISTA





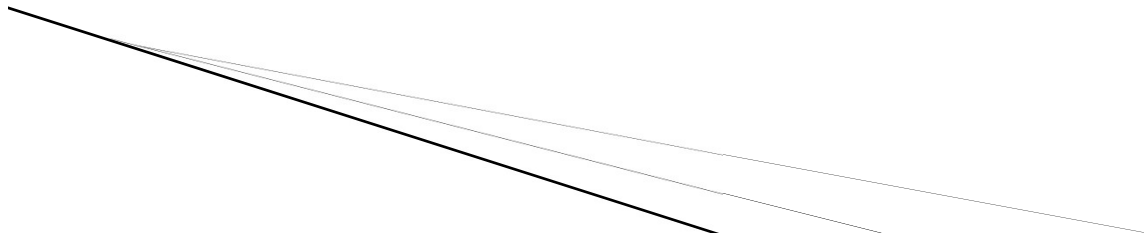
DECANTADORES CONVENCIONAIS ETA ALTO DA BOA VISTA



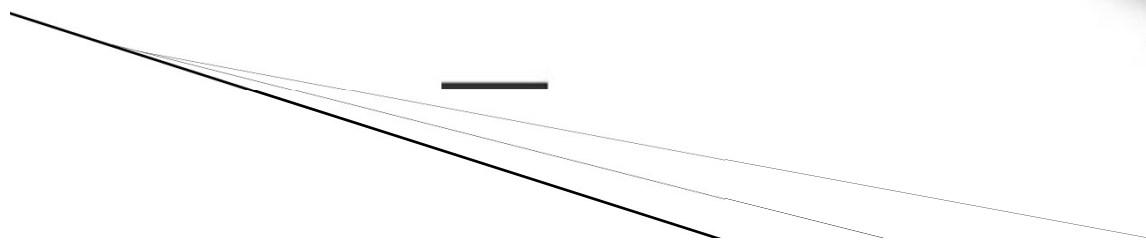
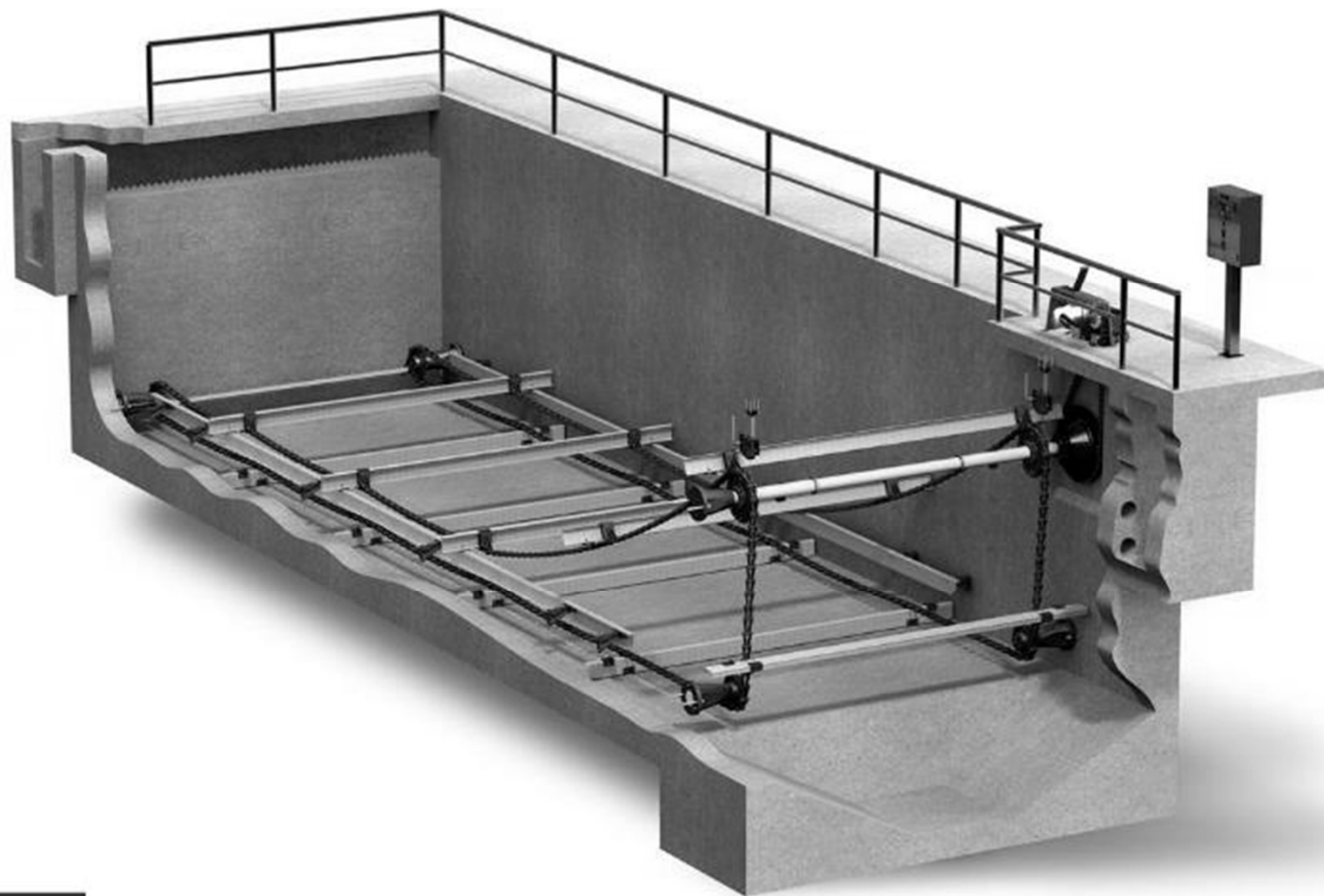


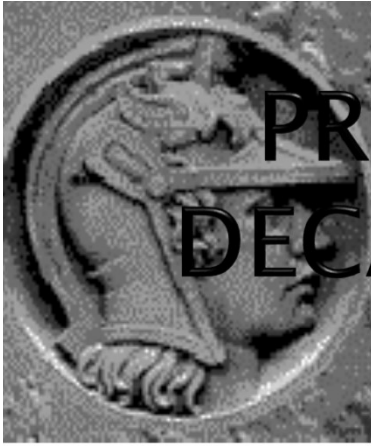
PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Vídeo - Decantadores convencionais (ETA Guaraú)
- ▶ Vídeo - Decantadores convencionais (ETA ABV)
- ▶ Vídeo - Decantadores convencionais (ETA 3 - Sanasa)

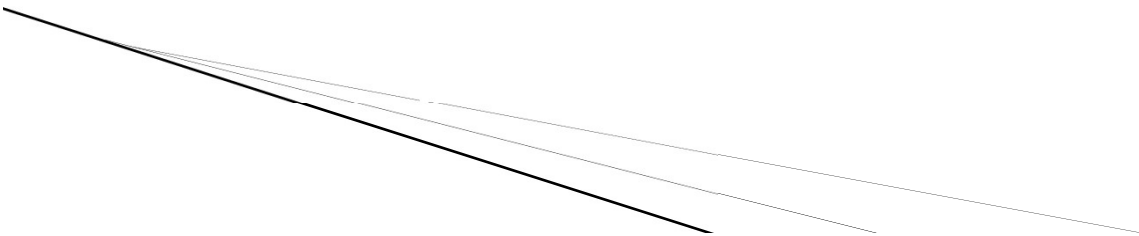
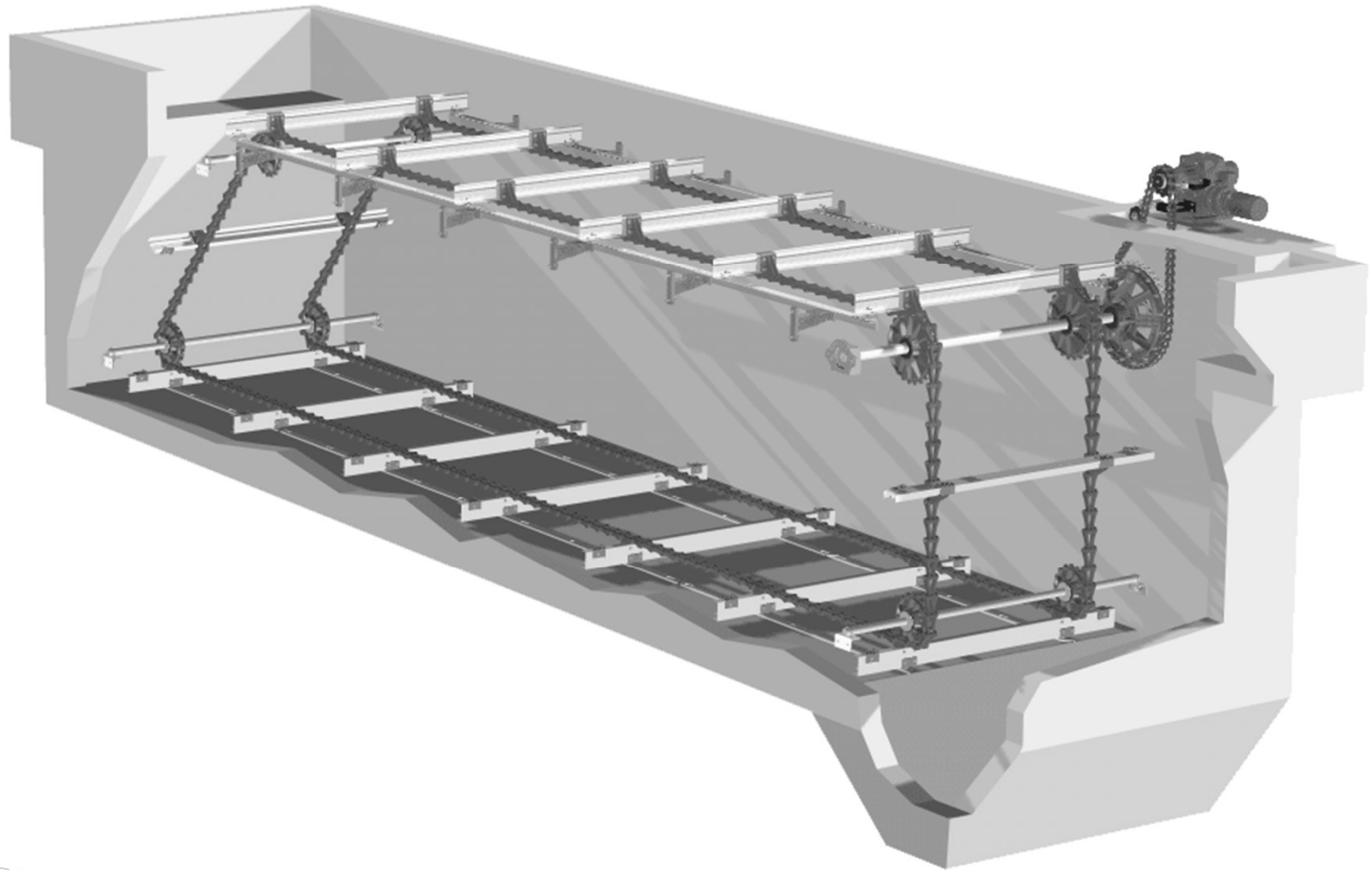


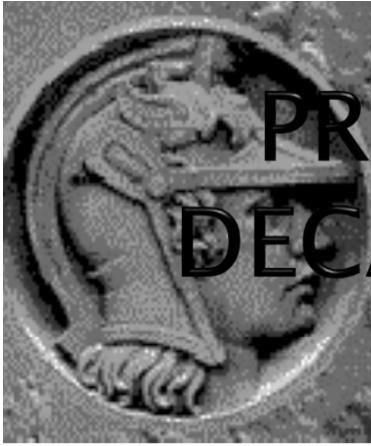
PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS



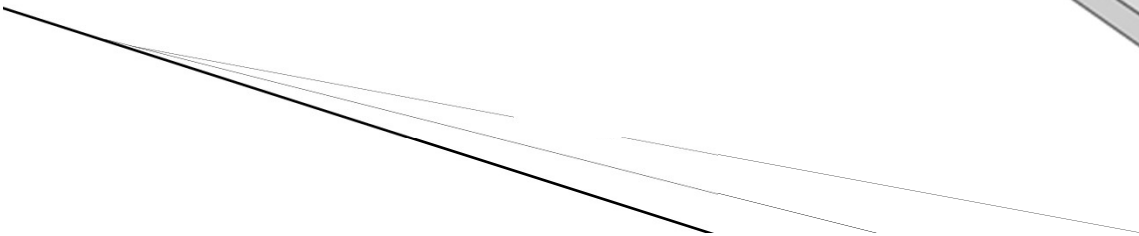
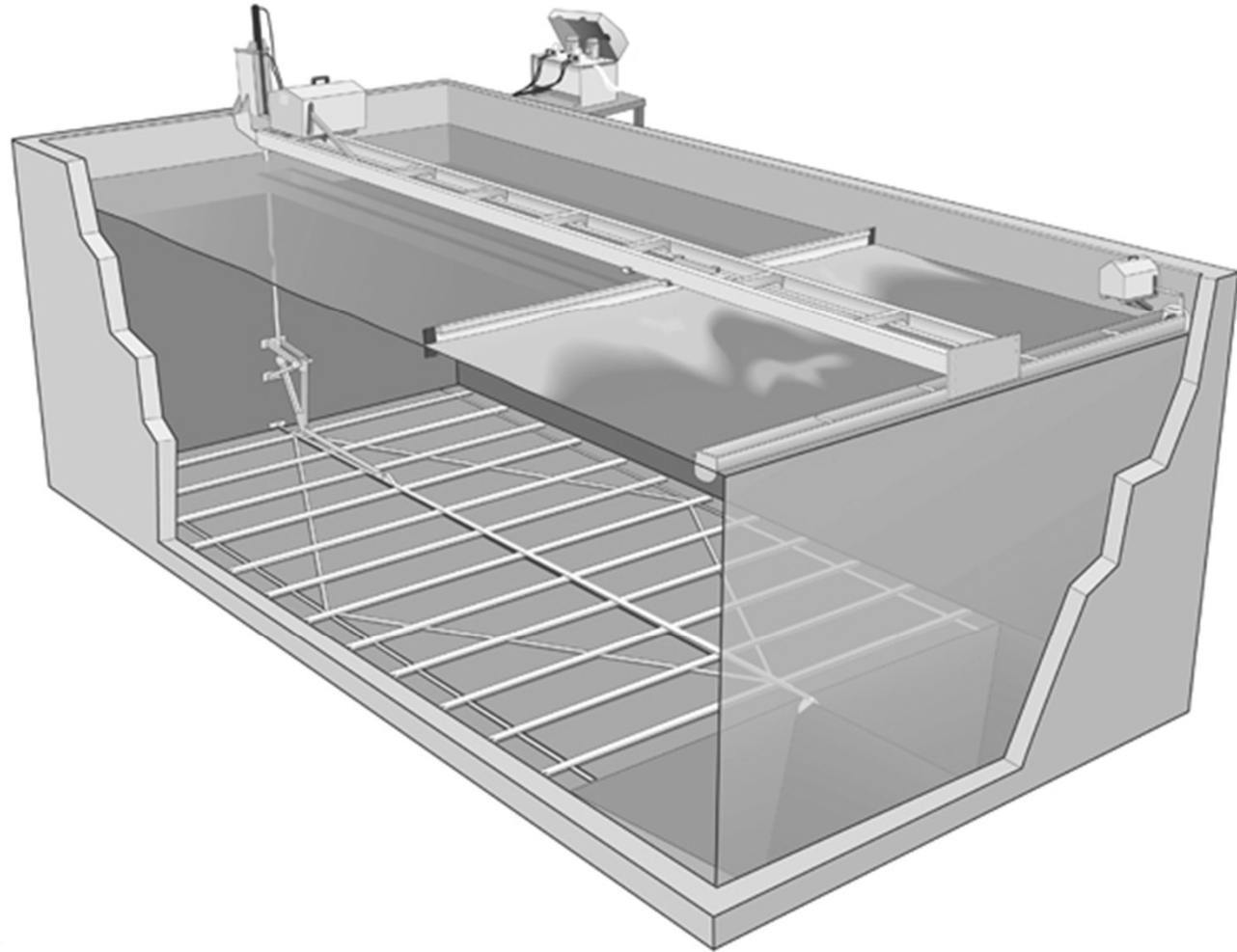


PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS

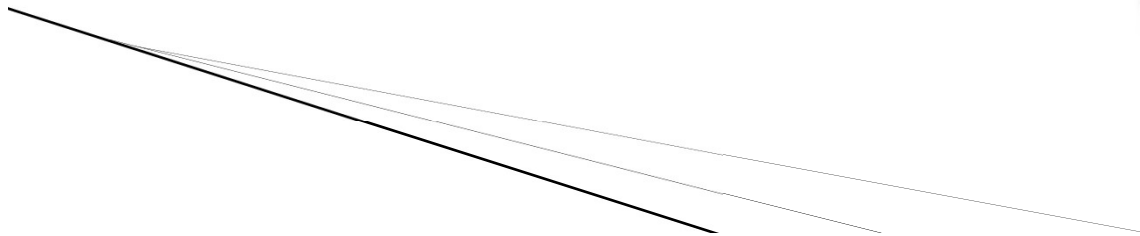
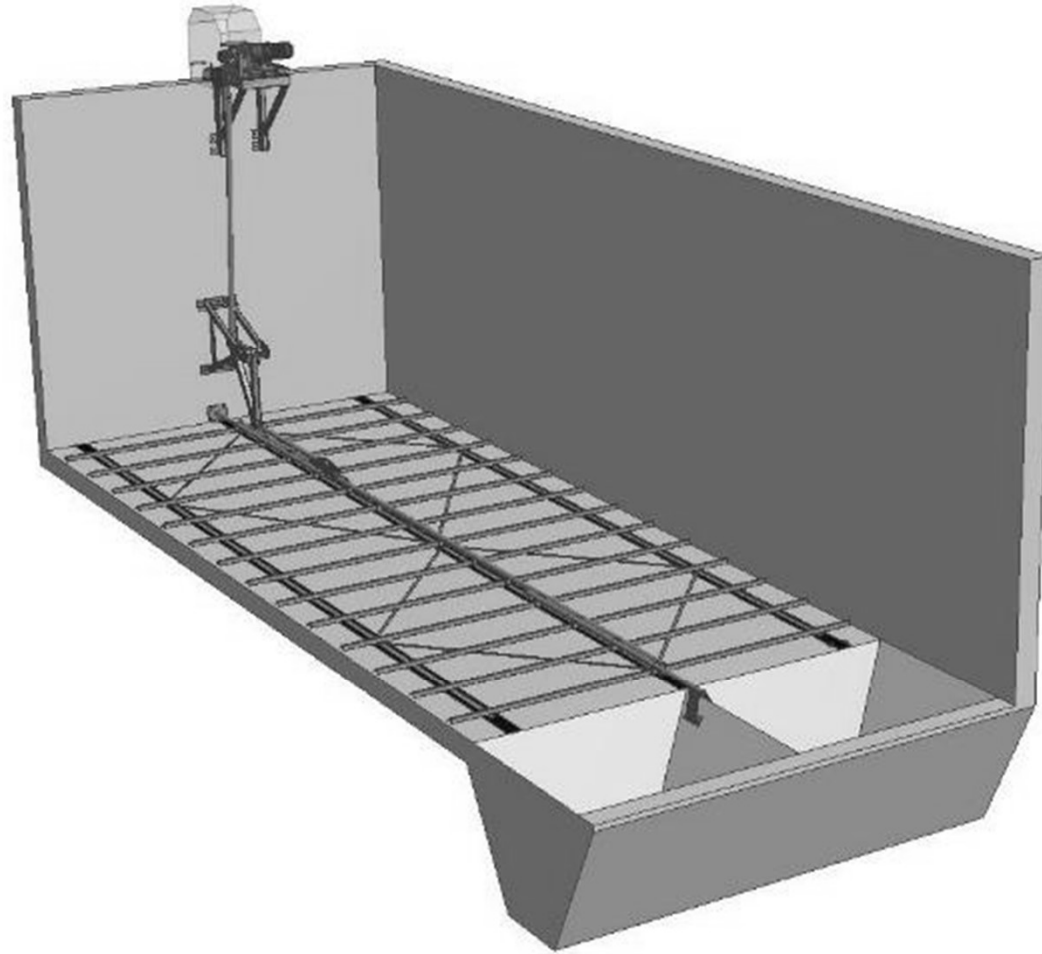
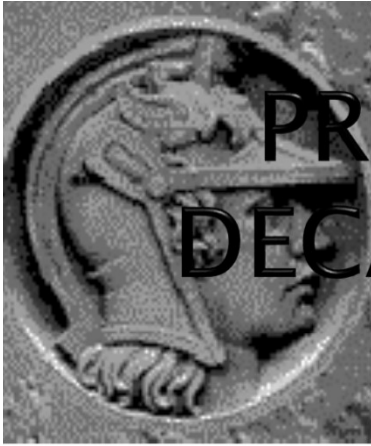




PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS



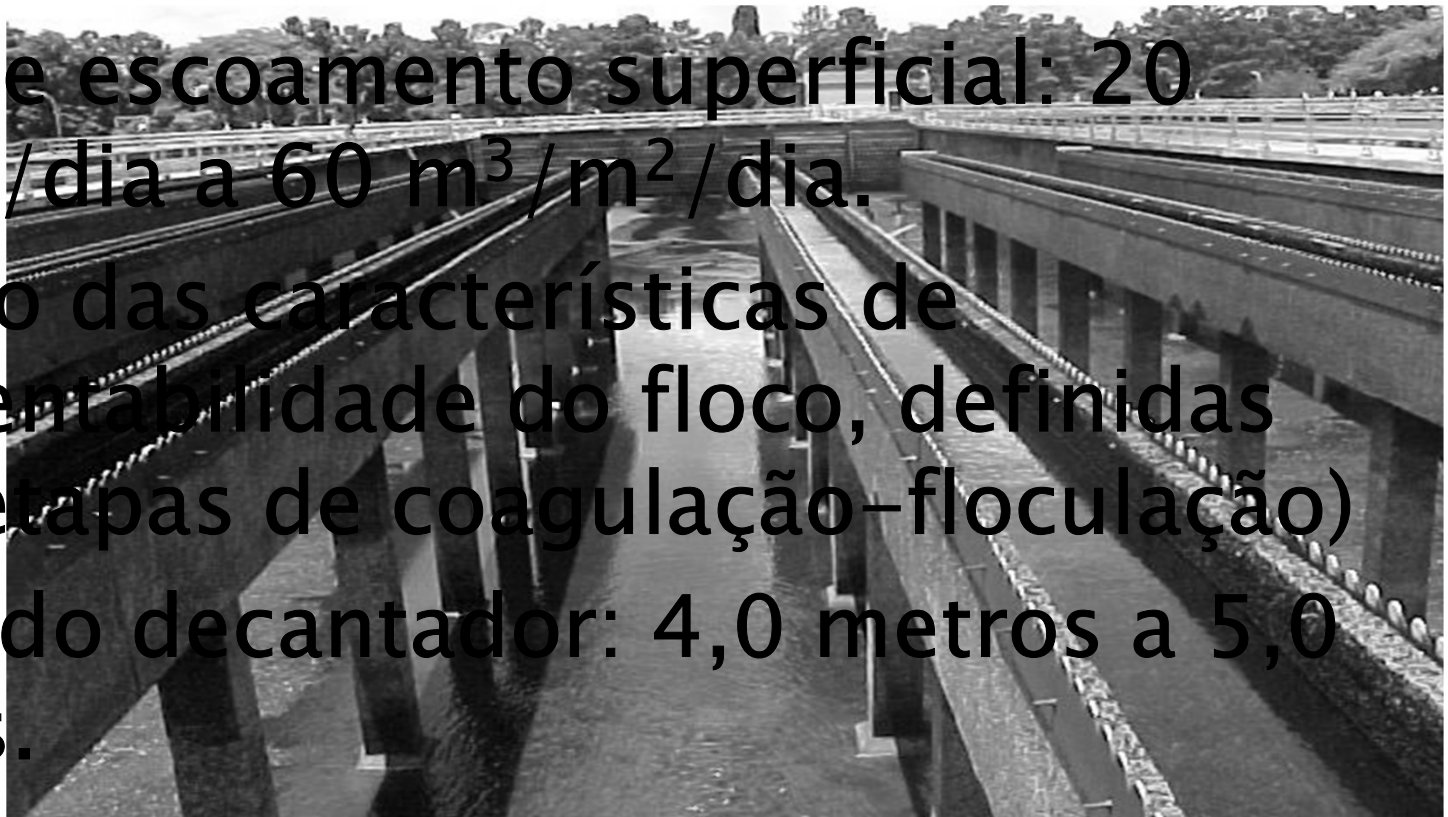
PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS





DECANTADORES CONVENCIONAIS PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Taxa de escoamento superficial: 20 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ a 60 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.
- ▶ (Função das características de sedimentabilidade do floco, definidas pelas etapas de coagulação–floculação)
- ▶ Altura do decantador: 4,0 metros a 5,0 metros.





