



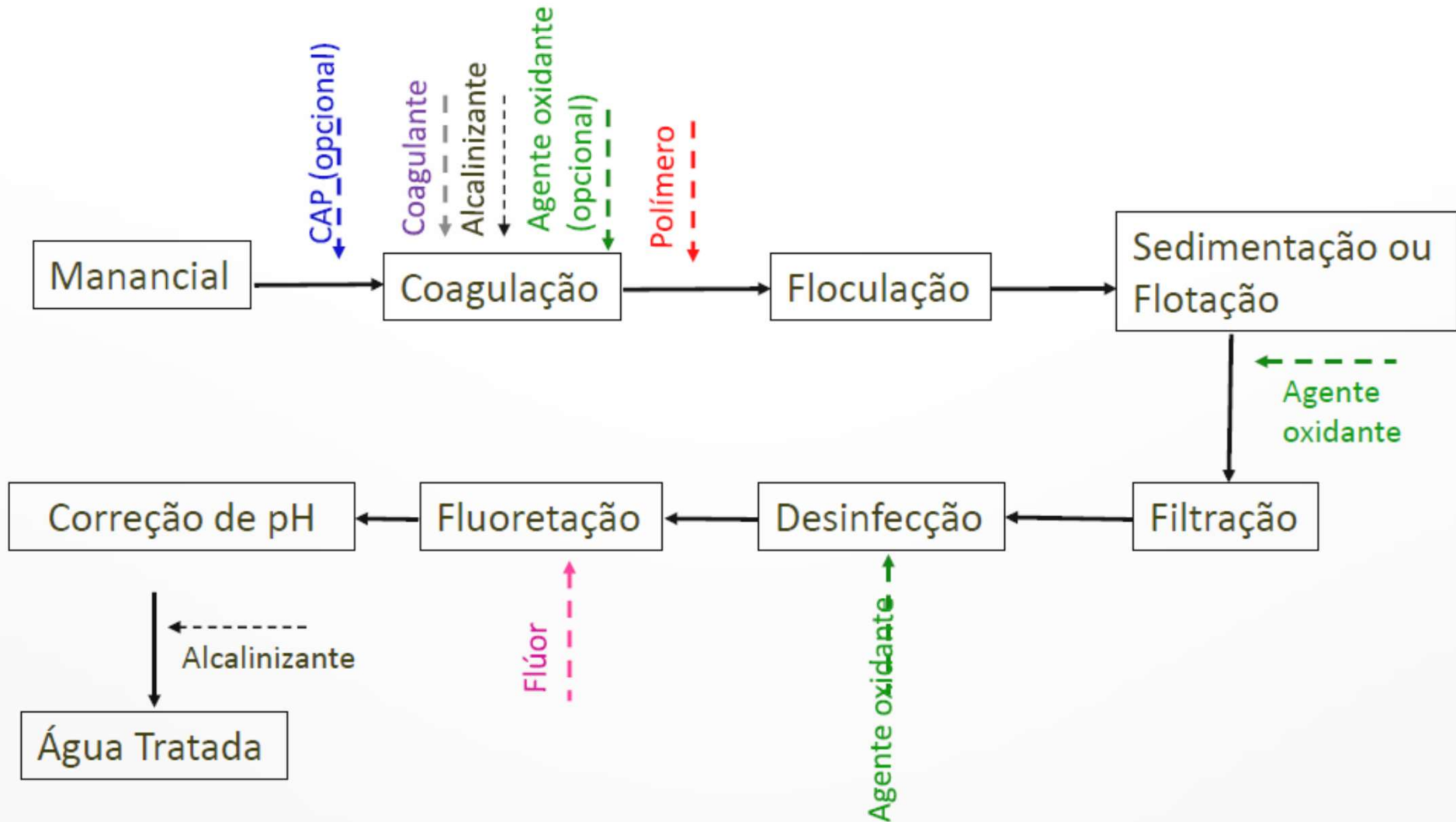
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL**  
**DISCIPLINA: SANEAMENTO AMBIENTAL I**  
**PROFESSOR ORIENTADOR: DR. RAMIRO G. ETCHEPARE**  
**NOME: SILVIA F. PAFFRATH**