DECANTADORES CONVENCIONAIS

PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Relação Comprimento/Largura ≥ 3
- ▶ Taxa de escoamento linear (vertedor) $\leq 2,5 \text{ L/s/m}$
- ▶ $Re \leq 20.000$ (Verificação)
- ▶ $Fr \geq 10^{-5}$



$$V \cdot R \cdot \rho$$

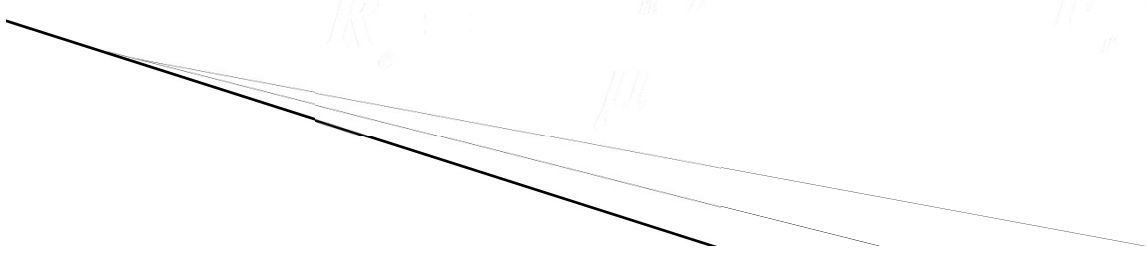
$$V^2$$

$$R \cdot \rho$$

$$\mu$$

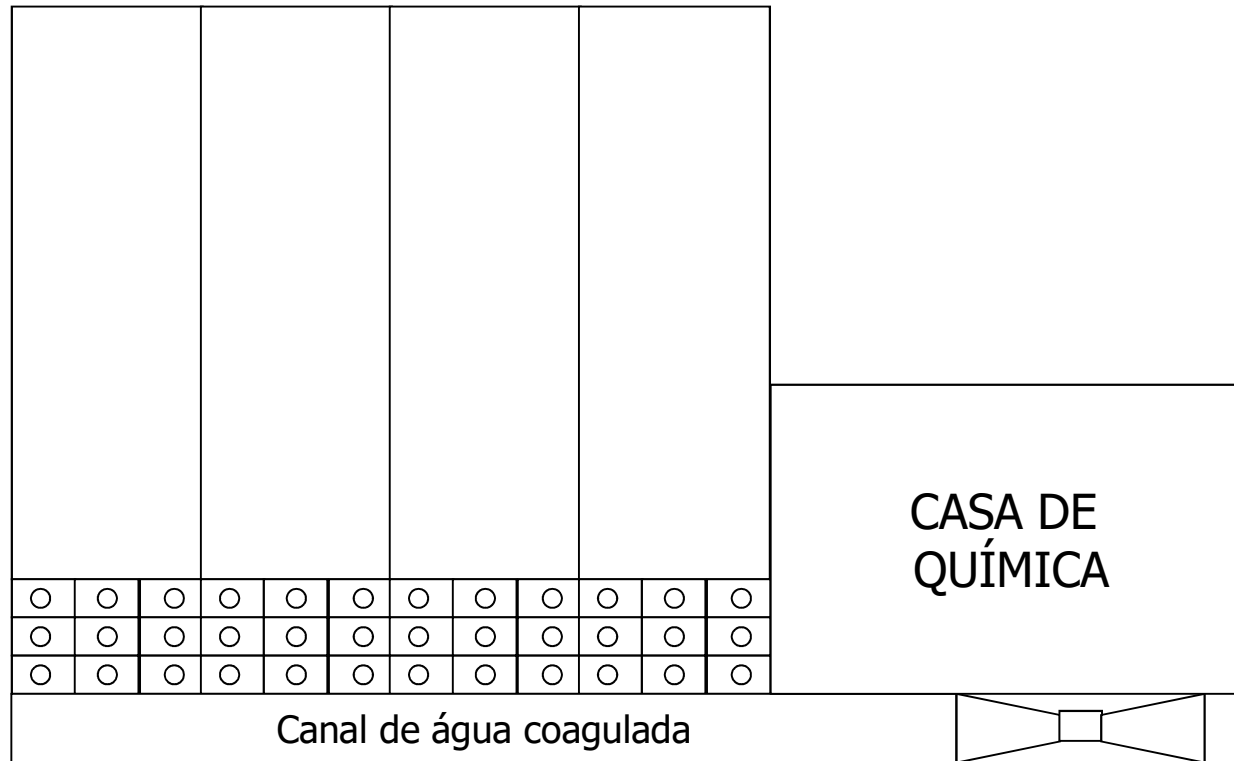
$$F$$

$$g \cdot R$$



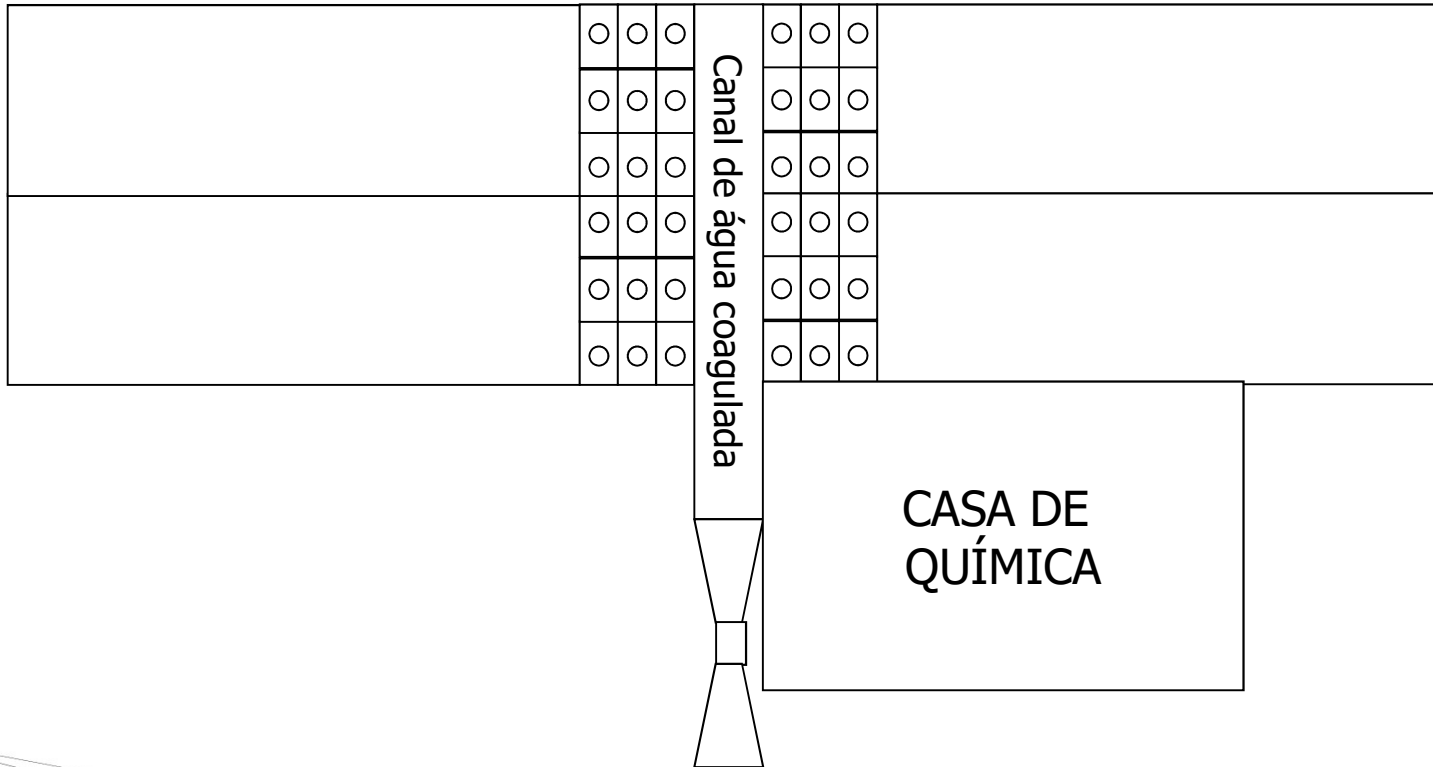


LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES



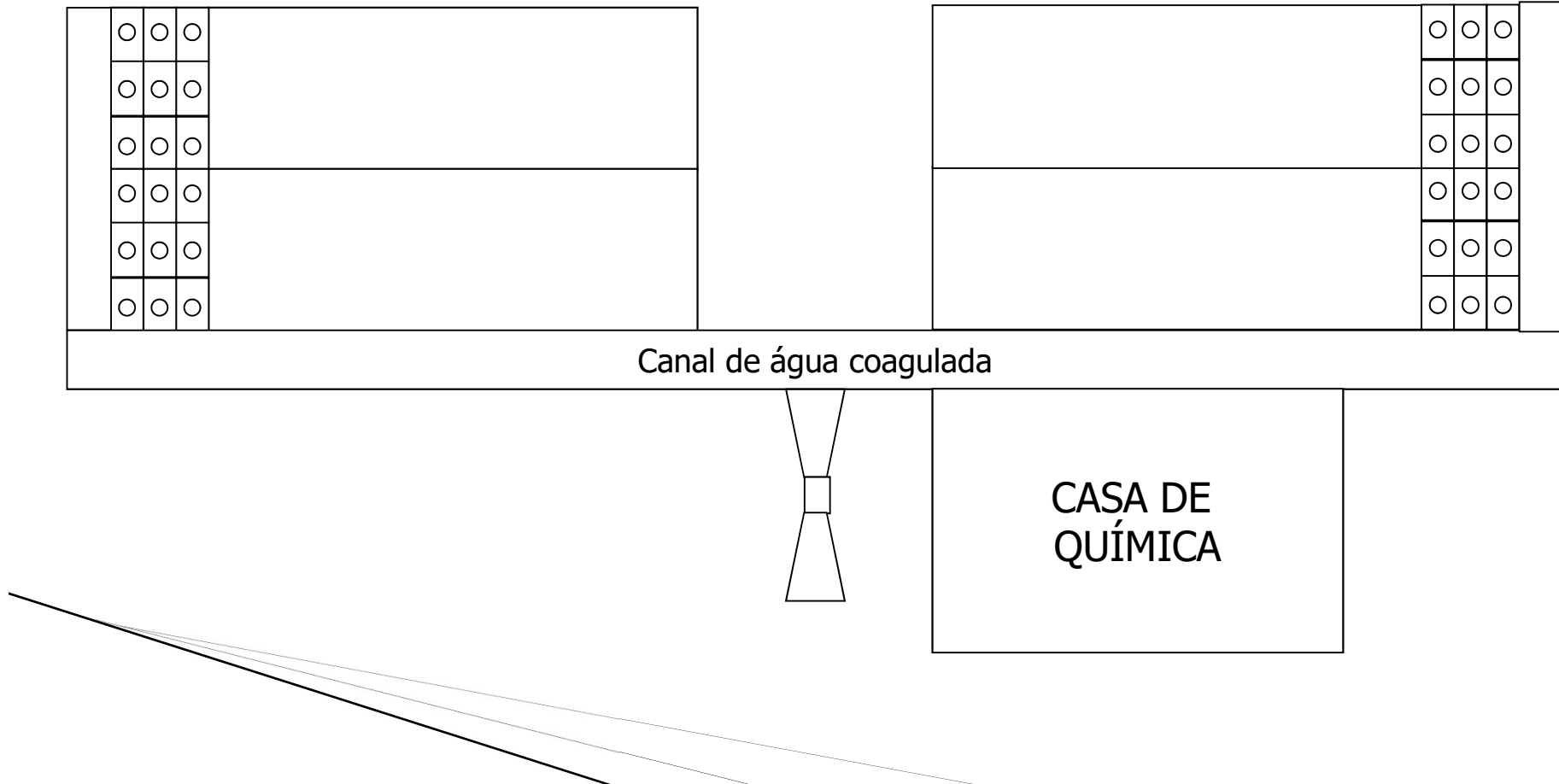


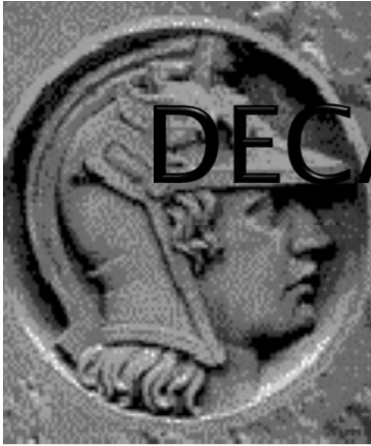
LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES



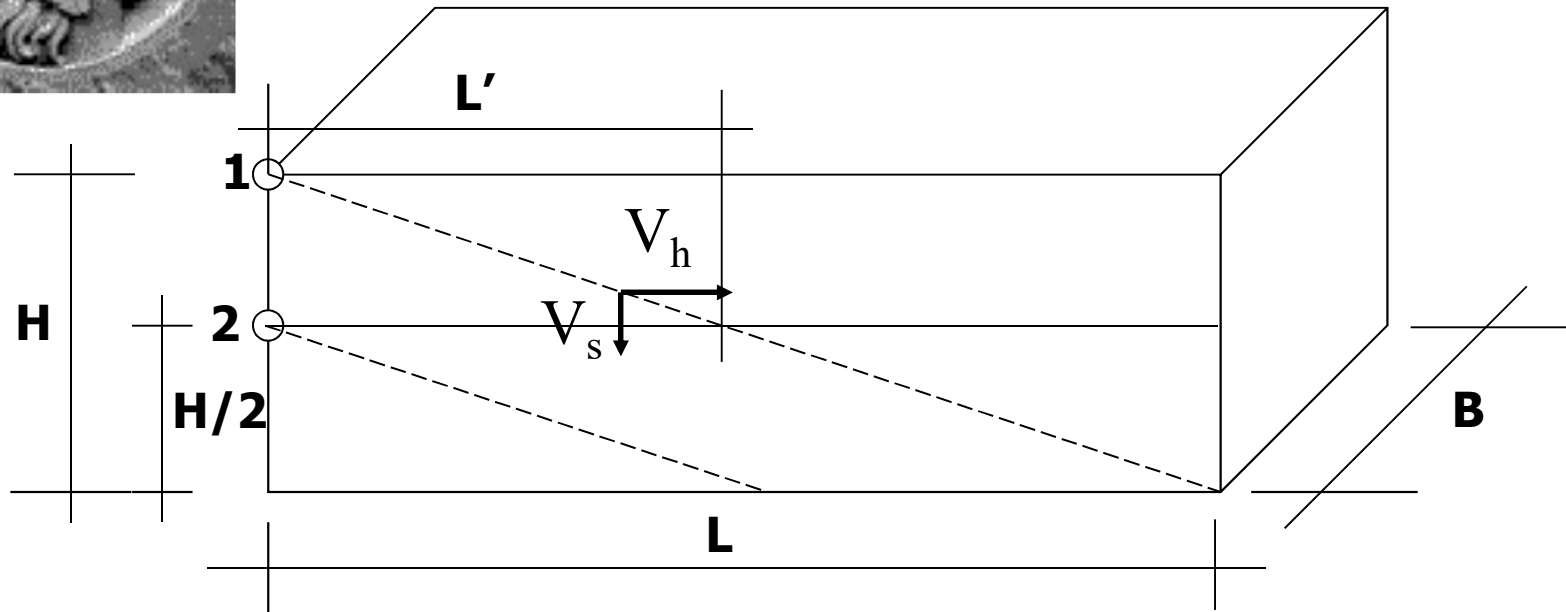


LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES

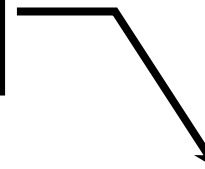




DECANTADORES DE ALTA TAXA



02 canais

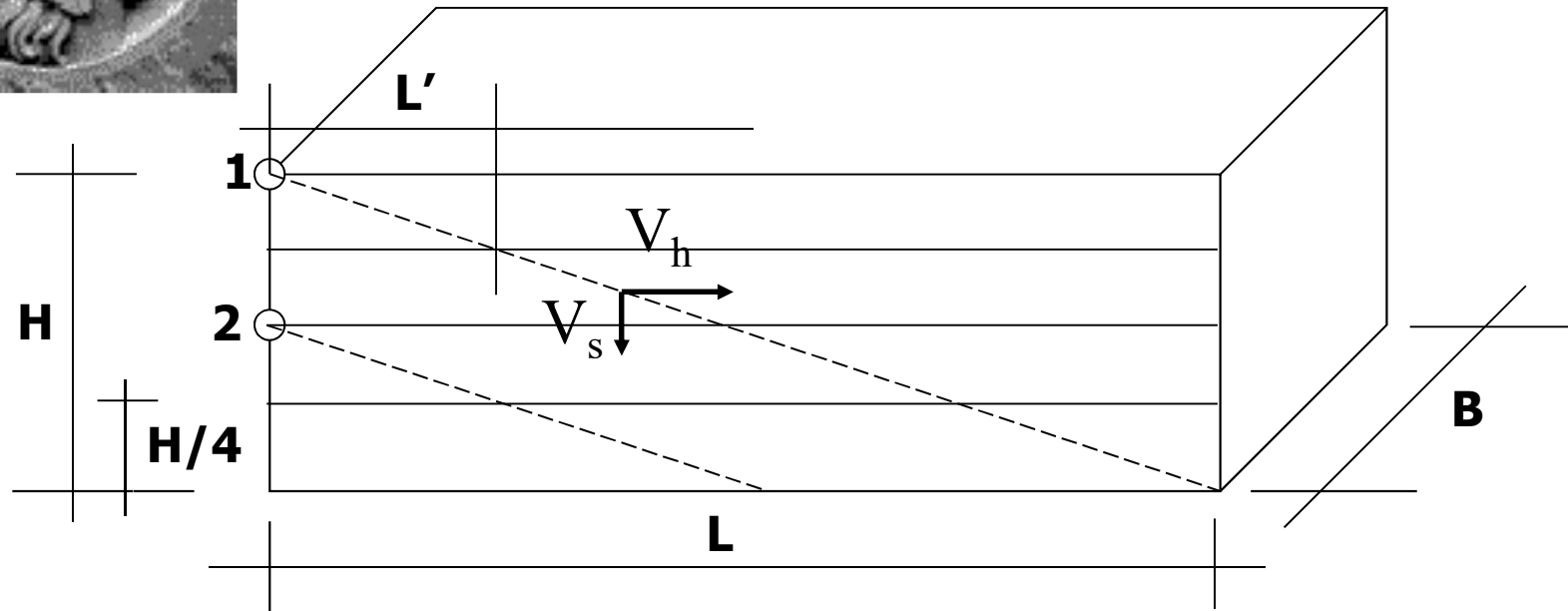


Handwritten notes in the bottom left corner:
 $V_s = V_h \cdot \frac{H}{L}$
 $V_h = V_s \cdot \frac{L}{H}$

Handwritten notes in the bottom right corner:
 $V_s = V_h \cdot \frac{H}{L}$
 $V_h = V_s \cdot \frac{L}{H}$

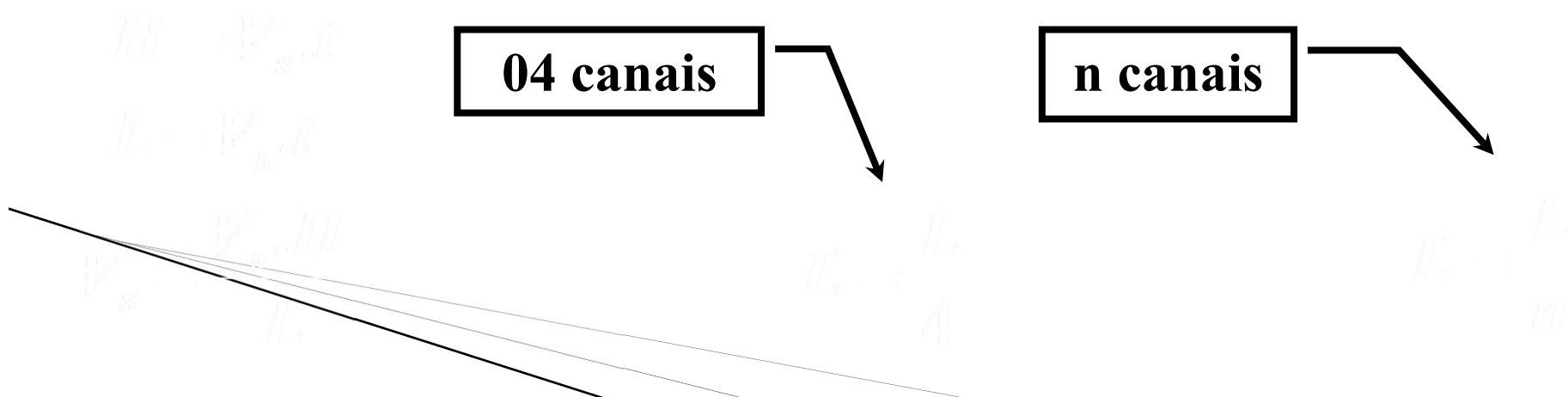


DECANTADORES DE ALTA TAXA



04 canais

n canais

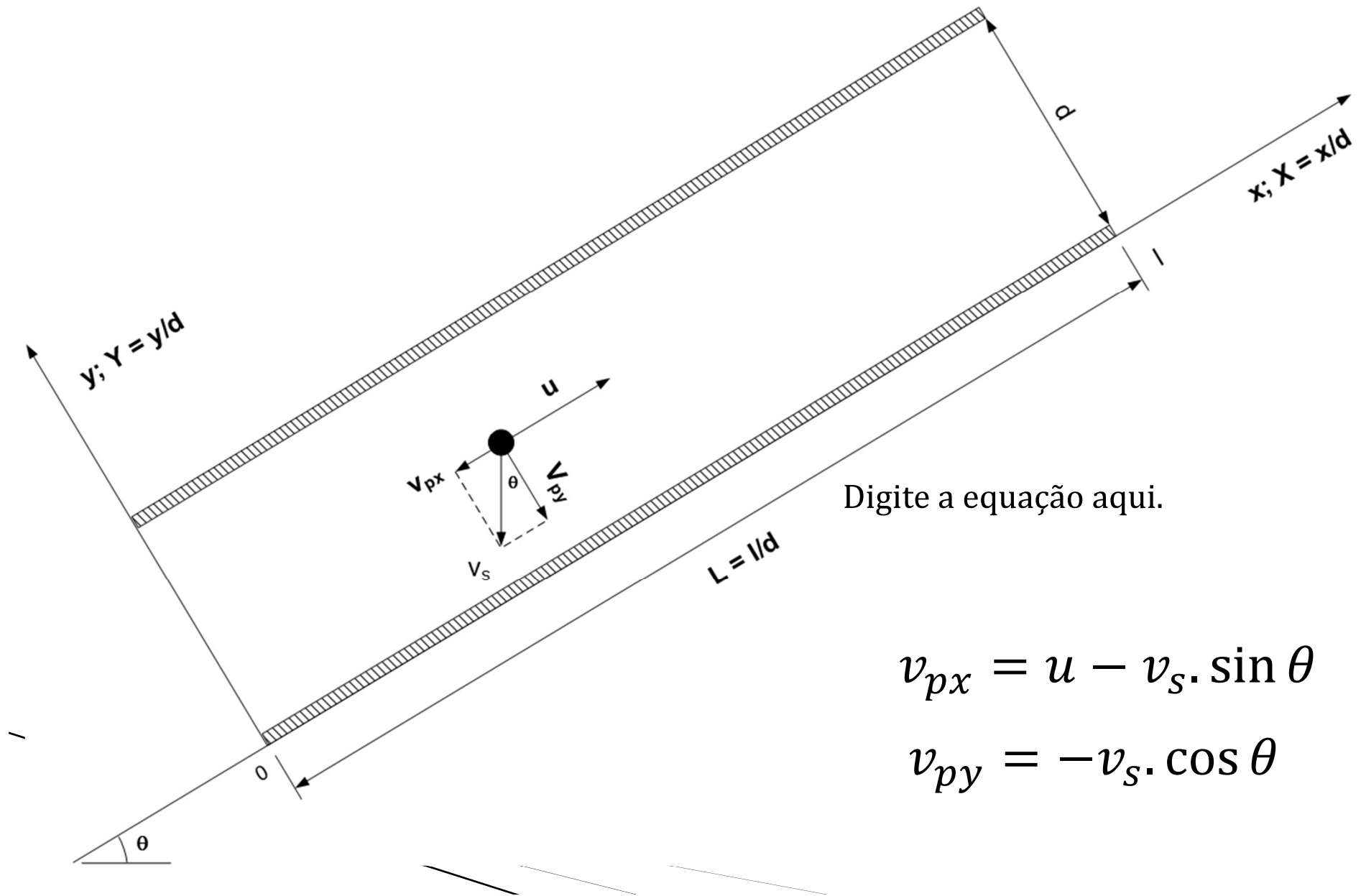




Teoria dos Decantadores Lamelares ou de Alta Taxa

- ▶ 1970 → Yao fez um estudo teórico sobre os decantadores de alta taxa;
- ▶ Baseado na taxa de aplicação superficial, amplamente utilizada para dimensionamento de decantadores convencionais;
- ▶ O desenvolvimento teórico considera escoamento laminar.

Estudo Teórico dos Decantadores de Alta Taxa



Digite a equação aqui.

$$v_{px} = u - v_s \cdot \sin \theta$$

$$v_{py} = -v_s \cdot \cos \theta$$



Estudo Teórico dos Decantadores de Alta Taxa

- ▶ Para que a partícula seja removida, o tempo para o deslocamento na direção x deve ser igual para o deslocamento na direção y ;
- ▶ Desta forma, a equação diferencial para a trajetória da partícula é:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-v_s \cdot \cos \theta}{u - v_s \cdot \text{sen} \theta} \quad (1)$$



Estudo Teórico dos Decantadores de Alta Taxa

- ▶ Integrando-se a equação (1):

$$\int_0^y (u - v_s \cdot \text{sen} \theta) dy = \int_0^x (-v_s \cdot \text{cos} \theta) dx$$

$$\int_0^y u \cdot dy - v_s \cdot y \cdot \text{sen} \theta + v_s \cdot x \cdot \text{cos} \theta = C_0 \quad (2)$$

- Dividindo-se a equação (2) por "d" e por v_0 (velocidade média através do módulo):

$$\int_0^Y \frac{u}{v_0} \cdot dY - \frac{v_s}{v_0} \cdot Y \cdot \text{sen} \theta + \frac{v_s}{v_0} \cdot X \cdot \text{cos} \theta = C_1 \quad (3)$$



Estudo Teórico dos Decantadores de Alta Taxa

- ▶ Para as condições limites, tem-se:
 - $v_s = v_{cs}$ (velocidade crítica de sedimentação);
 - $X = L \rightarrow Y = 0$ (4);
 - $X = 0 \rightarrow Y = 1$ (5), pois $y = d$;
 - $L = l/d$
- ▶ Resolvendo-se a equação (3) para a condição (4):

$$\left(\int \frac{u}{v_0} dY \right)_{Y=0} + \frac{v_{cs}}{v_0} . L . \cos \theta = C_1$$

$$\left(\int \frac{u}{v_0} dY \right)_{Y=0} = 0, \text{ pois } u = 0, \text{ próximo à parede.}$$

$$C_1 = \frac{v_{cs}}{v_0} . L . \cos \theta \quad (6)$$



Estudo Teórico dos Decantadores de Alta Taxa

- ▶ Substituindo-se o valor de C_1 na equação (3) e resolvendo-se para a condição (5), tem-se:

$$\left(\int \frac{u}{v_0} dY \right)_{Y=1} - \frac{v_{cs}}{v_0} \cdot Y \cdot \text{sen} \theta + \frac{v_{cs}}{v_0} \cdot X \cdot \text{cos} \theta = \frac{v_{cs}}{v_0} \cdot L \cdot \text{cos} \theta$$
$$\left(\int \frac{u}{v_0} dY \right)_{Y=1} = \frac{v_{cs}}{v_0} (L \cdot \text{cos} \theta + \text{sen} \theta)$$
$$\left(\int \frac{u}{v_0} dY \right)_{Y=1} = Sc; \text{ depende da forma do decantador}$$
$$v_{cs} = \frac{Sc \cdot v_0}{\text{sen} \theta + L \cdot \text{cos} \theta} \quad (7)$$

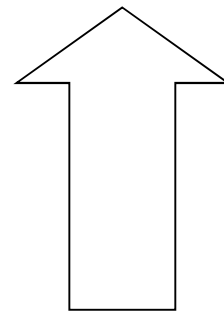
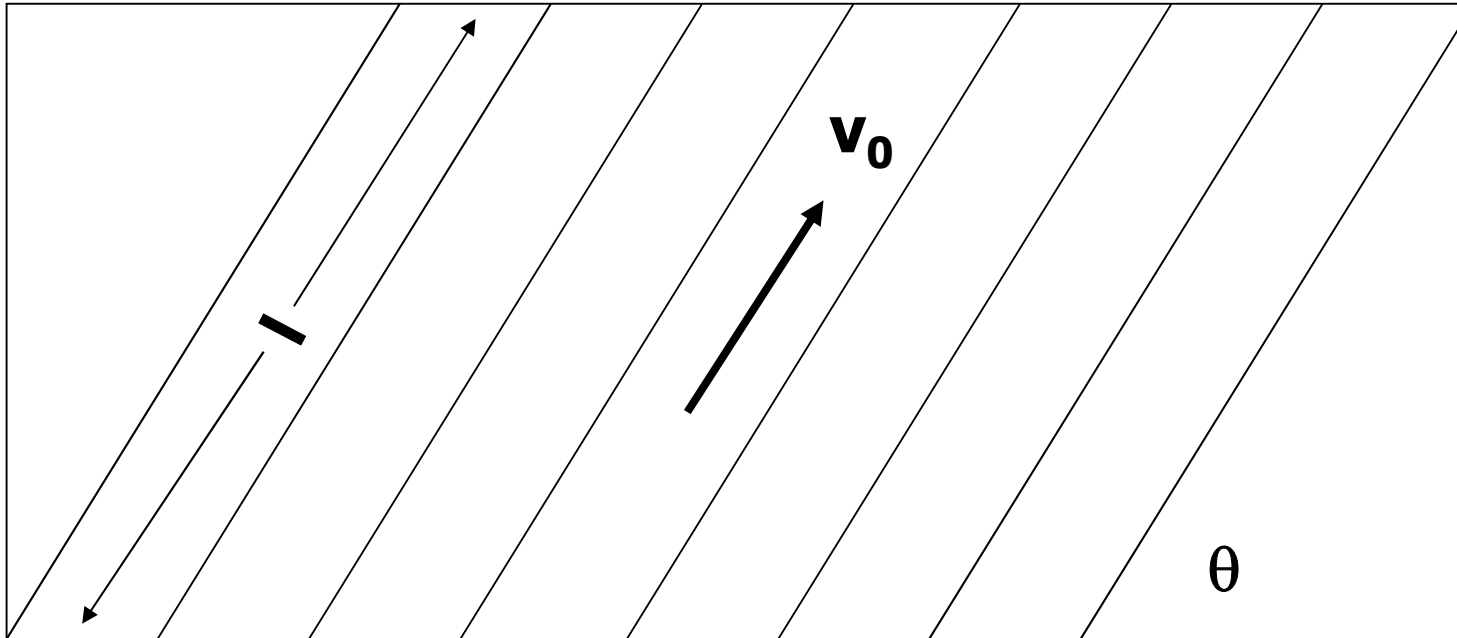


Valores de S_c em função da configuração geométrica do Sedimentador

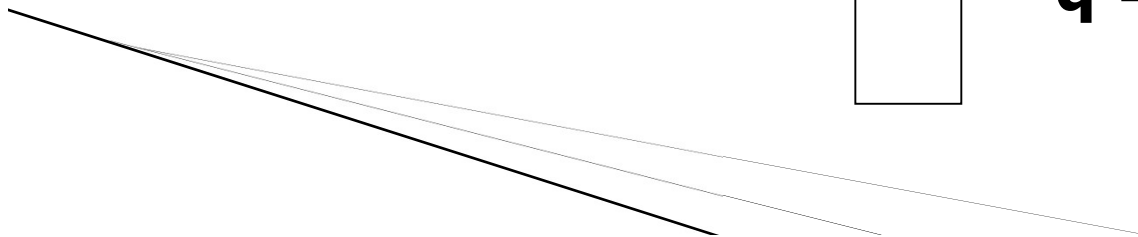
Tipo do Sedimentador	Valor de S_c
Circular	4 / 3
Placas paralelas	1
Quadrado	11 / 8
Retangular	1

Fonte: Kuan M. Yao, 1973

Taxa de Aplicação Aparente

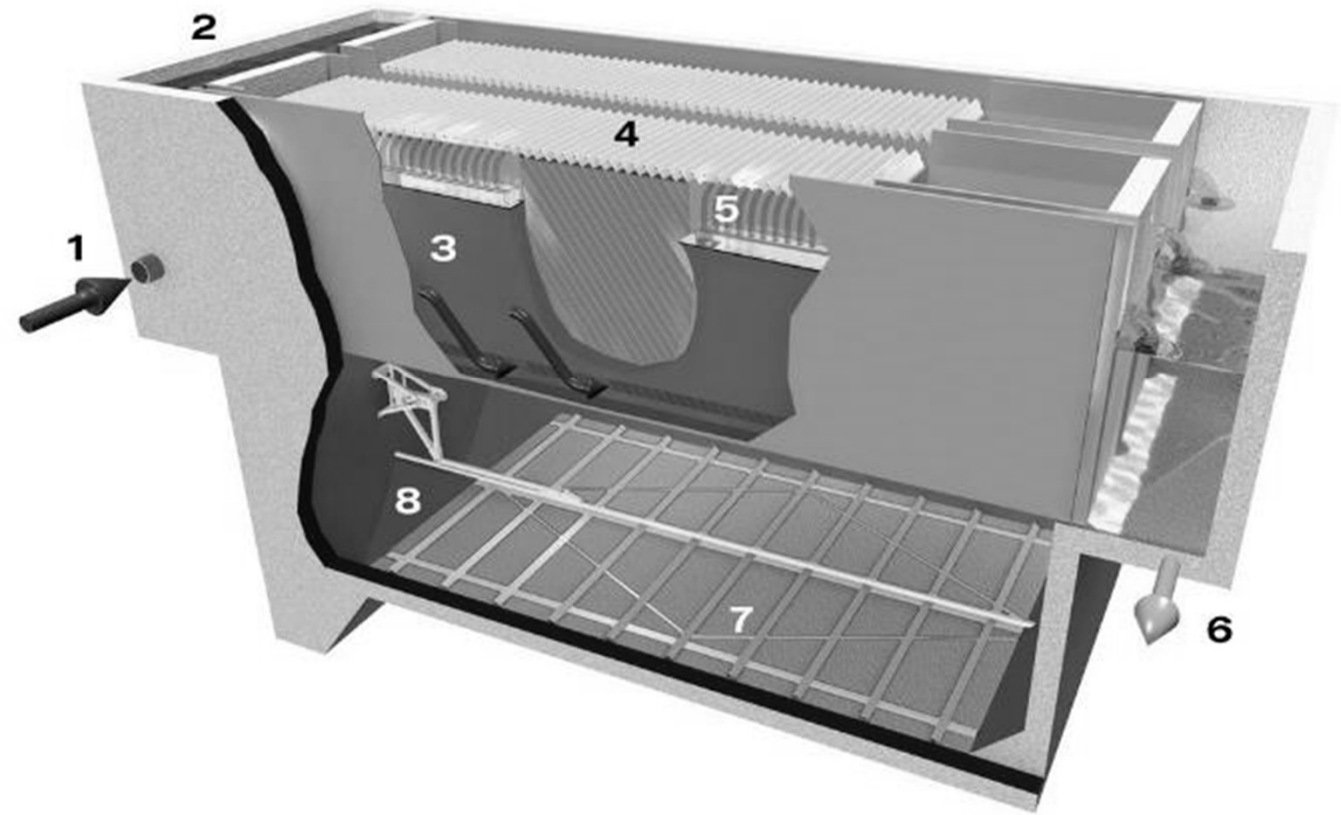


$$q = Q / A_{Tu} = v_0 \cdot \text{sen } \theta$$

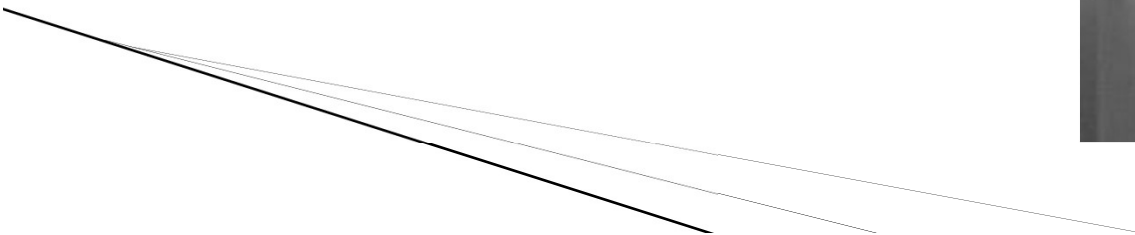
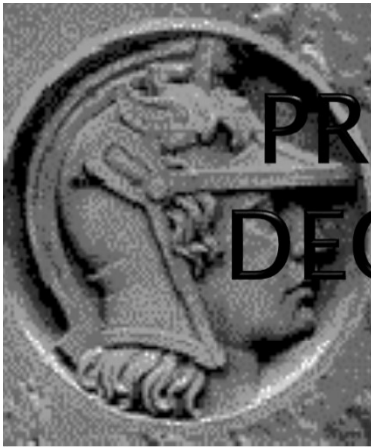


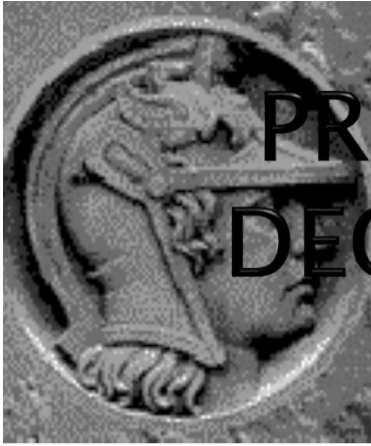


PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA

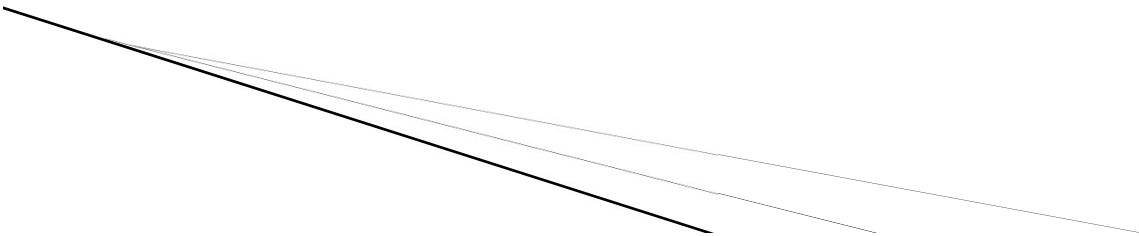
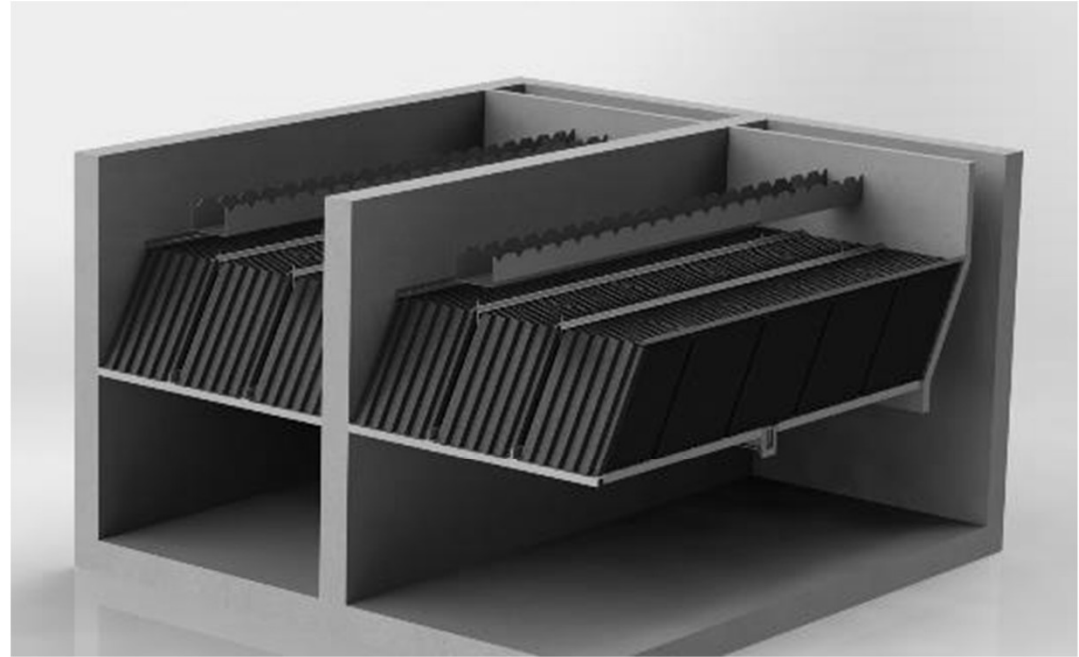
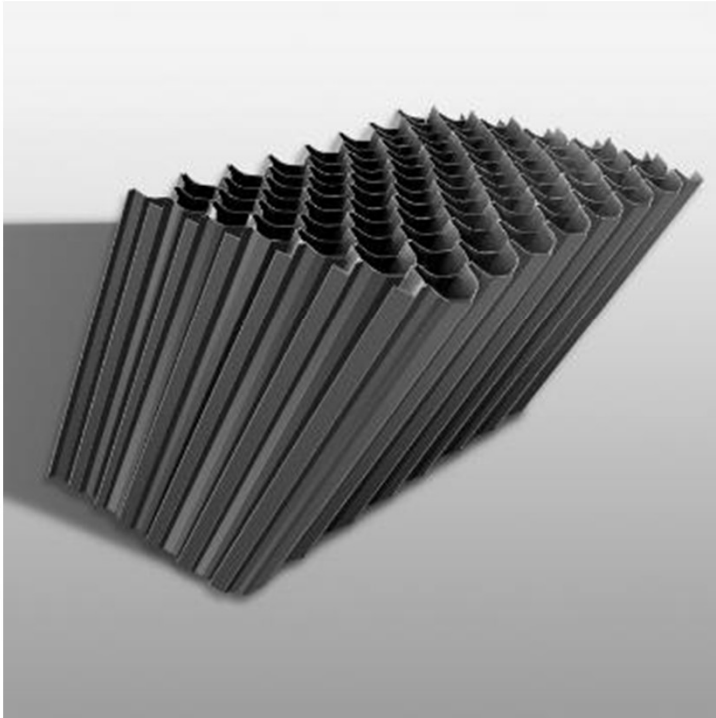