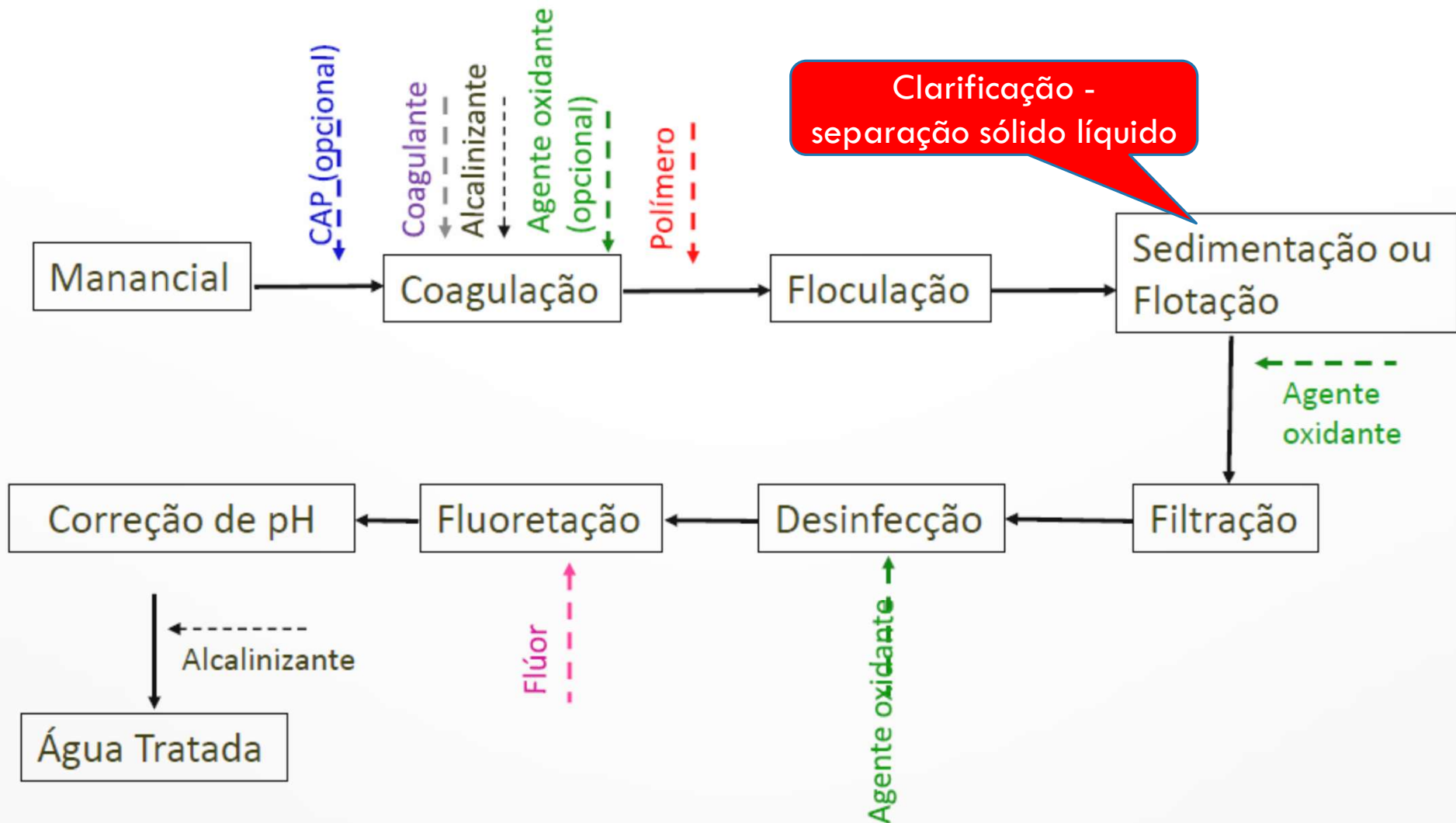
# CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA – SEDIMENTAÇÃO