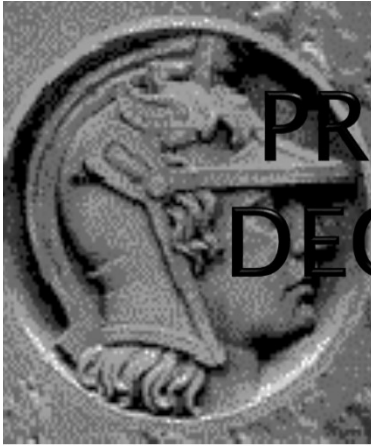
PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA



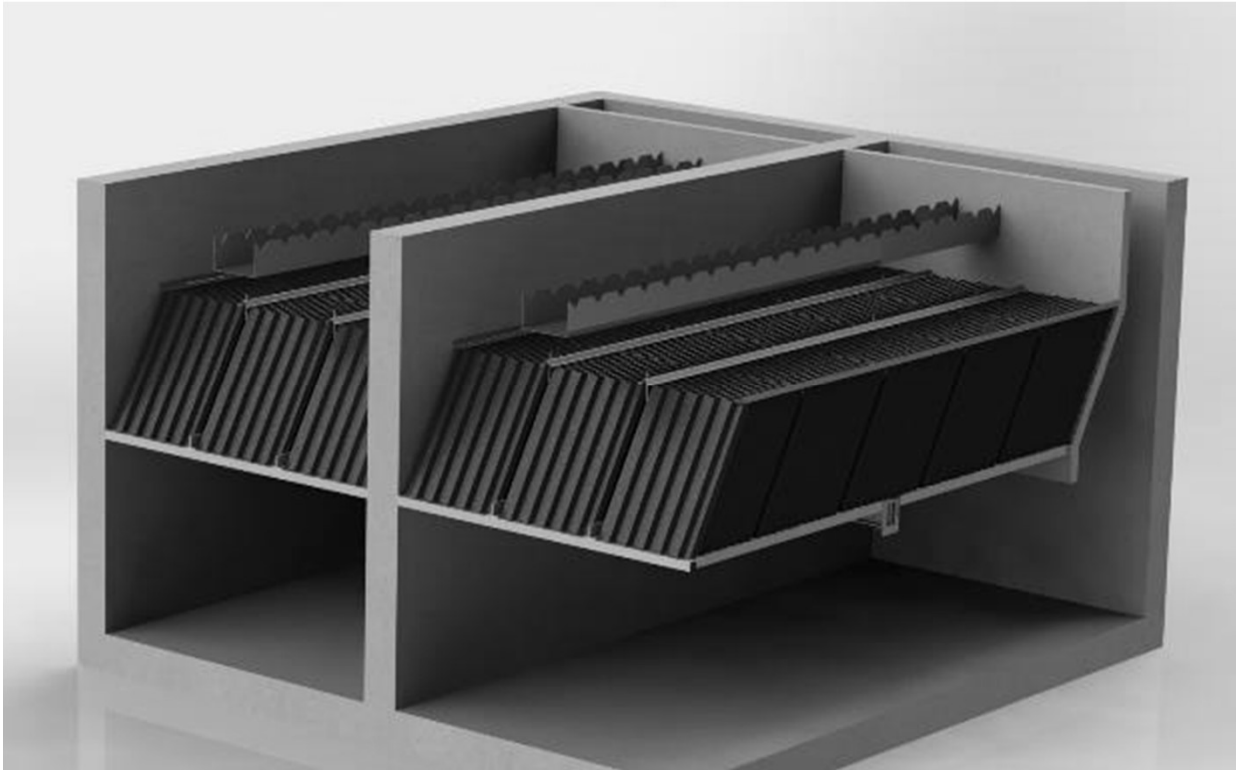


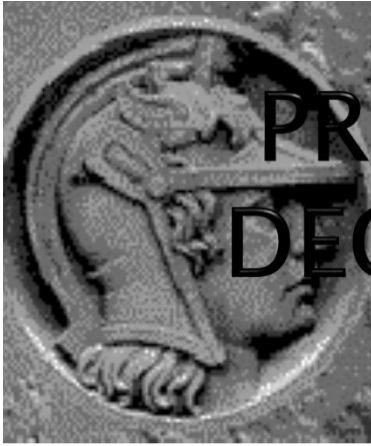
PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA



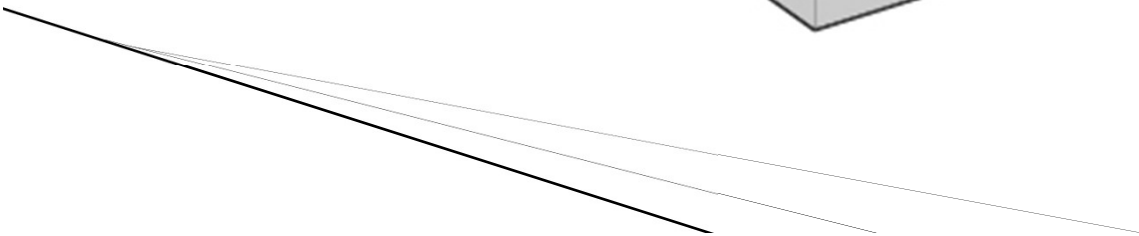
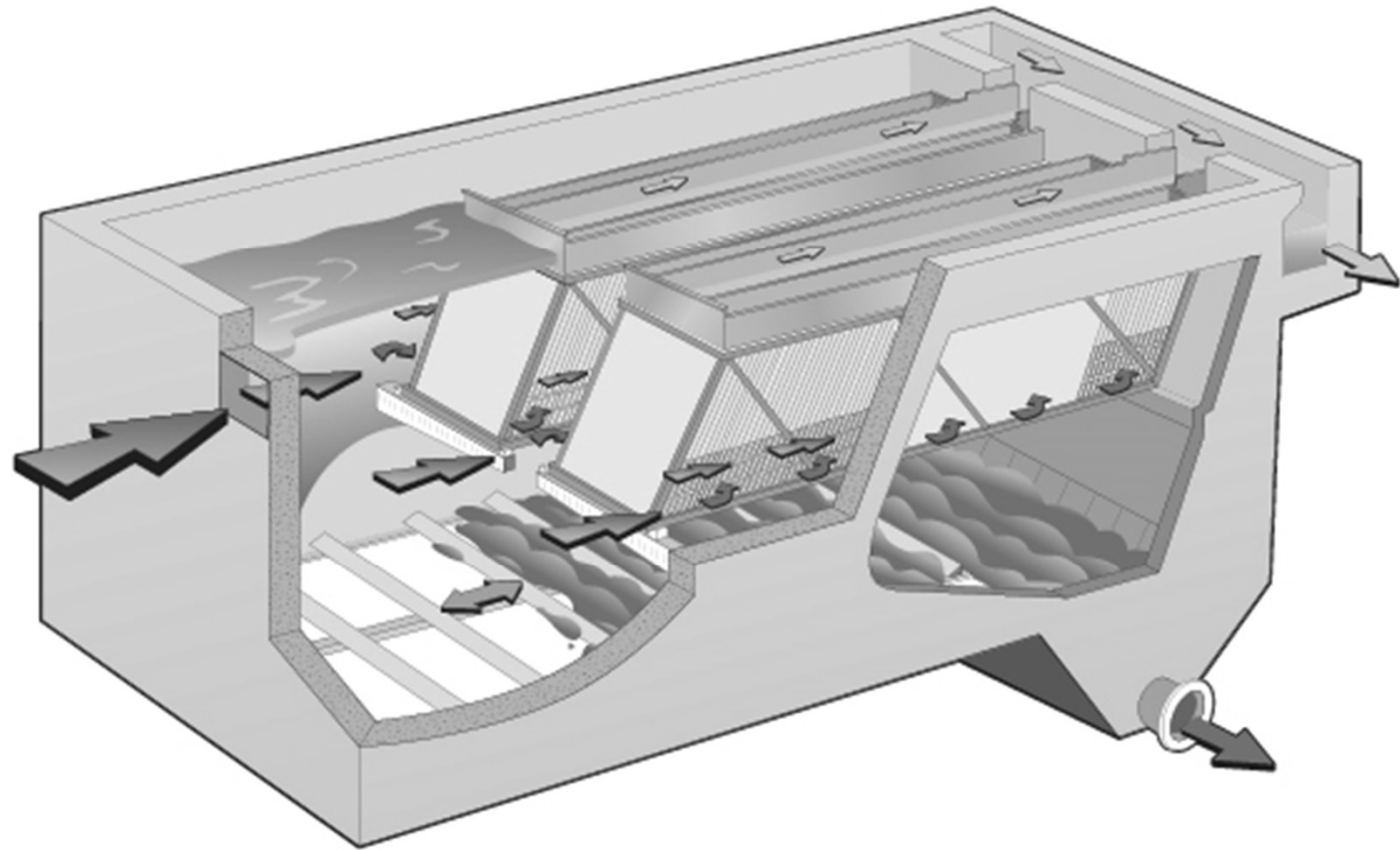


PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA



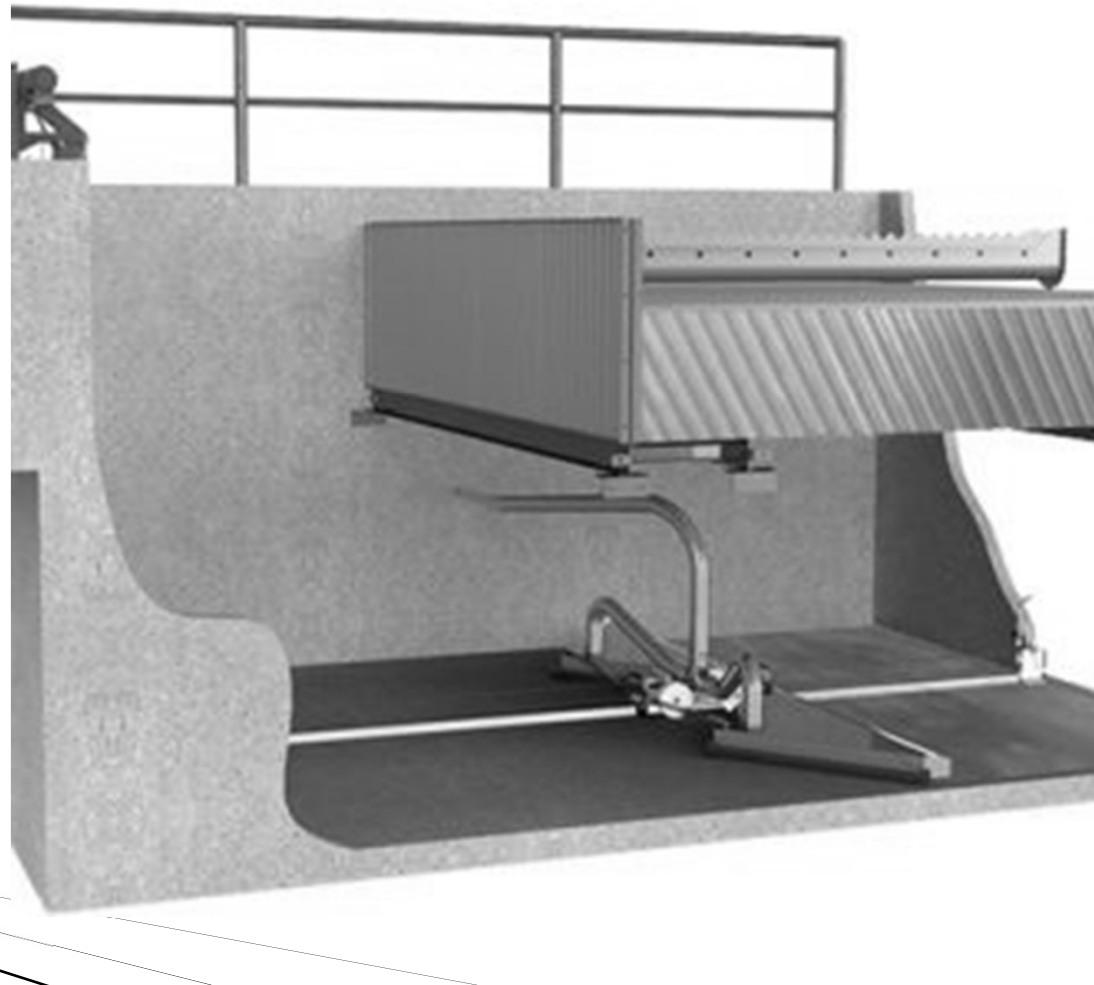


PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA



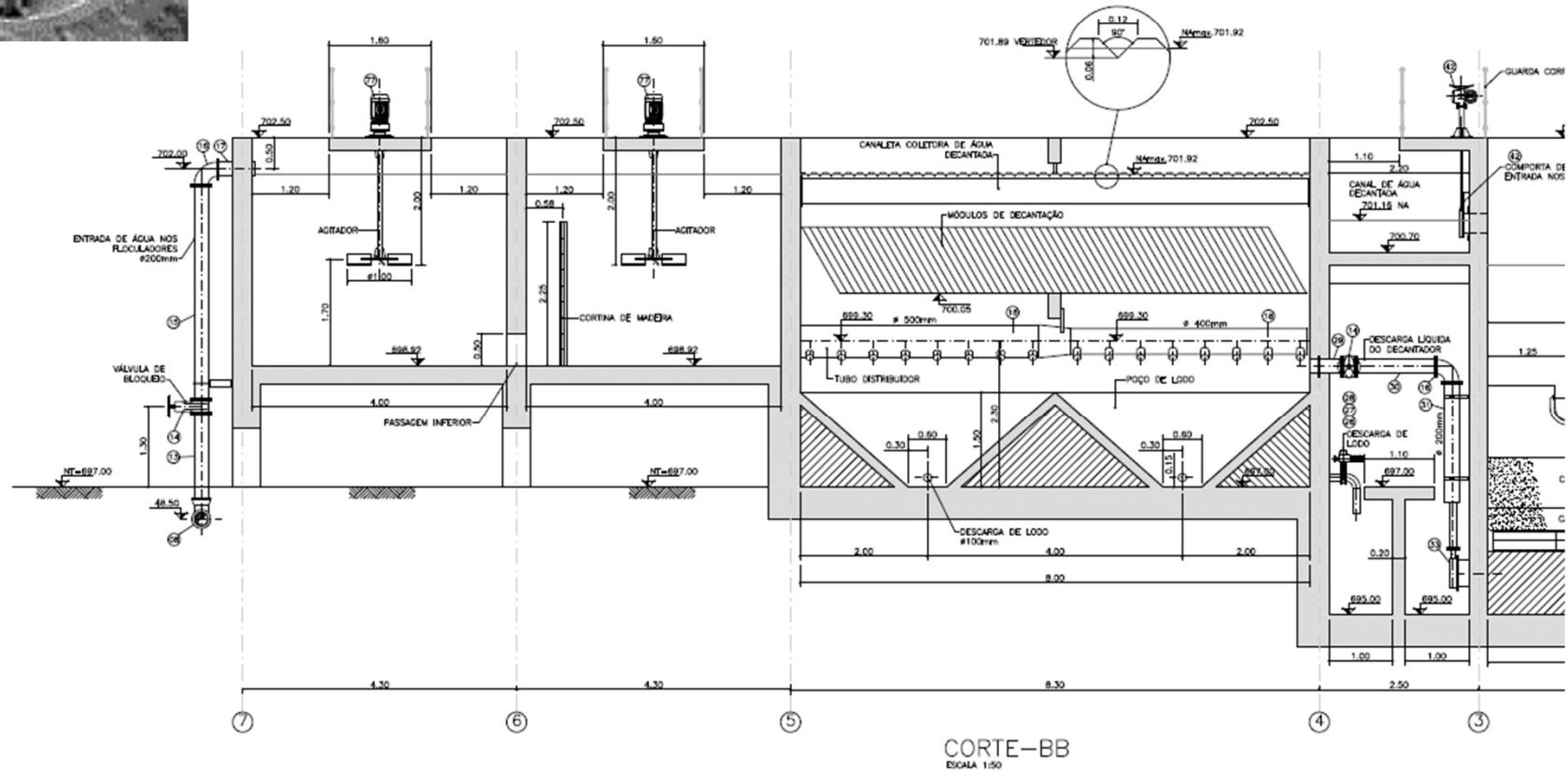


PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA



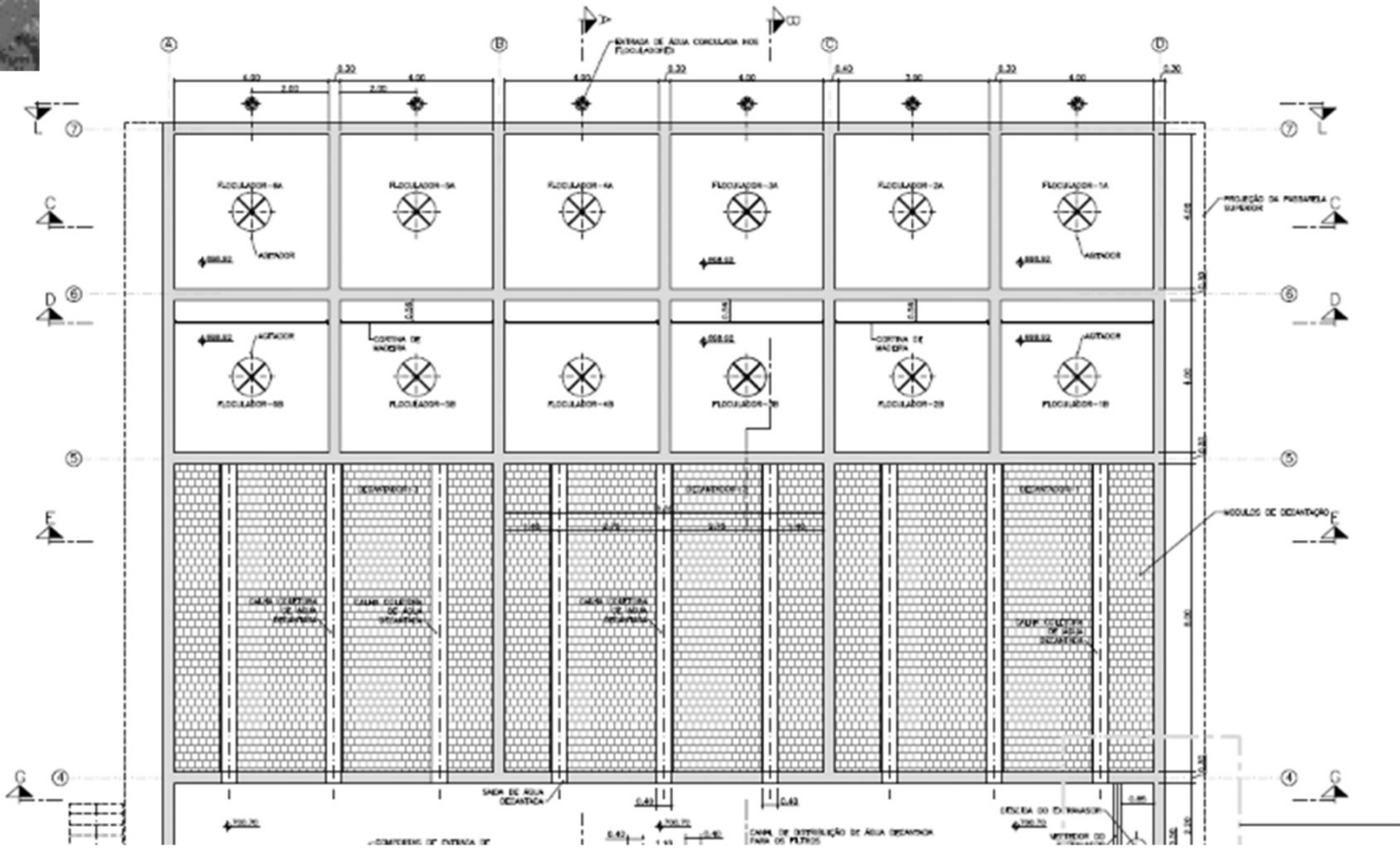


DECANTADORES DE ALTA TAXA



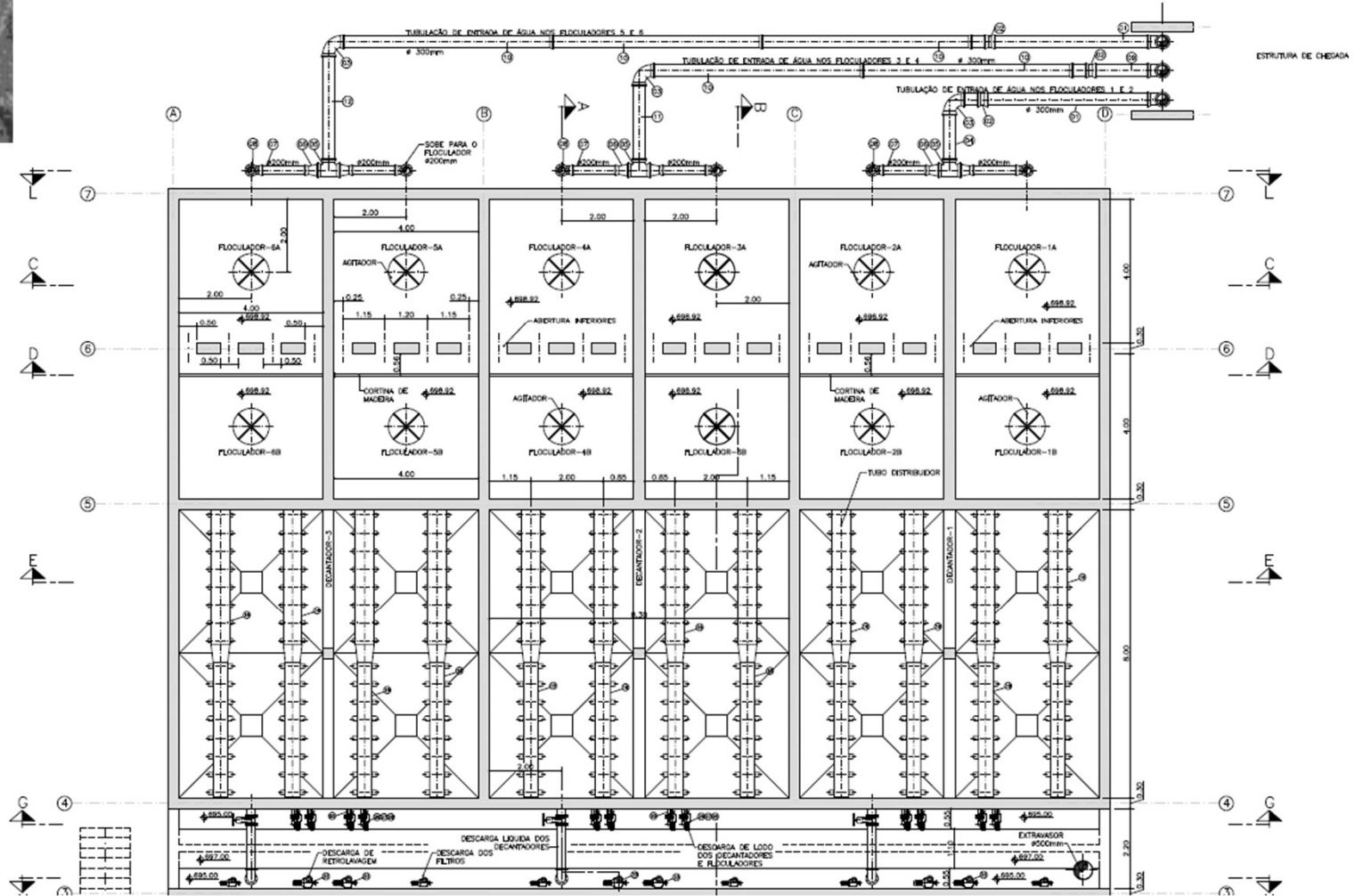


DECANTADORES DE ALTA TAXA



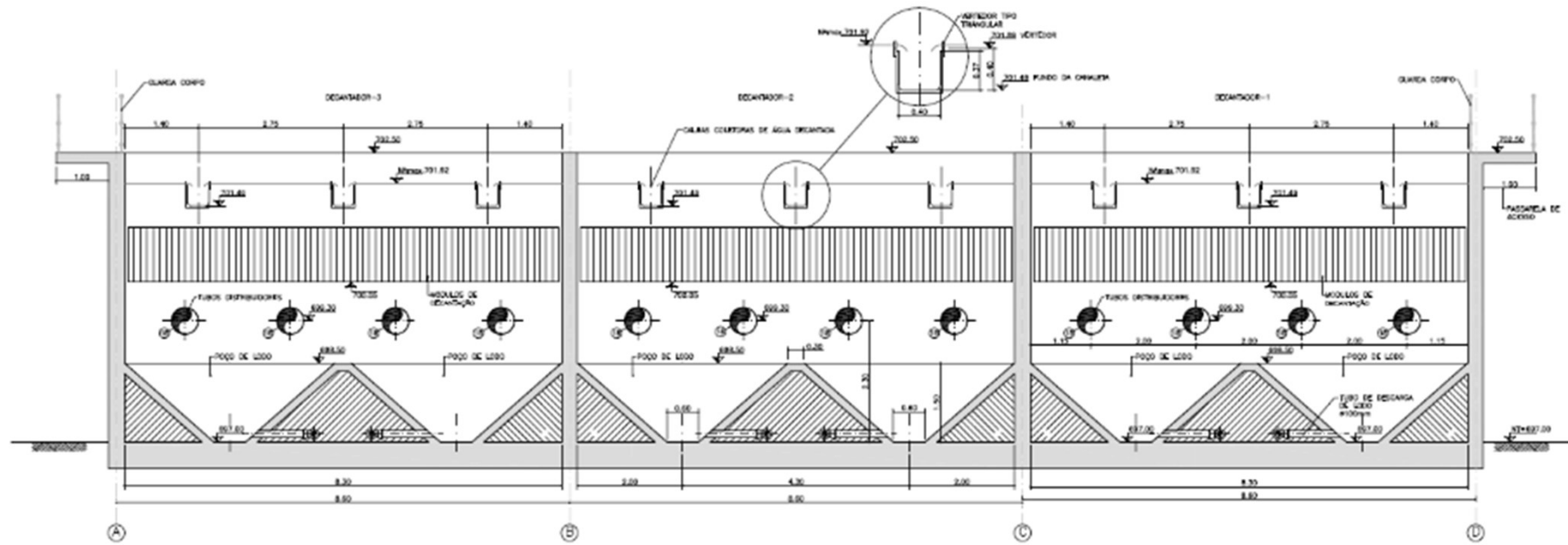


DECANTADORES DE ALTA TAXA





DECANTADORES DE ALTA TAXA

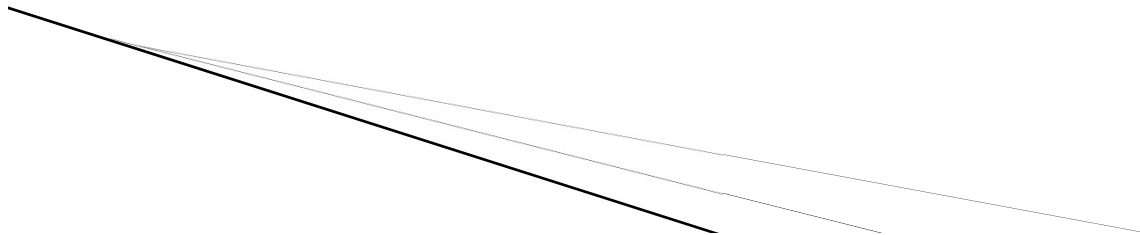


CORTE-EE
ESCALA 1:50



PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Vídeo - Decantadores de alta taxa (ETA Louveira)
- ▶ Vídeo - Decantadores de alta taxa (ETA Castanheral)
- ▶ Vídeo - Decantadores de alta taxa (ETA 3 - Sanasa)





CONVENCIONAL X ALTA TAXA

Decantador convencional

$$Q = V_r \cdot A$$

Decantador laminar

$$V_r = \frac{Q_r \cdot S_c}{A_r \cdot \sin \theta \cdot (1 + \cos \theta)}$$

$$Q_r = \frac{Q_r \cdot S_c}{\sin \theta \cdot (1 + \cos \theta)}$$

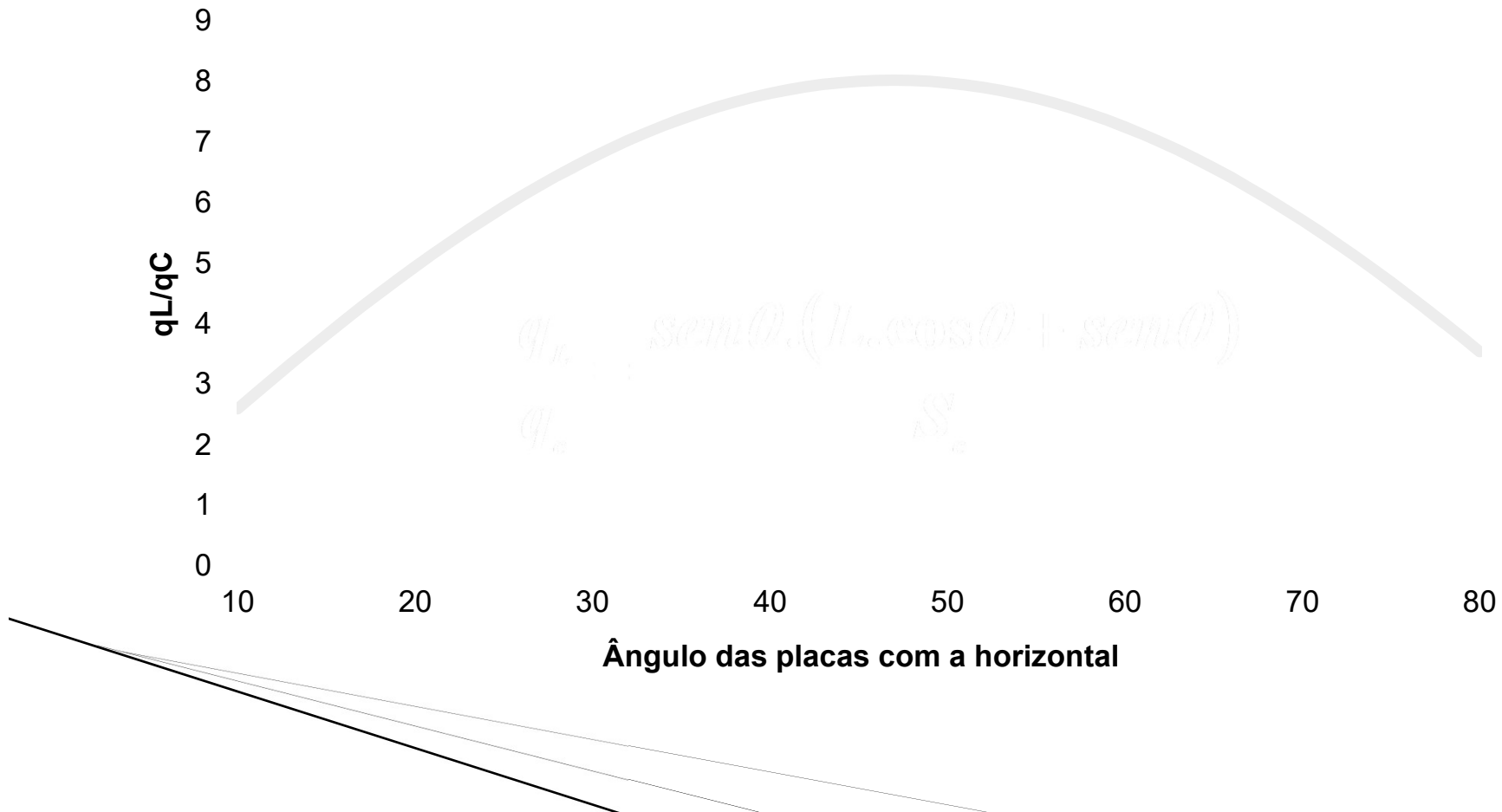
$$Q_r = \frac{Q_r \cdot S_c}{\sin \theta \cdot (1 + \cos \theta)}$$

$$Q_r = \frac{Q_r \cdot S_c}{\sin \theta \cdot (1 + \cos \theta)}$$



CONVENCIONAL X ALTA TAXA ÂNGULO DAS PLACAS

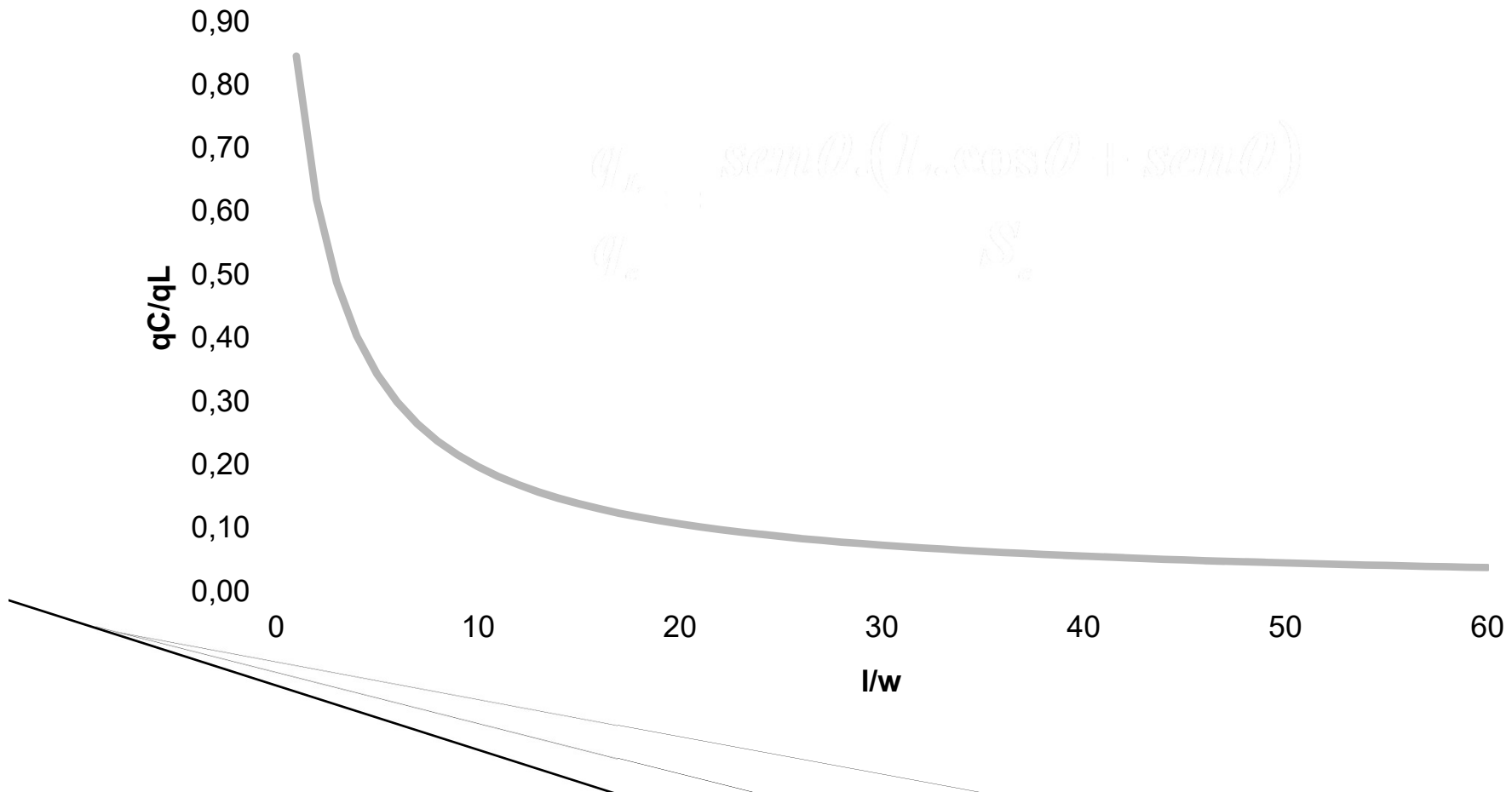
Sedimentação laminar - Ângulo das placas





CONVENCIONAL X ALTA TAXA GRANDEZA L (l/w)

Sedimentação laminar - Efeito da grandeza L (l/w)





Projeto de Decantadores de Alta Taxa

- ▶ Velocidade média através dos módulos:
 - $q = Q / A_{Tu} = v_0 \cdot \sin \theta$;
 - $Q =$ vazão de água no decantador (m^3/h);
 - $A_{Tu} =$ área transversal útil (m^2)
- ▶ Taxa de aplicação aparente \rightarrow 60 a 180 $m^3/m^2 \cdot dia$;
- ▶ Tempo de detenção hidráulico = l / v_0
- ▶ Número de Reynolds para o escoamento através dos módulos: $Re < 500$ (< 250 ideal);
- ▶ Número de Froude para o escoamento através dos módulos: $F \geq 10^{-5}$.



Relações

$$Re = \frac{\rho \cdot V_0 \cdot d_h}{\mu}$$

$$Fr = \frac{2 \cdot V_0^2}{d_h \cdot g}$$

V_0 = velocidade média através dos módulos (m/s);

ρ = densidade do fluido (kg/m³)

d_h = diâmetro hidráulico do canal formado entre as placas ou tubos (m);

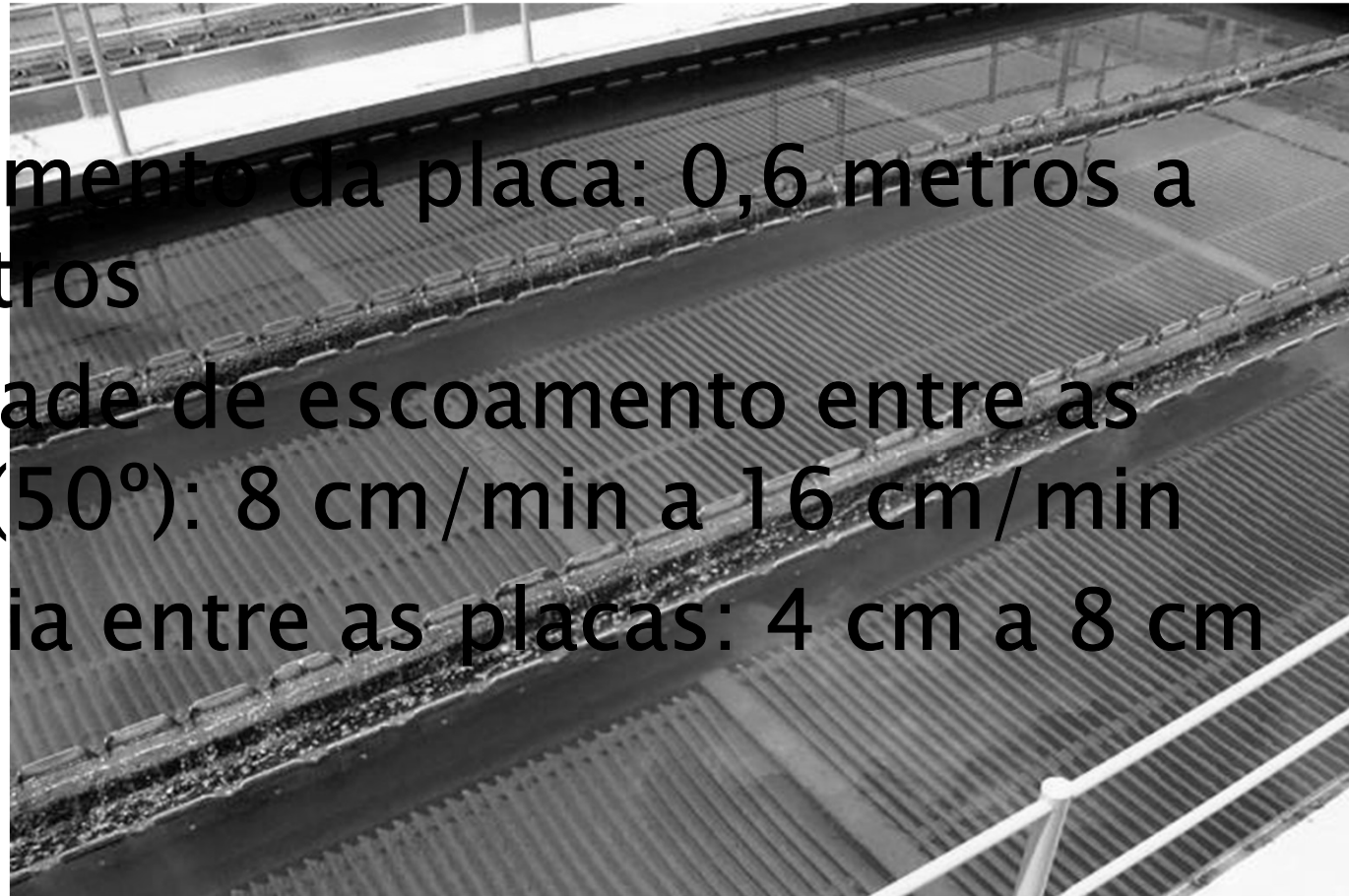
μ = viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m²);

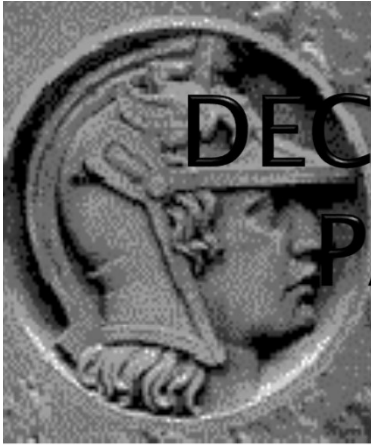
g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)



DECANTADORES DE ALTA TAXA PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Comprimento da placa: 0,6 metros a 1,2 metros
- ▶ Velocidade de escoamento entre as placas (50°): 8 cm/min a 16 cm/min
- ▶ Distância entre as placas: 4 cm a 8 cm





DECANTADORES DE ALTA TAXA PARÂMETROS DE PROJETO

- ▶ Altura do decantador: 4,0 metros a 6,0 metros.
- ▶ Relação Comprimento/Largura: 1 a 3
- ▶ Taxa de escoamento linear (vertedor)
→ 2 a 3 L/m.s





Roteiro de Cálculo do Decantador de Alta Taxa

- ▶ A partir da vazão de água e da taxa de aplicação aparente calcula-se:
 - Área superficial do decantador (A_{Tu});
 - Velocidade média através dos módulos de decantação (V_0);
 - Velocidade crítica de sedimentação (V_{cs});
 - Número de Reynolds e Número de Froude.



Dimensões do Decantador de Alta Taxa

- ▶ A partir da área superficial obtida e características do , determina-se:
 - Número de unidades de decantação;
 - Largura de cada unidade;
 - Número de placas ou tubos de decantação a serem instaladas no decantador;
 - Se forem utilizadas placas, a largura do decantador será uma dimensão múltipla da largura da placa;
 - Em função do espaçamento entre as placas e a sua espessura, deve-se reavaliar o comprimento do decantador



Dimensões do Decantador

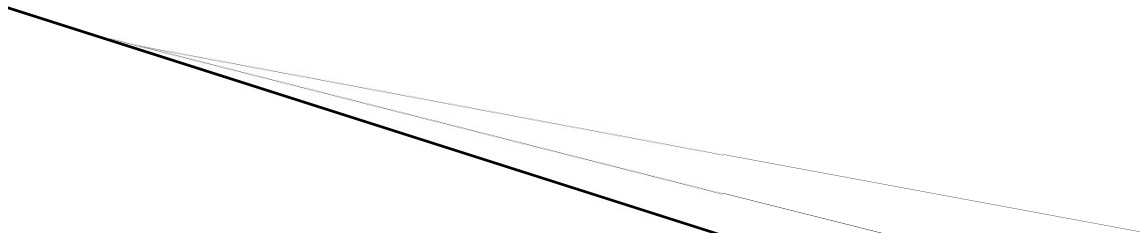
- ▶ Distância entre os módulos de sedimentação e o poço de lodo:
 - Para evitar arrastes, a velocidade de escoamento deverá ser menor que 1,25 cm/s;
 - $h_i = 80 \cdot Q / C$
 - $h_i \rightarrow$ distância entre o poço de lodo e os módulos de sedimentação (m);
 - $Q \rightarrow$ vazão de água no decantador (m^3/s);
 - $C \rightarrow$ dimensão do decantador na direção perpendicular ao fluxo de alimentação (m).