28/01/2021

# TRATAMENTO CONVENCIONAL



# TRATAMENTO CONVENCIONAL

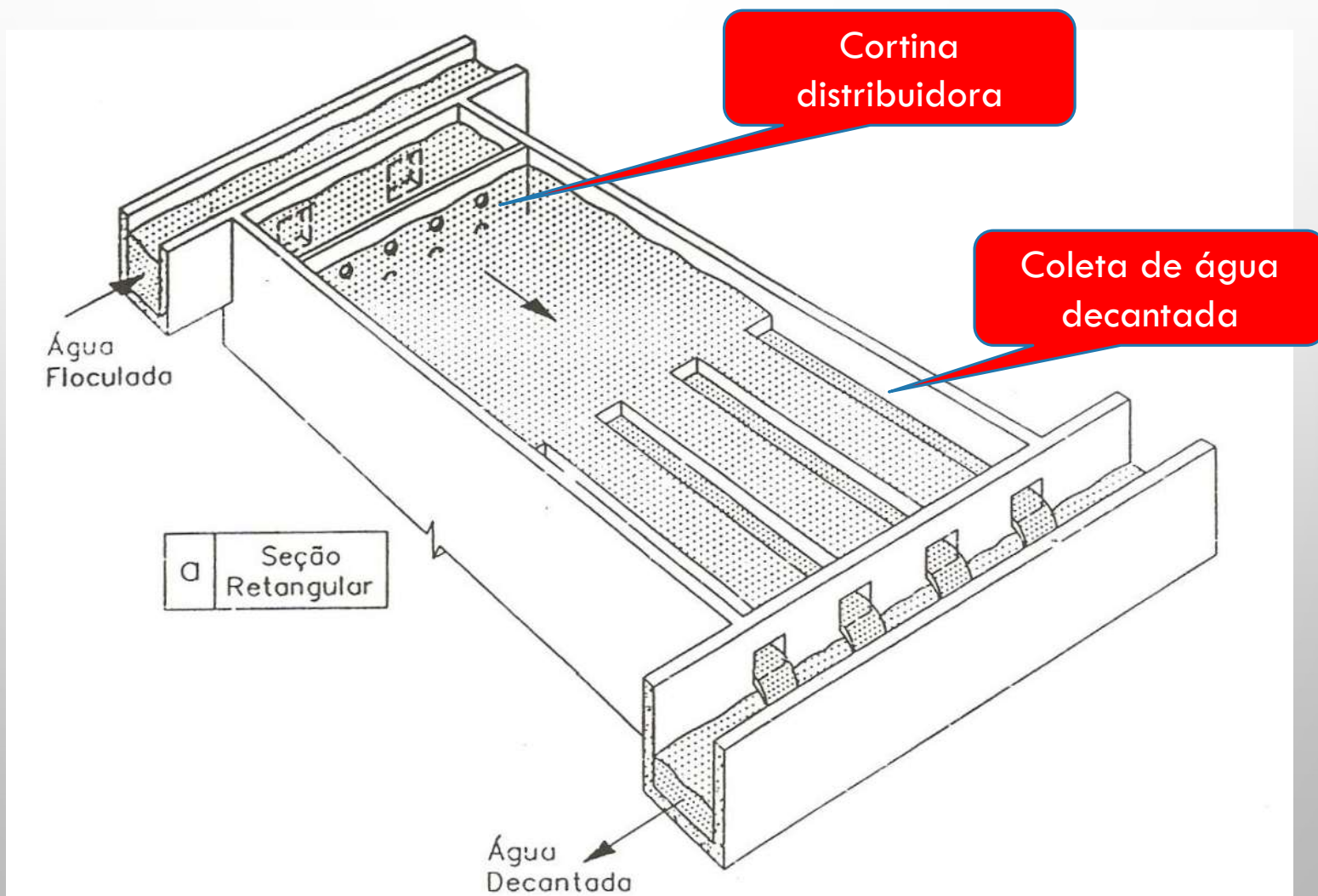


# DECANTADORES



# DECANTADORES

- Convencionais



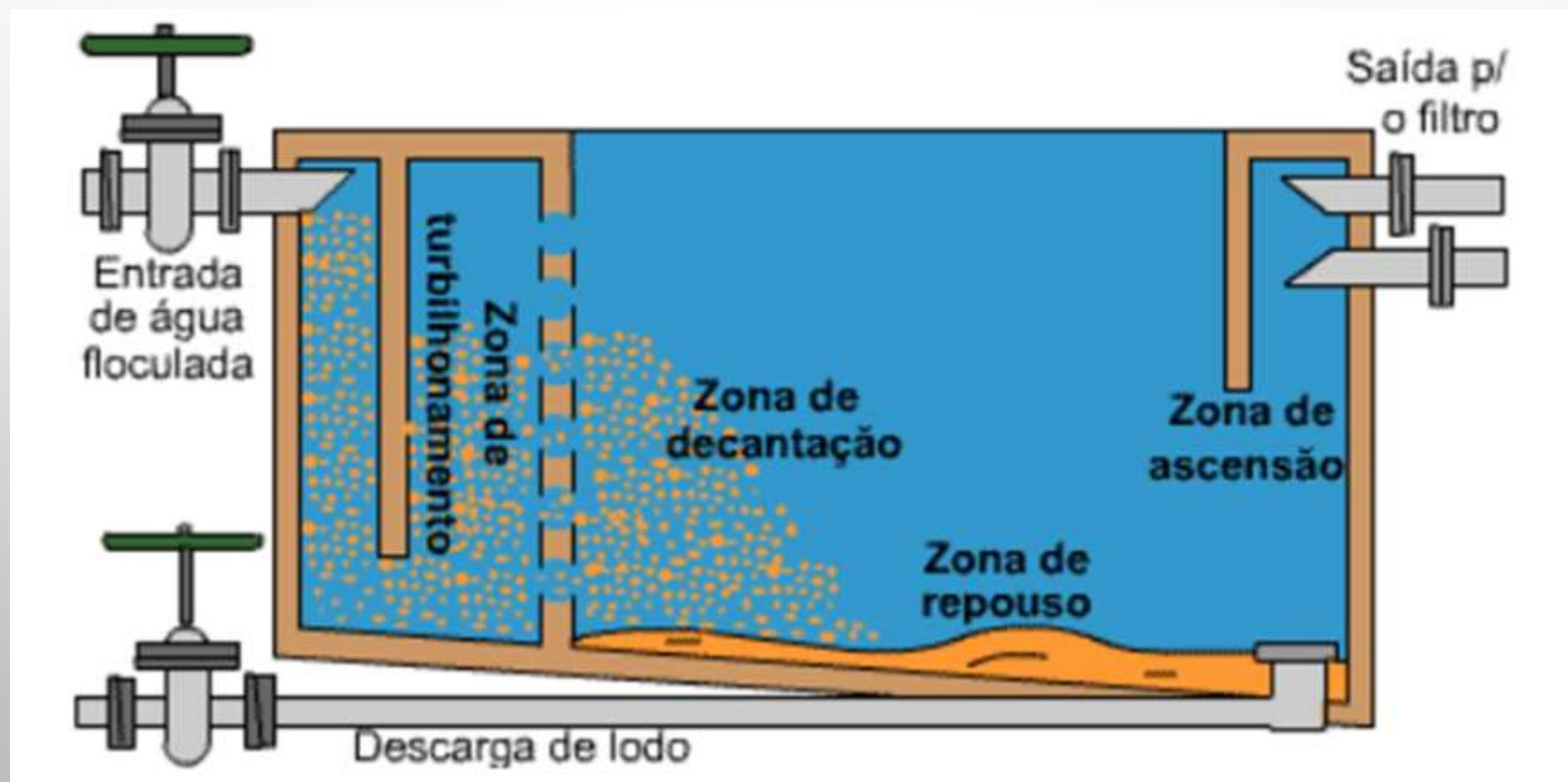
# DECANTADORES

- Convencionais



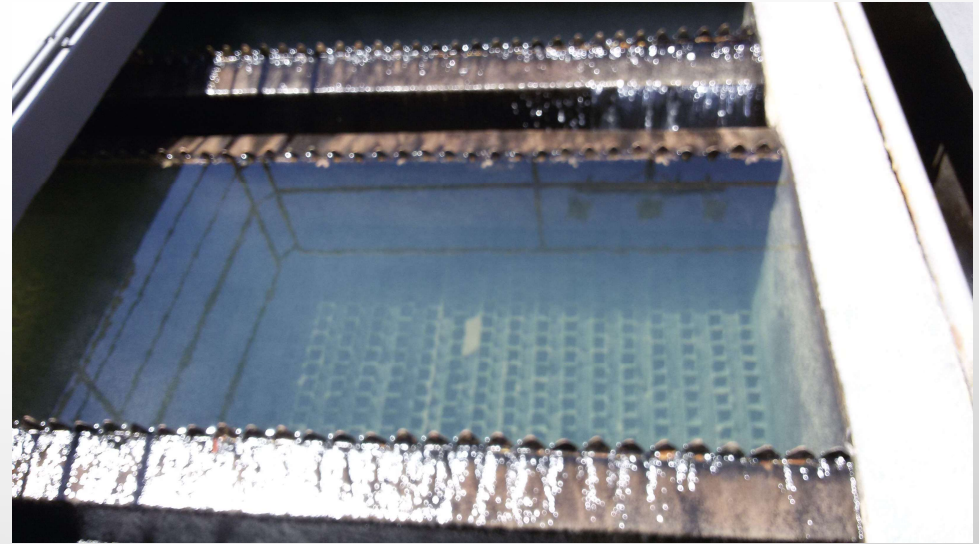
# DECANTADORES

- Convencionais



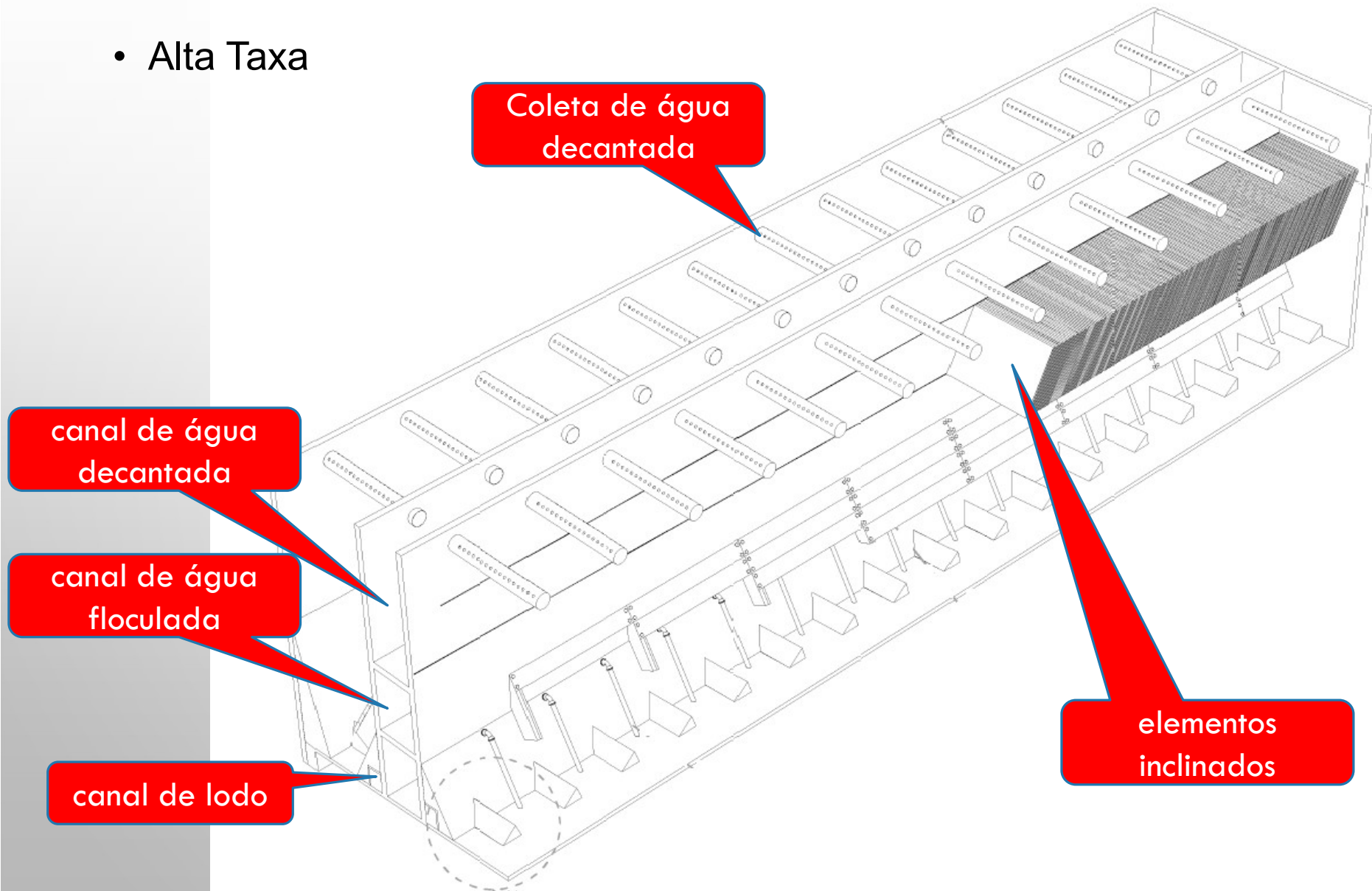
# DECANTADORES

- Alta Taxa



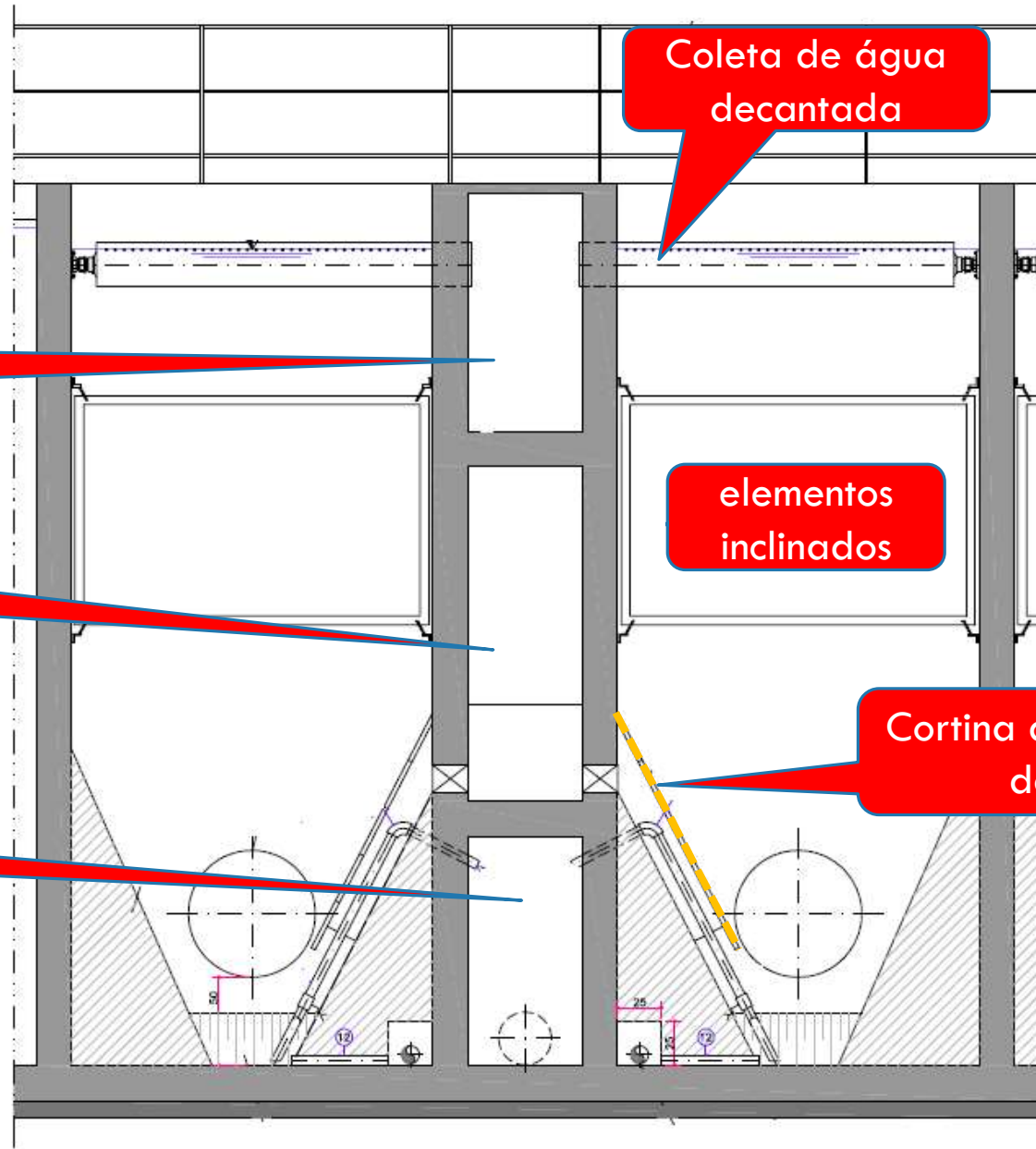
# DECANTADORES

- Alta Taxa



# DECANTADORES

- Alta Taxa



canal de água decantada

canal de água floculada

canal de lodo

Coleta de água decantada

elementos inclinados

Cortina direcionadora de fluxo

# SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

- Partículas coloidais são agregadas até que adquiram um diâmetro que lhes confira uma velocidade de sedimentação elevada o suficiente para que sedimentem e sejam separadas do meio líquido.
- Tipos de sedimentação gravitacional:
  - Discreta
  - Floculenta
  - Em zona
  - Por compressão

# SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

- Partículas coloidais são agregadas até que adquiram um diâmetro que lhes confira uma velocidade de sedimentação elevada o suficiente para que sedimentem e sejam separadas do meio líquido.
- Tipos de sedimentação gravitacional:
  - **Discreta**
  - **Floculenta**
  - Em zona
  - Por compressão

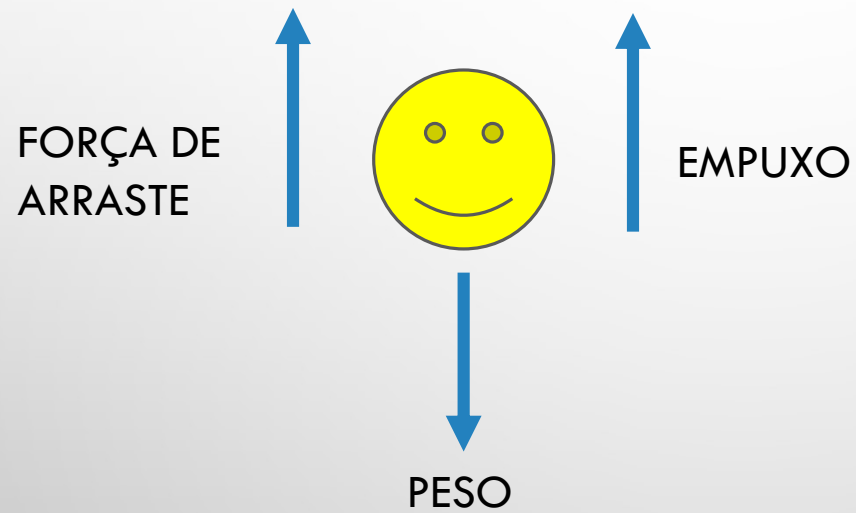
Mais comuns nos decantadores convencionais e de alta taxa

# SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

- Partículas coloidais são agregadas até que adquiram um diâmetro que lhes confira uma velocidade de sedimentação elevada o suficiente para que sedimentem e sejam separadas do meio líquido.
- Tipos de sedimentação gravitacional:
  - **Discreta**
  - **Floculenta**
  - Em zona
  - Por compressão