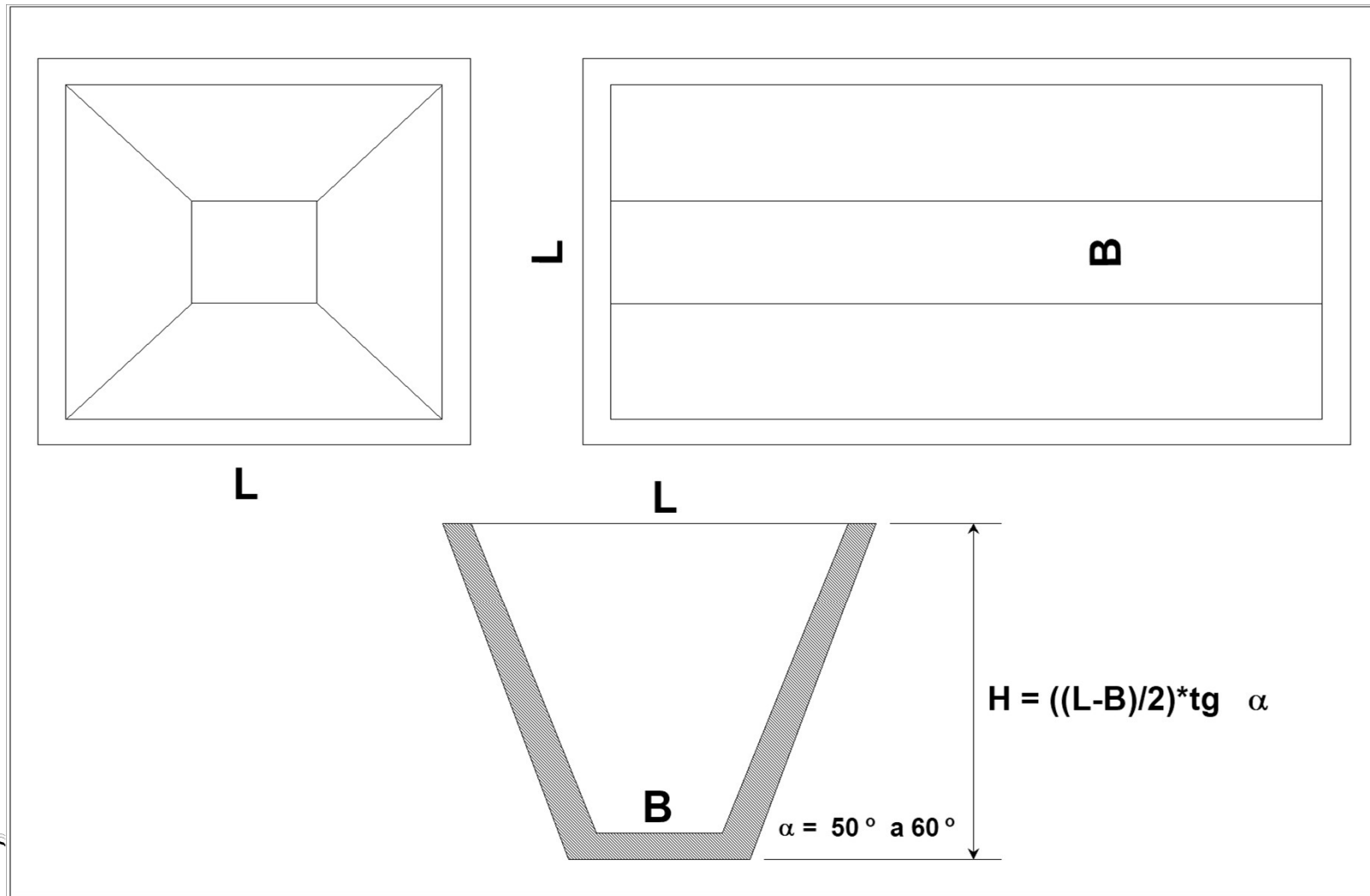
Dimensões do Decantador

► Poço de lodo:

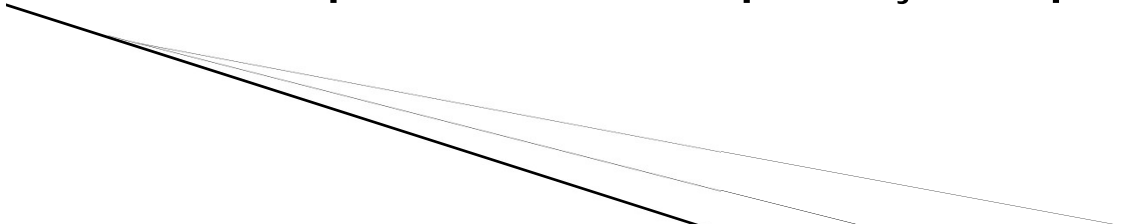
- Deve ser dimensionado com base em critérios construtivos, de forma que o mesmo não tenha uma altura muito elevada;
- Pode ser construído na forma de tronco de pirâmide ou trapézio invertidos;
- O ângulo de inclinação das paredes deve estar compreendido em 50° e 60° ;
- Deve-se prever a descarga hidráulica do lodo;

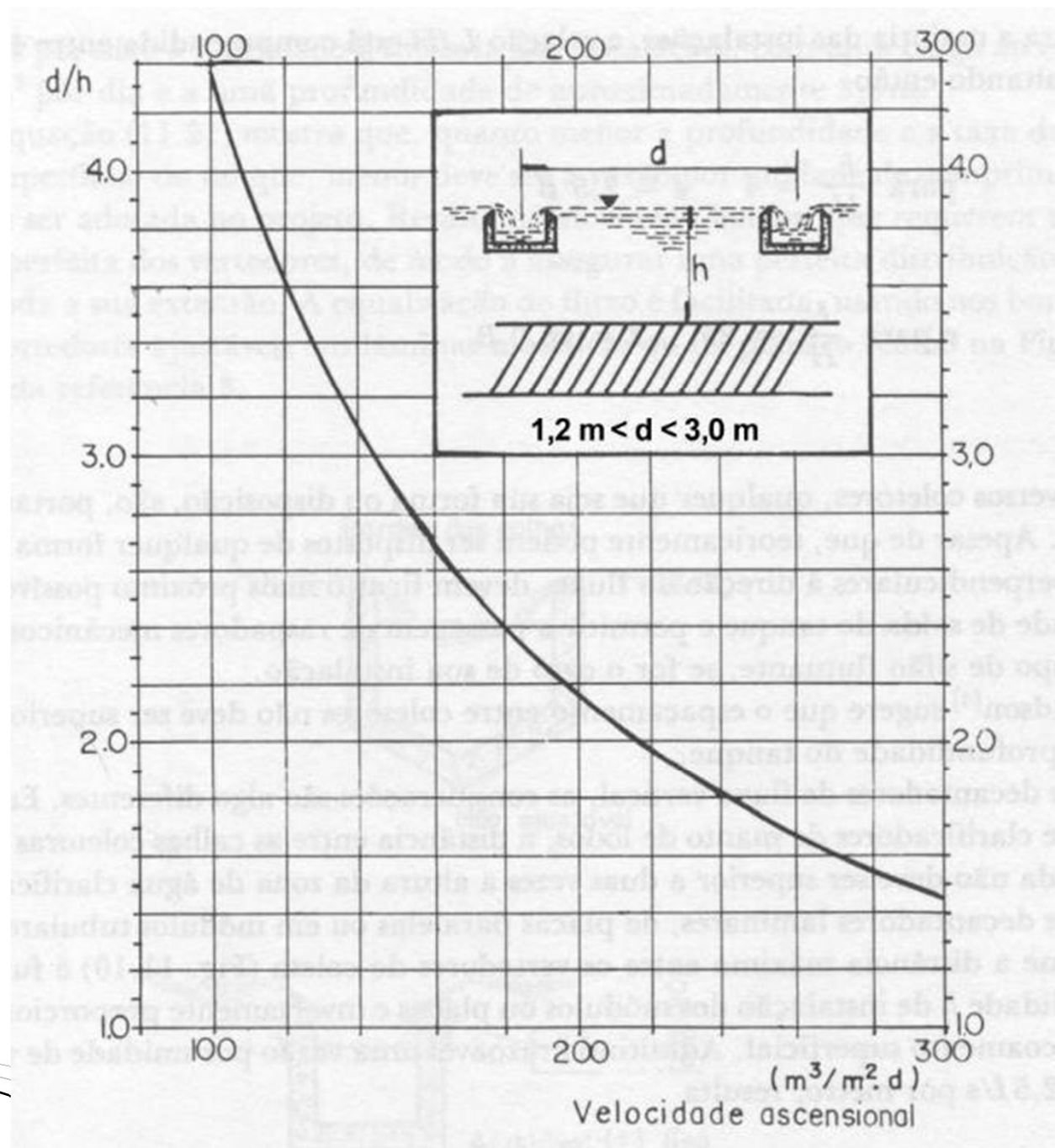


Poço de Lodo



Dimensões do Decantador

- ▶ Altura de água acima dos módulos de sedimentação:
 - Está relacionada à distância entre as canaletas de coleta de água decantada;
 - $d/h = 432/q$
 - $d \rightarrow$ distância entre os centros das canaletas de coleta de água decantada (m);
 - $h \rightarrow$ altura de água acima dos módulos de sedimentação (m);
 - $q \rightarrow$ taxa de aplicação aparente ($m^3/m^2 \cdot dia$)
- 
- A decorative graphic consisting of several thin, parallel lines of varying lengths and slight curves, located in the bottom-left corner of the slide.



Sistema de Descarga de Lodo

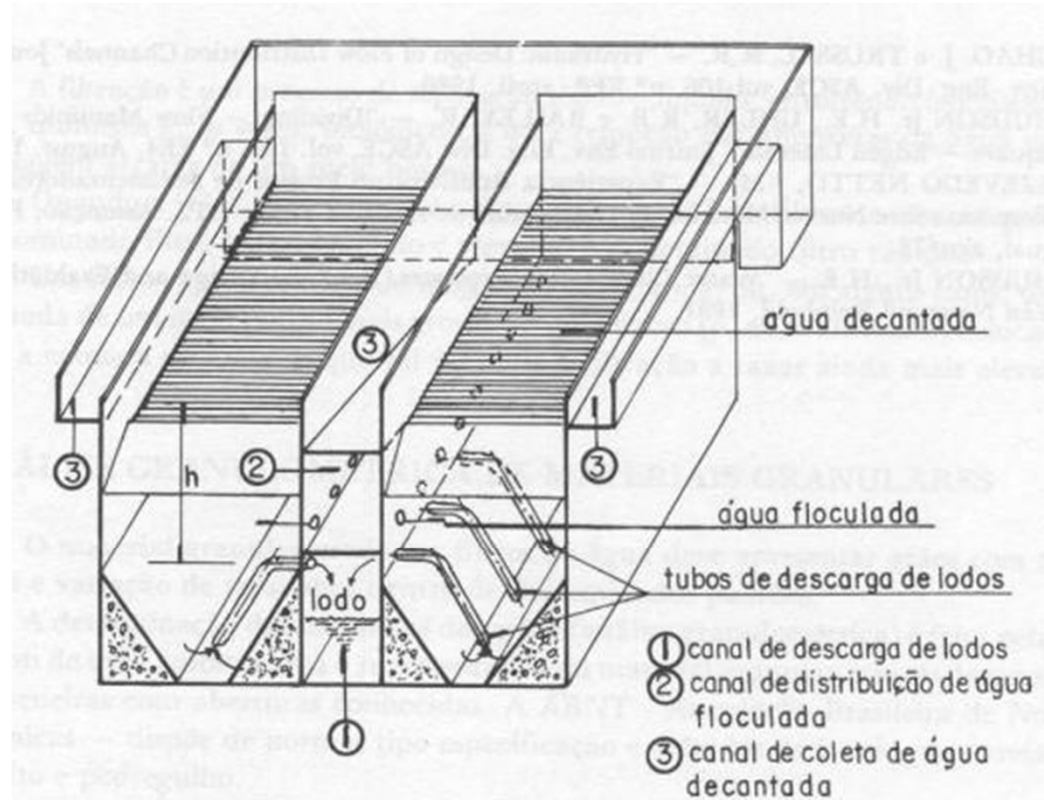
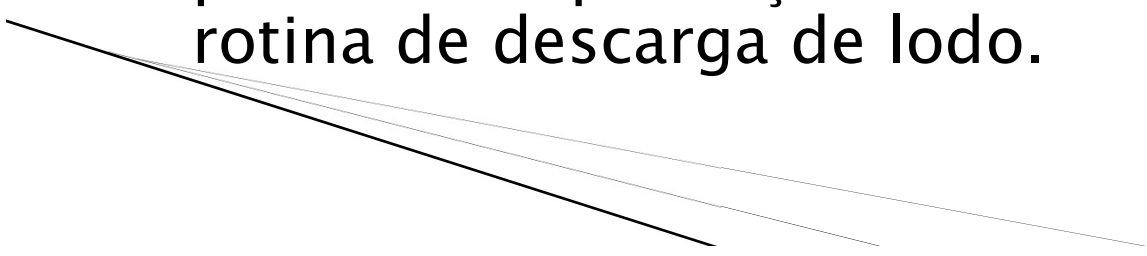


Figura 11.12 – Sistema de remoção de lodos utilizado pela Sanepar.

- a) Distância máxima entre tubos laterais: 0,90 m
- b) Diâmetro mínimo dos laterais: 38 mm (1,5")
- c) Vazão mínima no lateral: 5 l/s
- d) Velocidade mínima no lateral: 5 m/s

Considerações Finais

- ▶ Deve ser previsto um sistema de alimentação que distribua o fluxo de maneira uniforme em todo o decantador;
 - ▶ Pode-se utilizar um manifold:
 - Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. Ronald L. Droste. John Wiley & Sons, Inc. 1997. (Inlet hydraulics for sedimentation basins).
 - ▶ A taxa de coleta de água decantada deve estar compreendida entre 2 e 3 L/m.s;
 - ▶ Com base no volume dos poços de lodo e na previsão de produção de lodo é estabelecida a rotina de descarga de lodo.
- 
- Three thin, parallel lines of varying lengths and slight curves are positioned at the bottom left of the slide, extending towards the right.

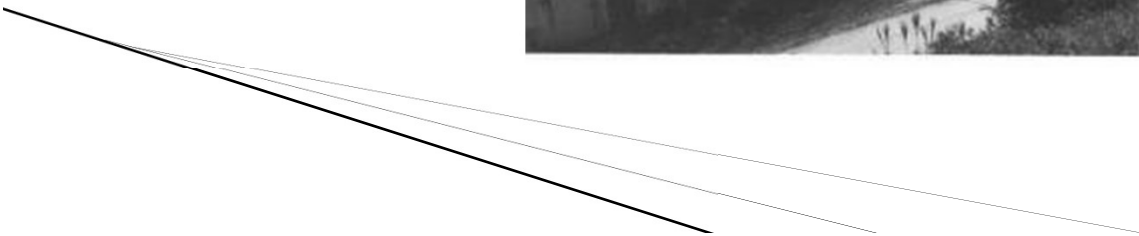
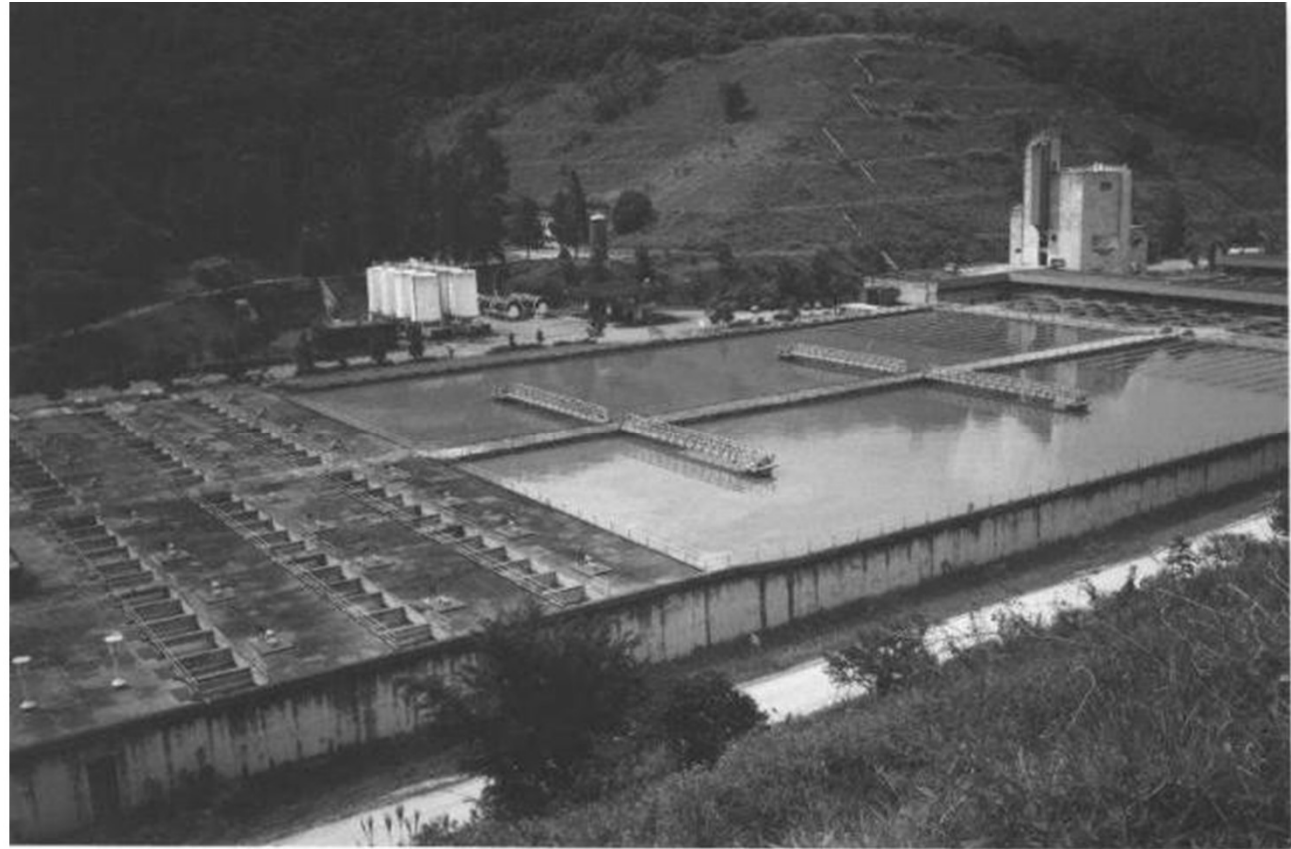


DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Vazão: $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- ▶ Velocidade de sedimentação dos flocos:
 - $30 \text{ m}/\text{dia}$
- ▶ Número de unidades de sedimentação:
 - 04
- ▶ Profundidade útil: $4,0 \text{ m}$
- ▶ Relação comprimento/largura: 4

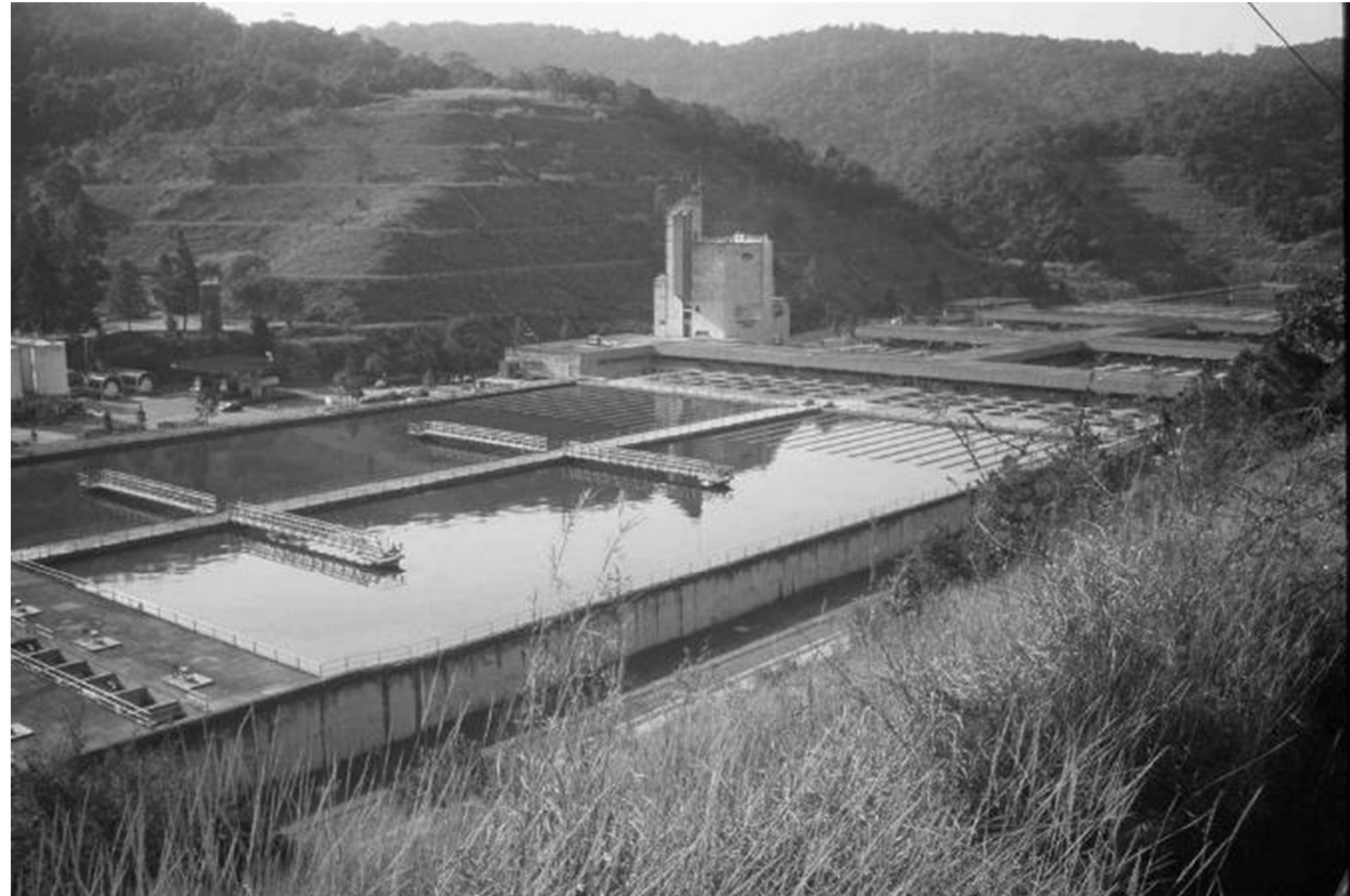


DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

► Cálculo da área superficial:

$$v_s = q = \frac{Q}{A_s}$$

$$A_{TS} = \frac{Q}{q} = \frac{0,5(m^3/s) \cdot 3600(s/h) \cdot 24(h/d)}{30(m^3/m^2 \cdot d)} = 1.440m^2$$

$$A_{SD} = \frac{A_{TS}}{n_D} = \frac{1.440}{4} = 360m^2$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do volume do decantador e tempo de detenção hidráulico:

$$V_D = A_D \cdot H = 360 \cdot 4,0 = 1.440 \text{ m}^3$$

$$\theta = \frac{V_D}{Q_D} = \frac{1.440(\text{m}^3)}{0,125(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 3.600(\text{s}/\text{h})} = 3,2 \text{ h}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Definição da geometria do decantador:
Admitindo uma relação entre L/B igual a 4, tem-se que:

$$A_{SD} = B.L = 4.B^2 = 360m^2$$

$$B = 9,5 \text{ m}$$

$$L = 38 \text{ m}$$

$$A_{SD} = B.L = 9,5.38 = 361m^2$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Verificação da taxa de escoamento superficial