Mais comuns nos decantadores convencionais e de alta taxa

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

$$F_d = \frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2}$$

FORÇA DE  
ARRASTE



EMPUXO

$$E = \rho_a \cdot V \cdot g$$

PESO

$$P = m \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

$$F_d = \frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2}$$

FORÇA DE  
ARRASTE



EMPUXO

$$E = \rho_a \cdot V \cdot g$$

PESO



$$\sum \text{Forças}$$

$$F_d + E = P$$

$$P = m \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

$$F_d = \frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2}$$

FORÇA DE  
ARRASTE



EMPUXO

$$E = \rho_a \cdot V \cdot g$$

PESO



$$P = m \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

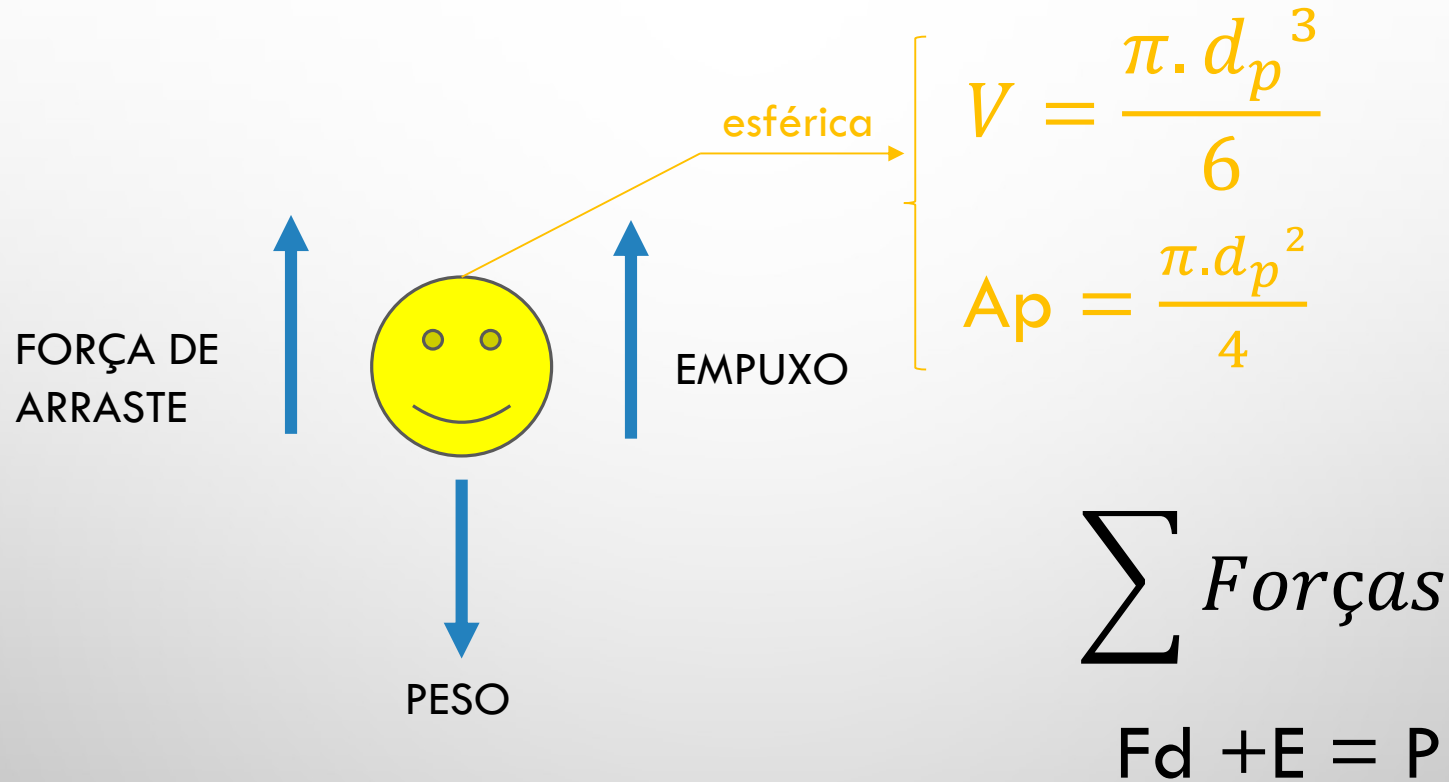
$\sum$  Forças

$$F_d + E = P$$



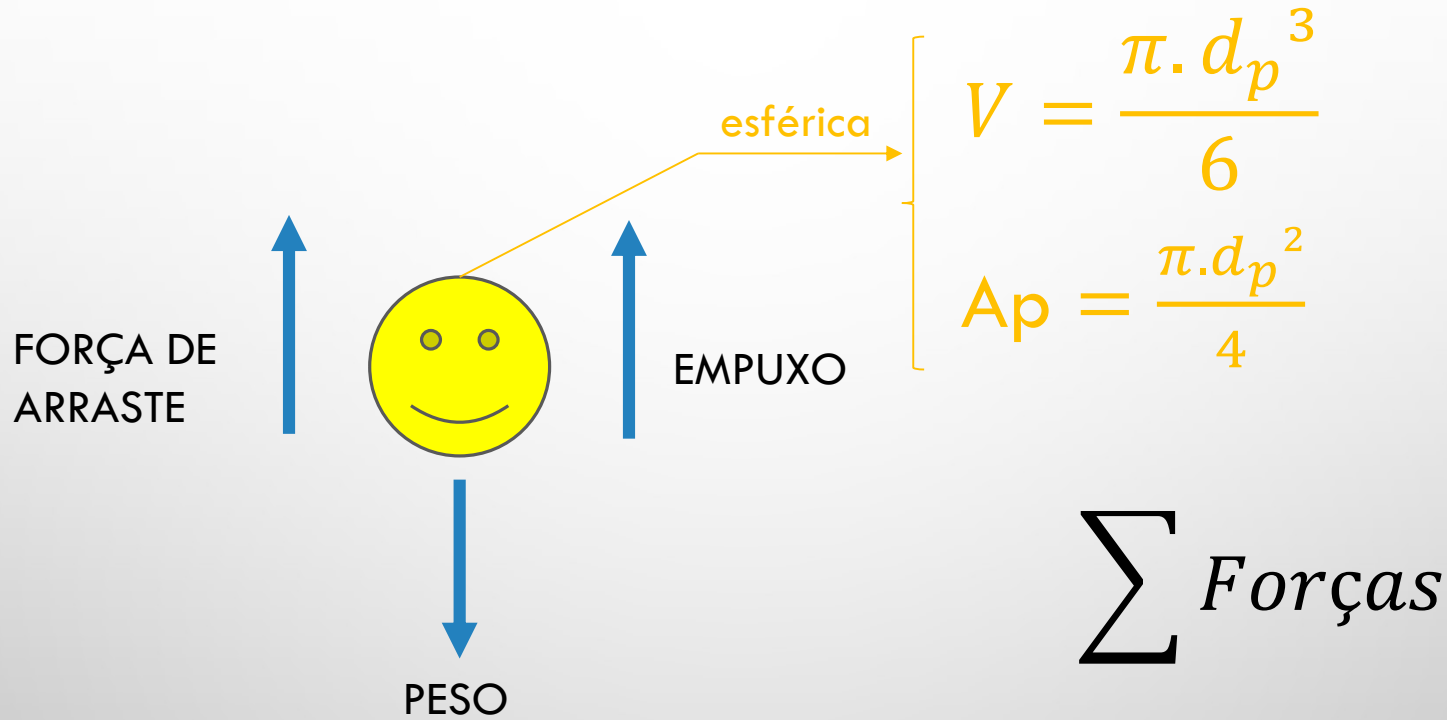
$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

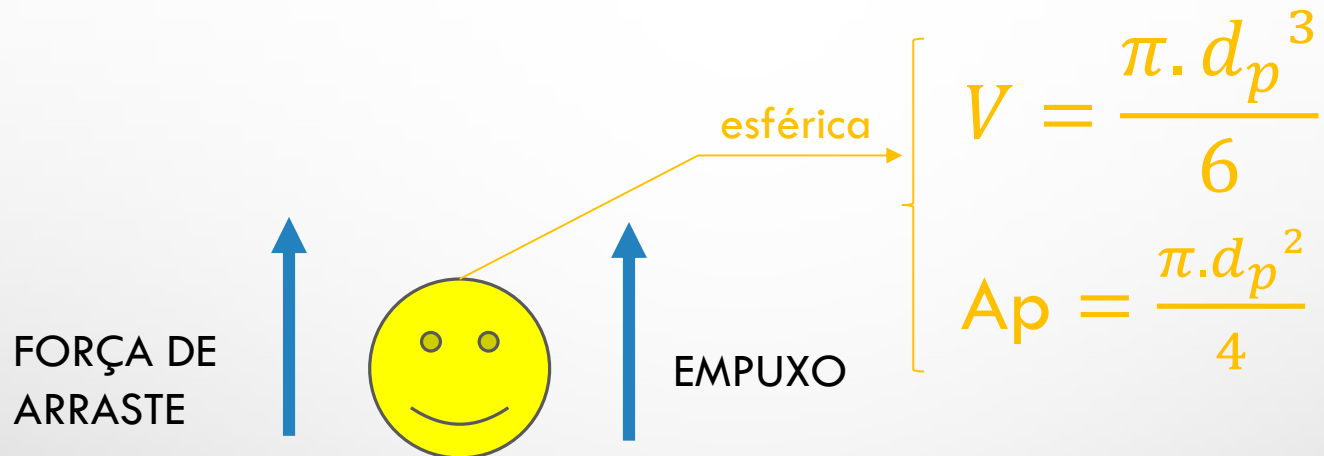


Equação geral de Newton

$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho_a}}$$

$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



Influência da  
coagulação e  
floculação

$$\sum \text{Forças}$$

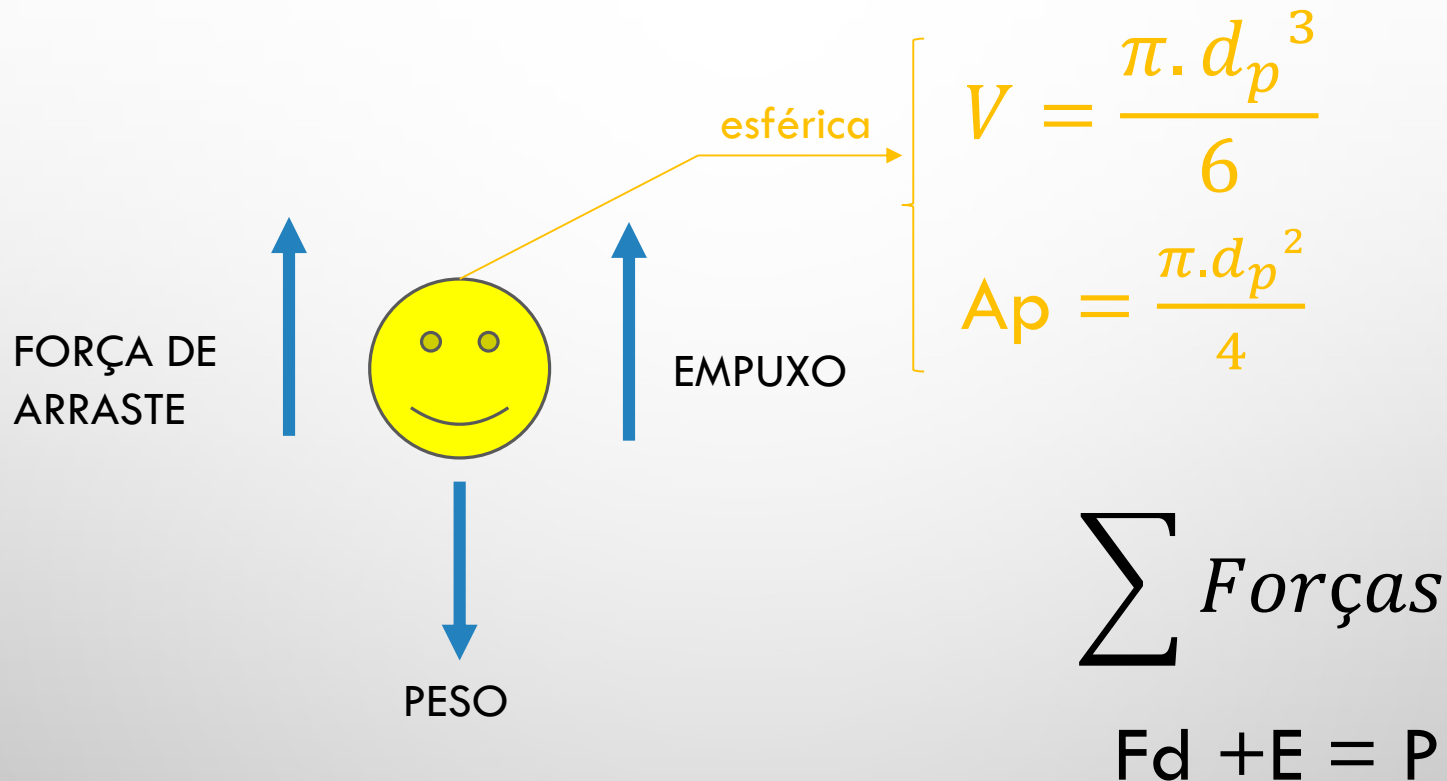
$$F_d + E = P$$



$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho_a}}$$

$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO



$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho_a}}$$

$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

# VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

FORÇA DE  
ARRASTE



EMPUXO



PESO



esférica

$$V = \frac{\pi \cdot d_p^3}{6}$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$$