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{21.600 \text{ m}^3 / \text{dia}}{588 \text{ m}^2} = 36,7 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{dia}$$

- ▶ Cálculo da velocidade horizontal

$$V_h = \frac{Q}{A_h} = \frac{0,25 \text{ m}^3 / \text{s}}{4,5 \text{ m} \cdot 14,0 \text{ m}} = 0,40 \text{ cm} / \text{s}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Verificação da taxa de escoamento superficial

$$q = \frac{Q}{A_{SD}} = \frac{0,125(m^3/s) \cdot 3600(s/h) \cdot 24(h/d)}{361(m^2)} = 29,9 m/d$$

- ▶ Cálculo da velocidade horizontal

$$v_h = \frac{Q}{A_h} = \frac{0,125(m^3/s)}{4,0(m) \cdot 9,5(m)} \cdot 100(cm/m) = 0,33 cm/s$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água decantada

$$q_l \leq 0,018.H.q$$

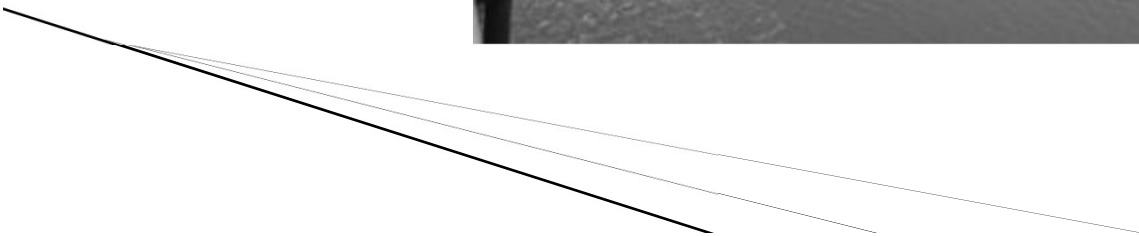
q_l =vazão linear nas calhas de coleta de água decantada (L/s/m)

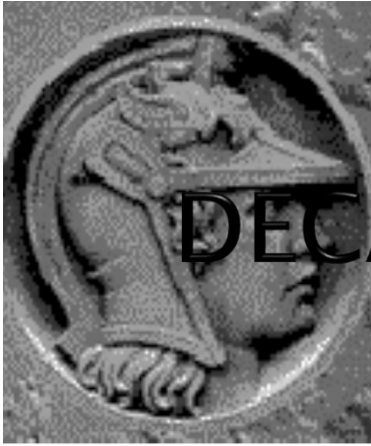
H=altura útil do decantador (m)

q=taxa de escoamento superficial no decantador (m³/m².dia)

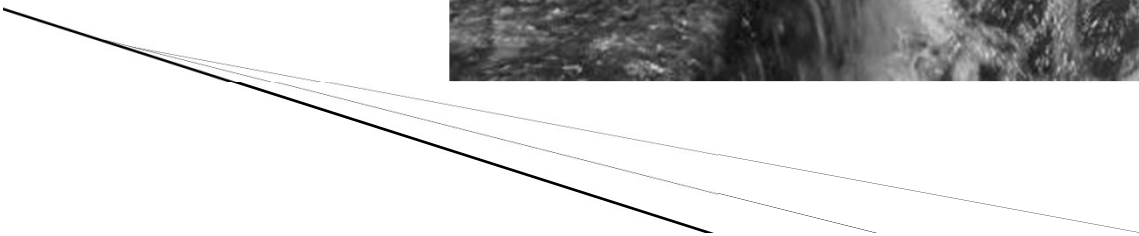


DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS



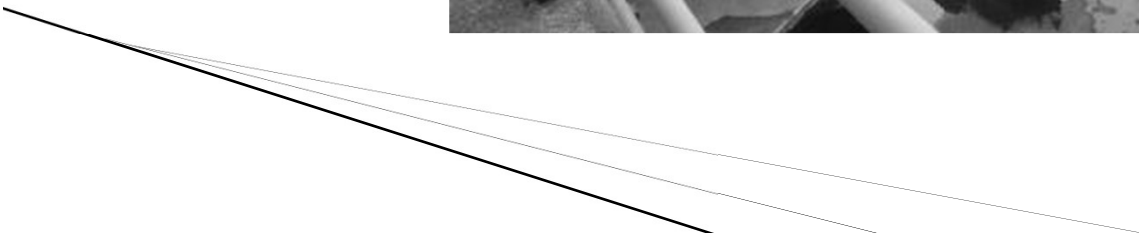


DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

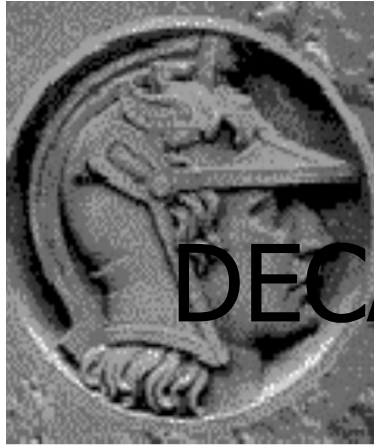
- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água decantada

$$q_l \leq 0,018H.q$$

$$q_l \leq 0,018.4,0.29,9$$

$$q_l \leq 2,15 \text{ L/s.m}$$

- ▶ Valor de projeto adotado: 2,0 L/s.m



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do comprimento total de vertedor
- ▶ Valor de projeto adotado: 2,5 l/s/m

$$L_v = \frac{250 \text{ l/s}}{2,5 \text{ l/s/m}} = 100 \text{ m}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do comprimento total de vertedor
- ▶ Valor de projeto adotado: 2,0 L/s.m

$$L_{coleta} = \frac{125 \left(\frac{L}{s} \right)}{2 \left(\frac{L}{s.m} \right)} = 62,5m$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do número de calhas

$$N_{calhas} = \frac{L_v}{2 \cdot L_{calha}} = \frac{100 \text{ m}}{2 \cdot 8,4 \text{ m}} = 5,9$$

- ▶ Portanto, vamos adotar um total de 06 calhas, com 8,0 metros de comprimento

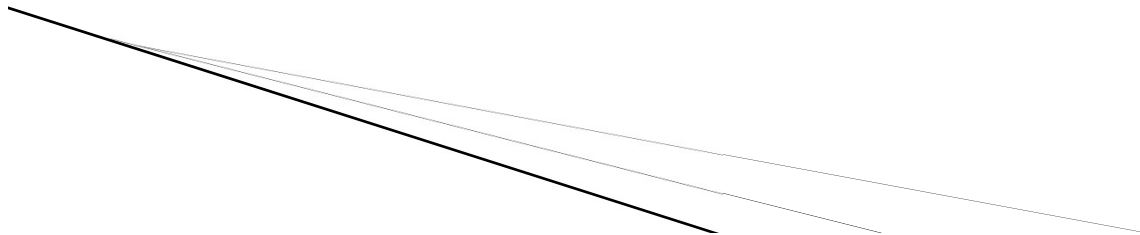
$$q_l = \frac{Q}{L_v} = \frac{250 \text{ l/s}}{96 \text{ m}} = 2,6 \text{ l/s/m}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do comprimento total de vertedor
- ▶ Admitindo que o comprimento da calha de coleta de água de lavagem não exceda a 20% do comprimento do decantador, tem-se que:

$$L_{calha} = 38(m) \cdot 0,2 = 7,6m$$





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

- ▶ Cálculo do número de calhas

$$N_{calhas} = \frac{L_{coleta}}{2 \cdot L_{calha}} = \frac{62,5}{2 \cdot 7,6} = 4,11$$

- ▶ Adotando-se 5 calhas, com 7,0 metros de comprimento:

$$q_l = \frac{Q}{L_{coleta}} = \frac{125 \left(\frac{L}{s}\right)}{5 \cdot 7(m)} = 1,79 \frac{L}{s \cdot m}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS

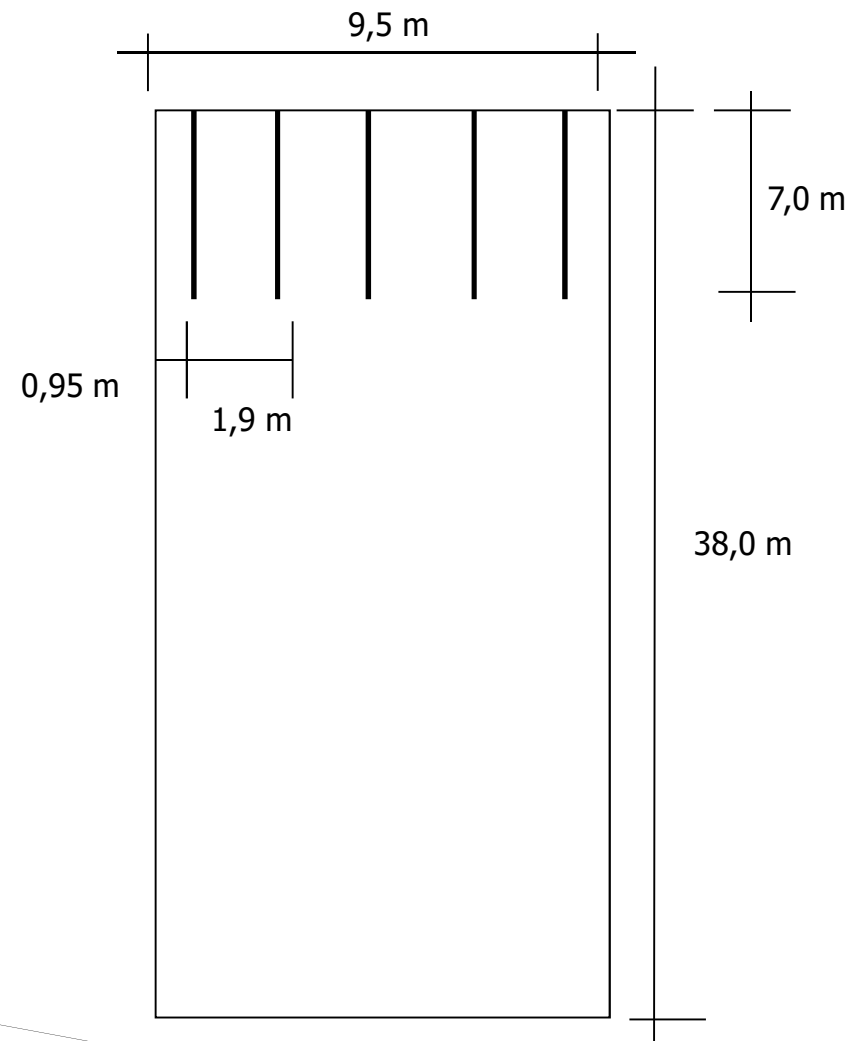
- ▶ Cálculo do espaçamento entre as calhas

$$\text{Espaçamento} = \frac{B}{N_{calhas}} = \frac{9,5}{5} = 1,9m$$

- ▶ O espaçamento entre a calha e a parede do decantador é metade do espaçamento entre as calhas.



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES CONVENCIONAIS



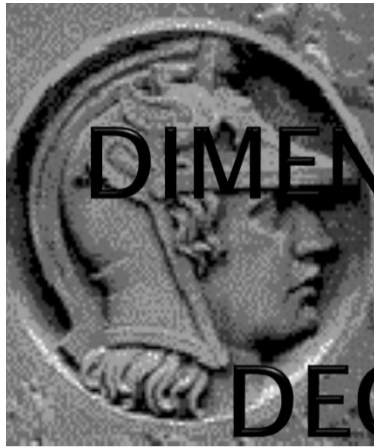
Atividade extra

- ▶ Para o exemplo dado, a velocidade de sedimentação foi obtida à 25°C. Contudo, na região onde a unidade de tratamento será implantada, a temperatura da água varia de 15°C no inverno, a 27°C no verão.
- ▶ Sabendo-se que a eficiência do sedimentador e a velocidade de sedimentação podem ser calculadas pelas relações abaixo, quais seriam as eficiências de remoção de partículas pelo sedimentador para as temperaturas apresentadas, demonstre.

- $Eficiência(\%) = \frac{v_t}{v_{tR}} \cdot 100;$

- $v_t \cdot \mu_t = v_{tR} \cdot \mu_{tR}$ (μ_t e μ_{tR} são os valores de viscosidade da água nas respectivas temperaturas)

- ▶ Quais as consequências para o sistema de tratamento? Justifique.



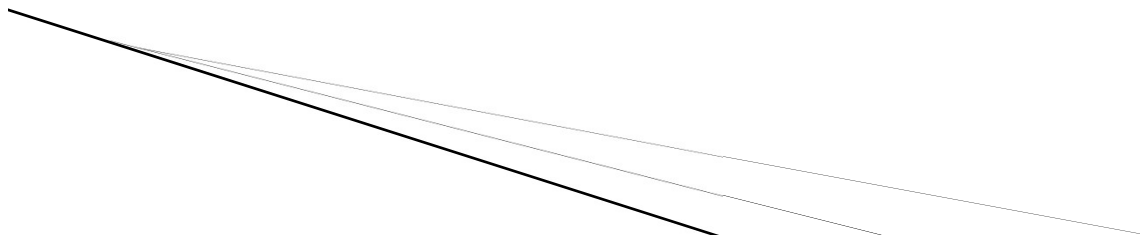
DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Vazão: $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- ▶ Velocidade de sedimentação dos flocos:
 $150 \text{ m}/\text{dia}$
- ▶ Número de unidades de sedimentação:
 04



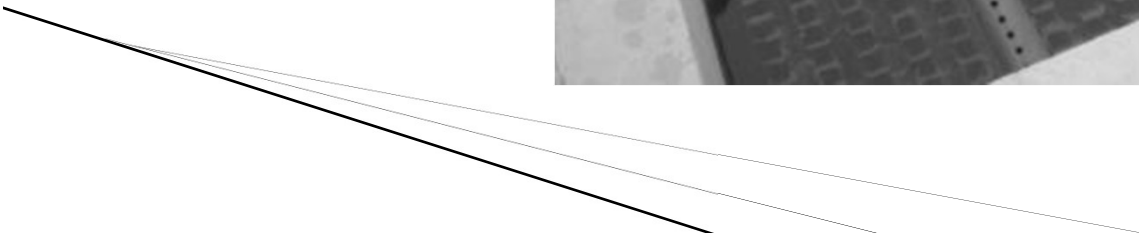
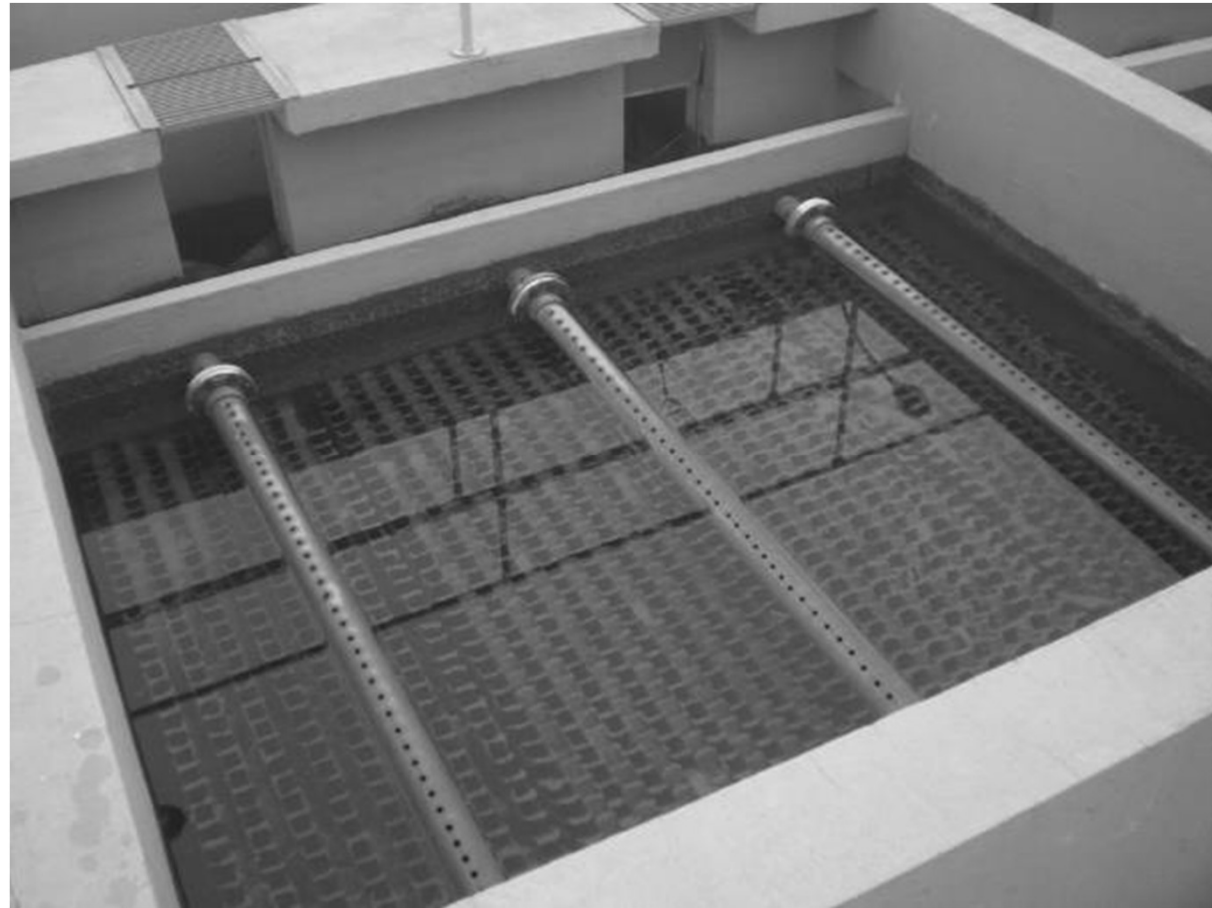
DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Comprimento das placas: 1,2 m
- ▶ Largura das placas: 2,4 m
- ▶ Ângulo das placas com a horizontal: 60°
- ▶ Espaçamento entre as placas: 5,0 cm

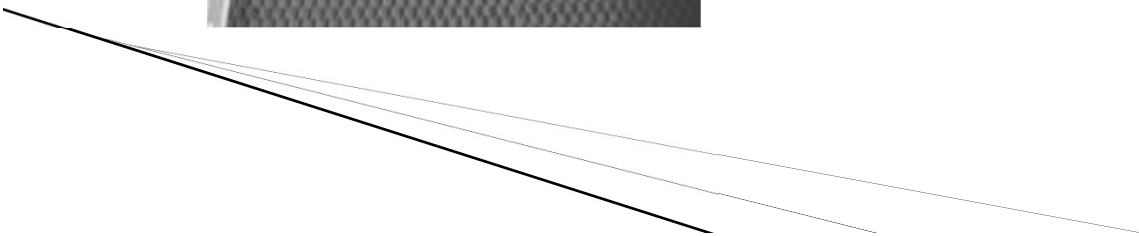




DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Cálculo da área perpendicular as placas

$$V_0 = \frac{q}{\text{sen}\theta} = \frac{150}{\text{sen}60} = 173,2 \text{ m/d} \Rightarrow V_0 = 12 \text{ cm/min}$$

$$A_0 = \frac{Q}{V_0} = \frac{0,25 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 60 \text{ s/min} \cdot 100 \text{ cm/m}}{12 \text{ cm/min}} = 125 \text{ m}^2$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Cálculo da área superficial no plano horizontal

$$A_p = \frac{A_0}{\text{sen}60^\circ}$$

$$A_p = \frac{A_0}{\text{sen}60^\circ} = \frac{125}{0,866} \cong 144 \text{ m}^2$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Largura útil e comprimento útil do decantador:
 - Admite-se que cada decantador irá utilizar módulos com 4 placas em sua largura.

$$L_u = L_{placa} \cdot n_{pl} = 4 \times 2,4 = 9,6m$$

$$A_t = L_u \cdot C_u \Rightarrow C_u = \frac{144,5}{9,6} = 15,0m$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Cálculo do n° de placas no comprimento do decantador

$$N_{placas} = \frac{C_u}{e_{placas}} + 1$$

$$C_u = 15,0 \text{ m}$$

$$e_{placas} = 0,05 \text{ m}$$

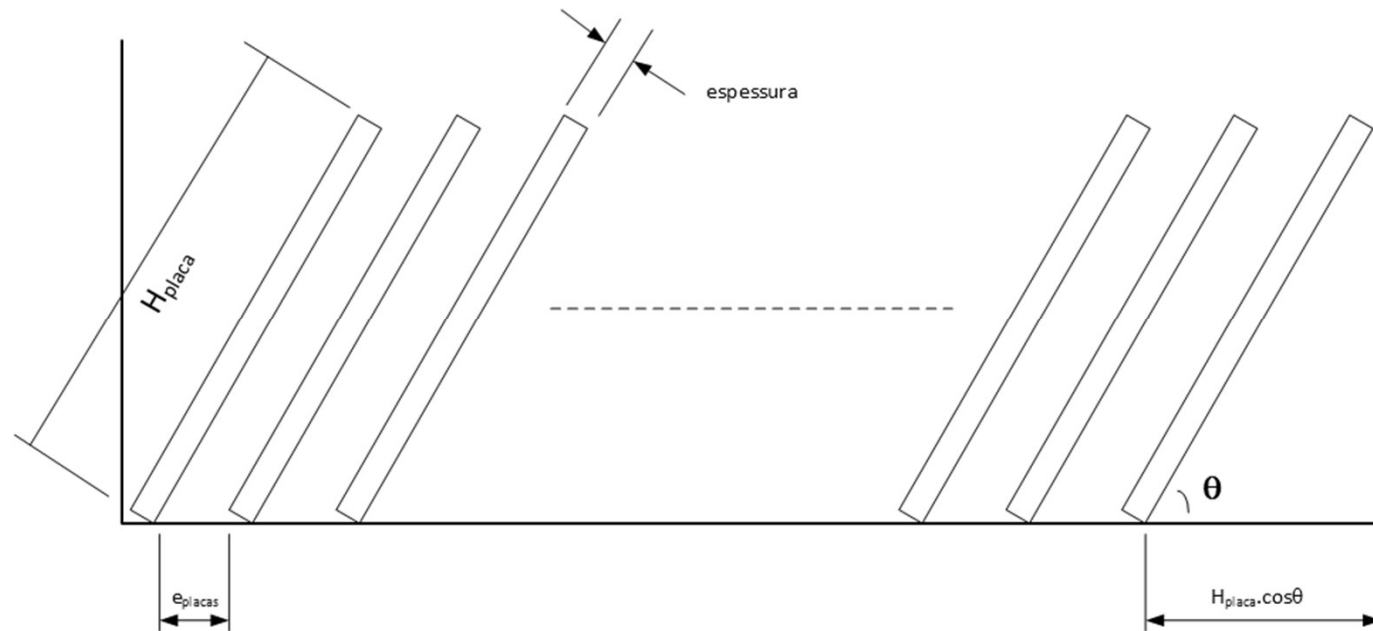
$$N_{placas} = \frac{15}{0,05} + 1 = 301 \text{ placas}$$

- ▶ Cálculo do n° de placas no comprimento do decantador

$$N_t = N_{placas} \cdot n_{pl} = 301 \times 4 = 1204 \text{ placas}$$

DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Comprimento total útil do decantador:

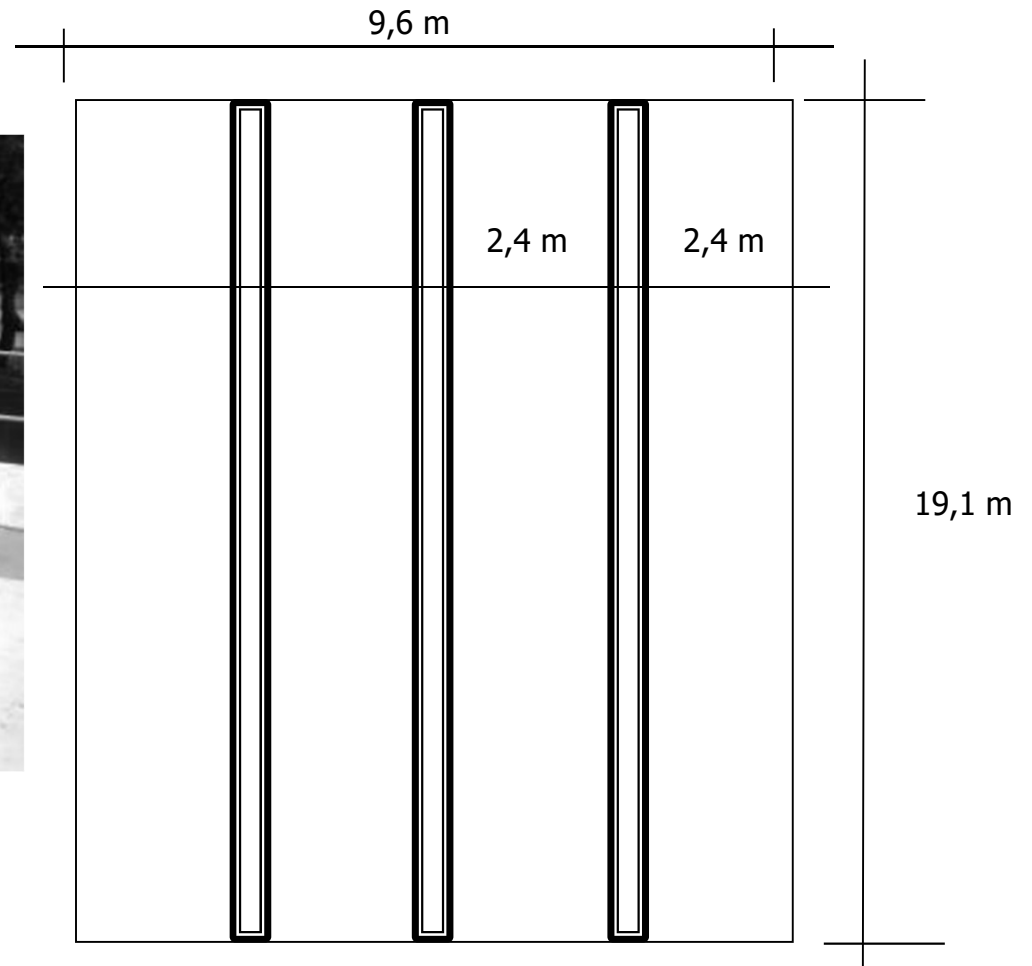


$$C_{total} = (N_{placas} - 1) \cdot e_{placas} + \frac{N_{placas} \cdot espessura}{\text{sen} \theta} + H_{placa} \cdot \cos \theta$$

$$C_{total} = 300 \cdot 0,05 + \frac{301 \cdot 0,01}{\text{sen} 60} + 1,20 \cdot \cos 60 = 19,1 \text{ m}$$



DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA





DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água decantada
- ▶ Valor de projeto adotado: 3,0 L/s/m

$$L_v = 19,1 \text{ m} \cdot 3 \text{ calhas} \cdot 2 = 114,6 \text{ m}$$



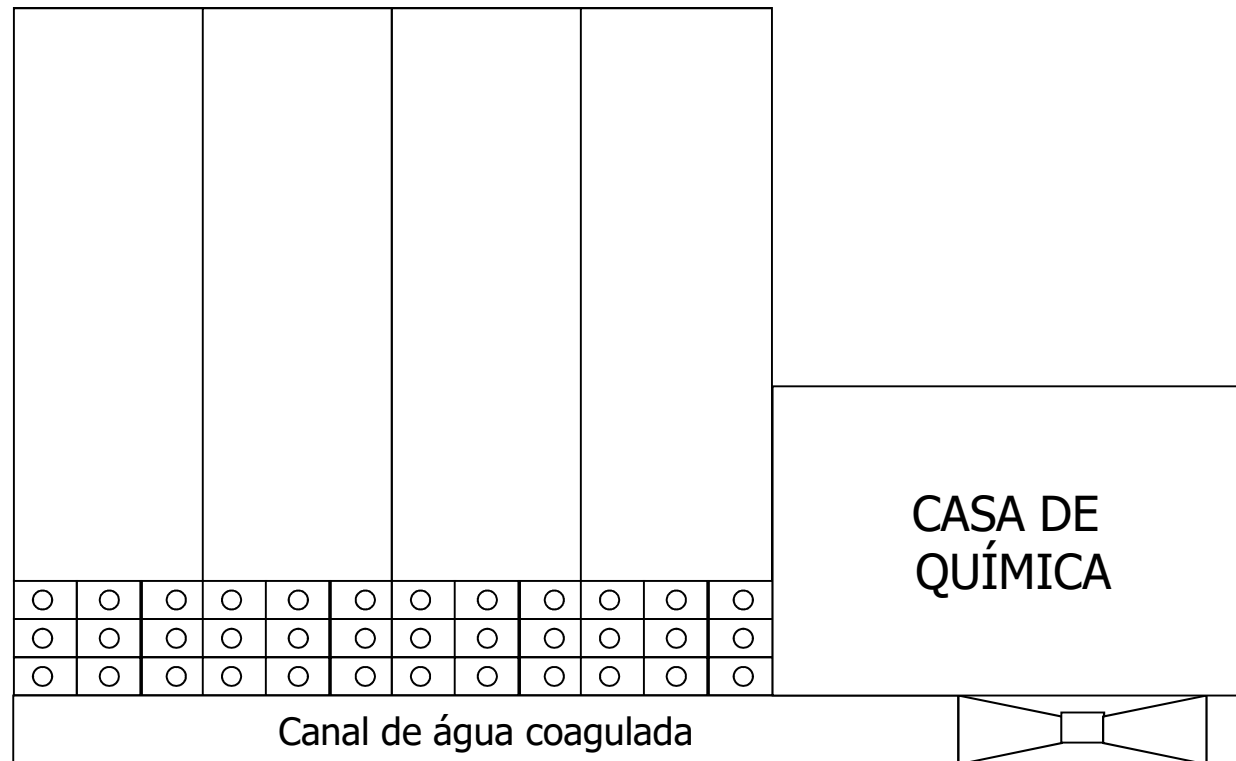
DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES DE ALTA TAXA

- ▶ Verificação da taxa de escoamento linear nas calhas de coleta
- ▶ Portanto, vamos adotar um total de 03 calhas, com 19,1 metros de comprimento

$$q_l = \frac{Q}{L_v} = \frac{250 \text{ l/s}}{114,6 \text{ m}} = 2,2 \text{ l/s/m}$$

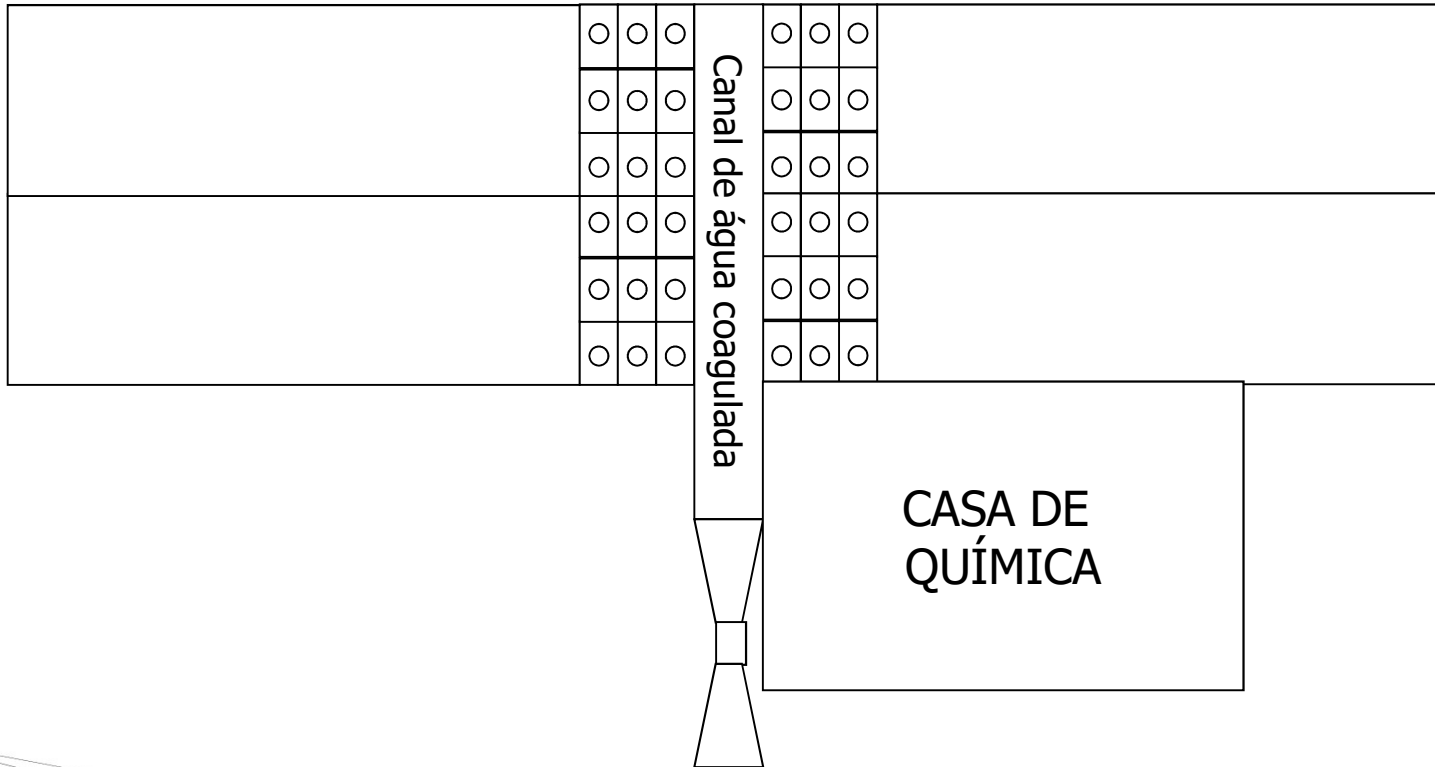


LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES



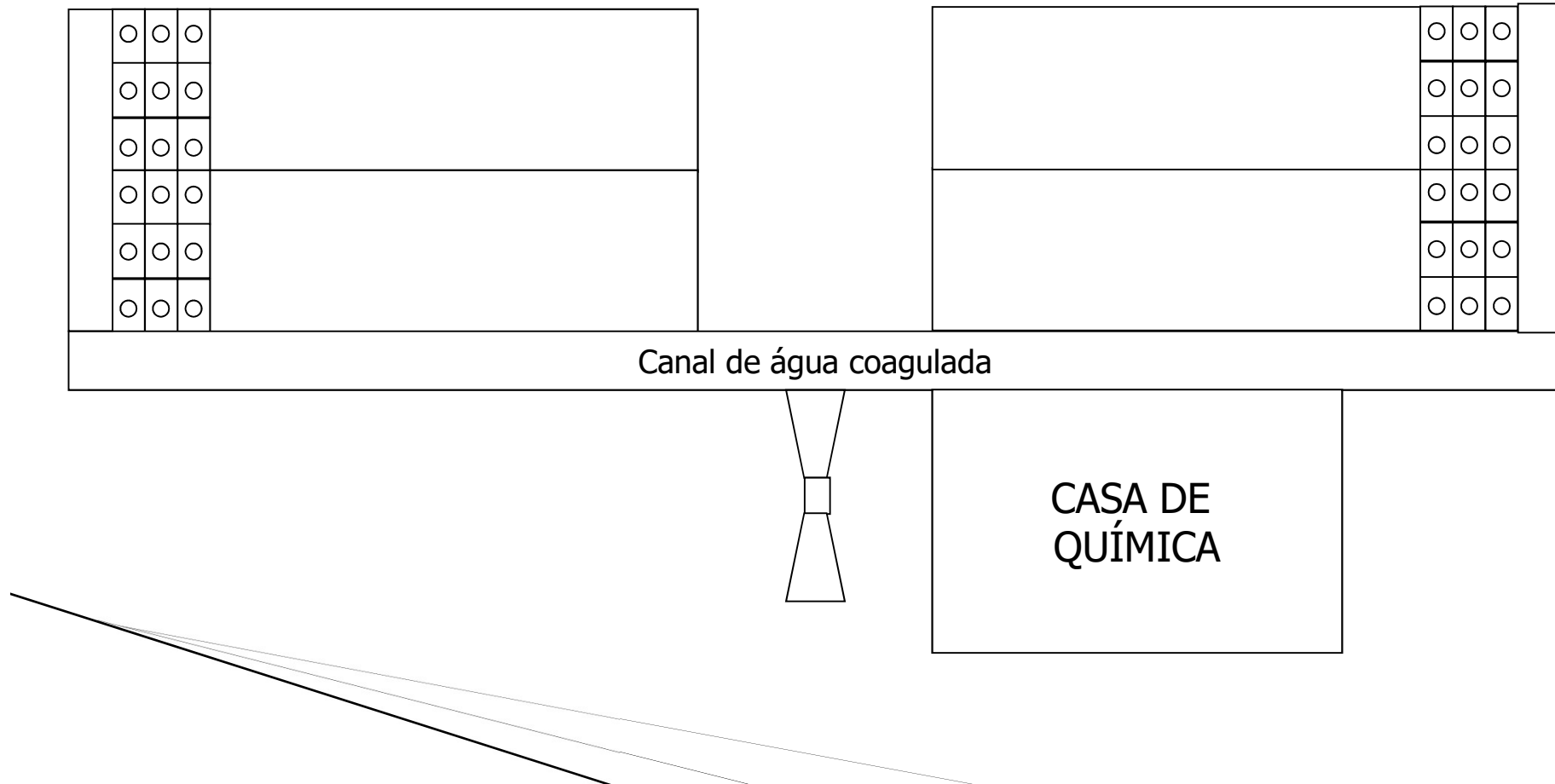


LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES

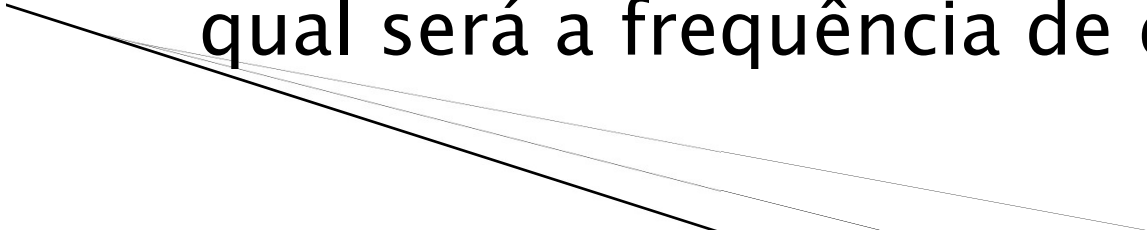


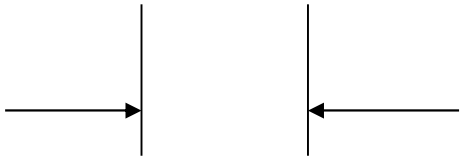
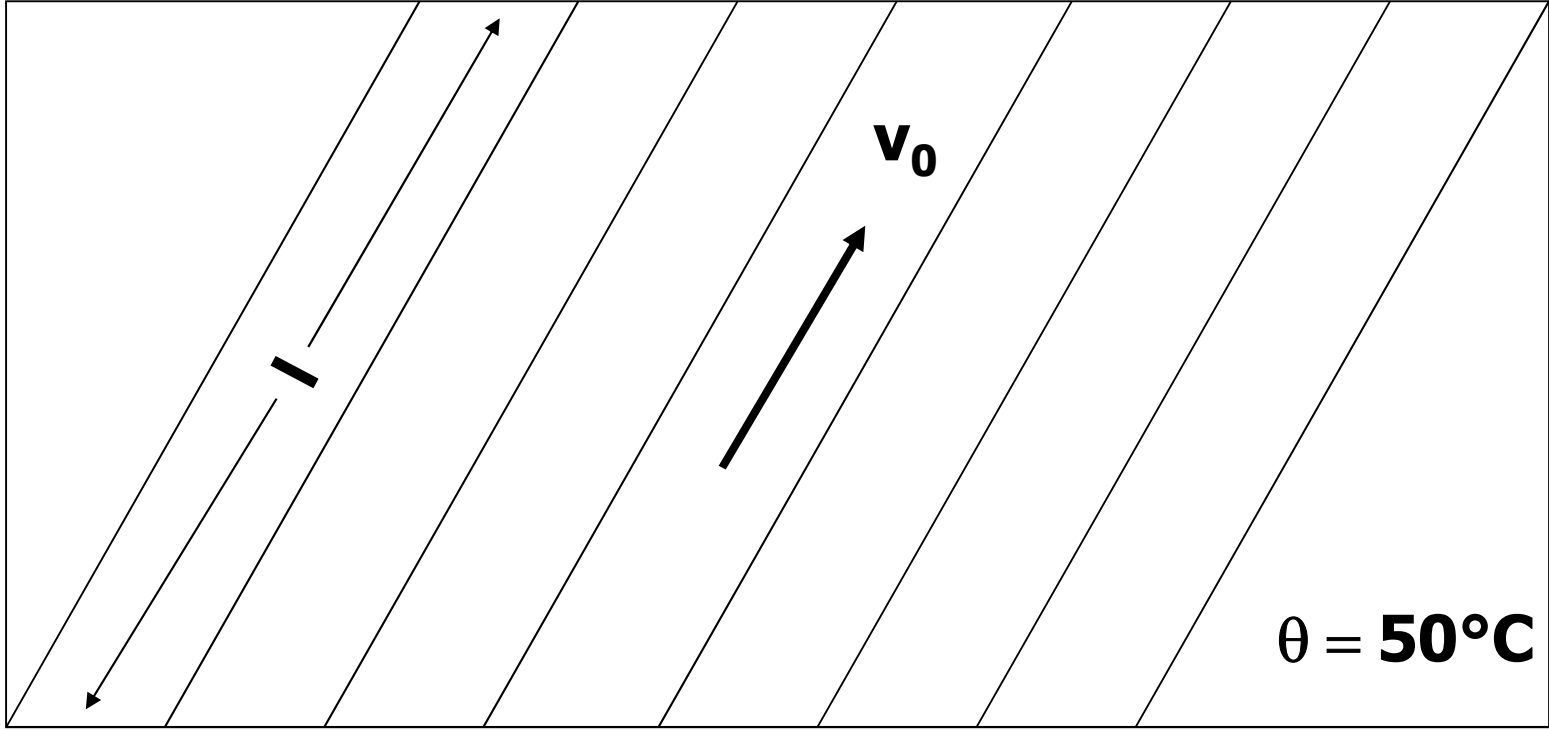


LAY-OUT DE ETAs ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES

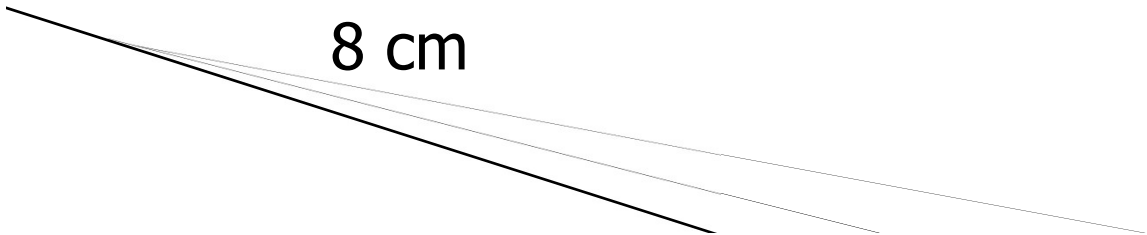


Aplicação

- ▶ Dimensionar um decantador de alta taxa para uma vazão de 50 L/s;
 - ▶ Utilizar placas de 1,20 m x 2,40 m e 1 cm de espessura, com uma inclinação de 50° e espaçamento de 8 cm;
 - ▶ Determinar o volume de lodo gerado diariamente, considerando-se uma carga de 30 mg/L;
 - ▶ Admitindo-se que no poço de lodo obtenha-se uma suspensão a 2% em peso, qual será a frequência de descarte.
- 



8 cm





**Muito
Obrigado !!!**