Características  
geométricas da  
partícula e condições  
de escoamento (Re)

$$\sum \text{Forças}$$

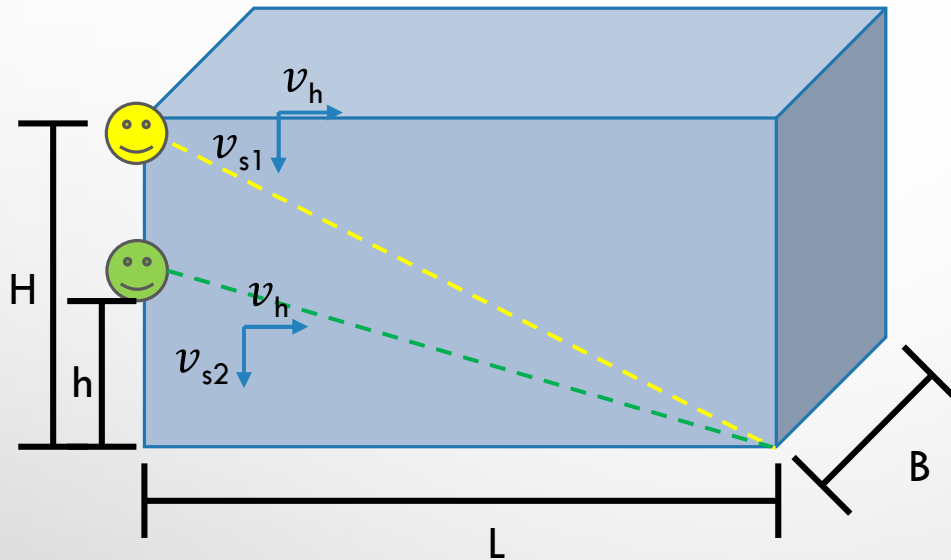
$$F_d + E = P$$



$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho_a}}$$

$$\frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot v_s^2}{2} + \rho_a \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g$$

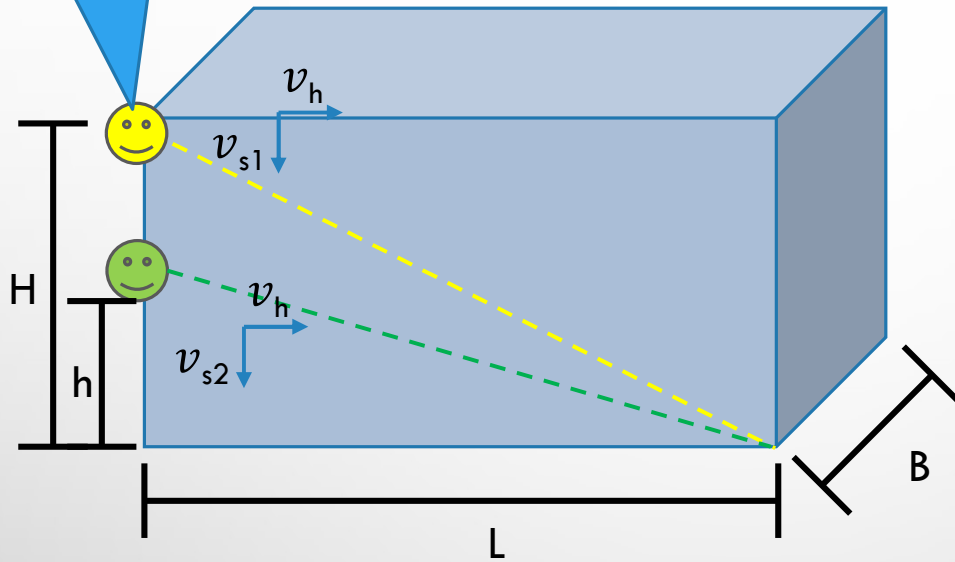
# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA



- Distribuição uniforme das partículas na entrada.
- Não há interação entre as partículas.
- Perfil de velocidades é uniforme ao longo da unidade.
- Partículas são consideradas removidas quando tocam o fundo.

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



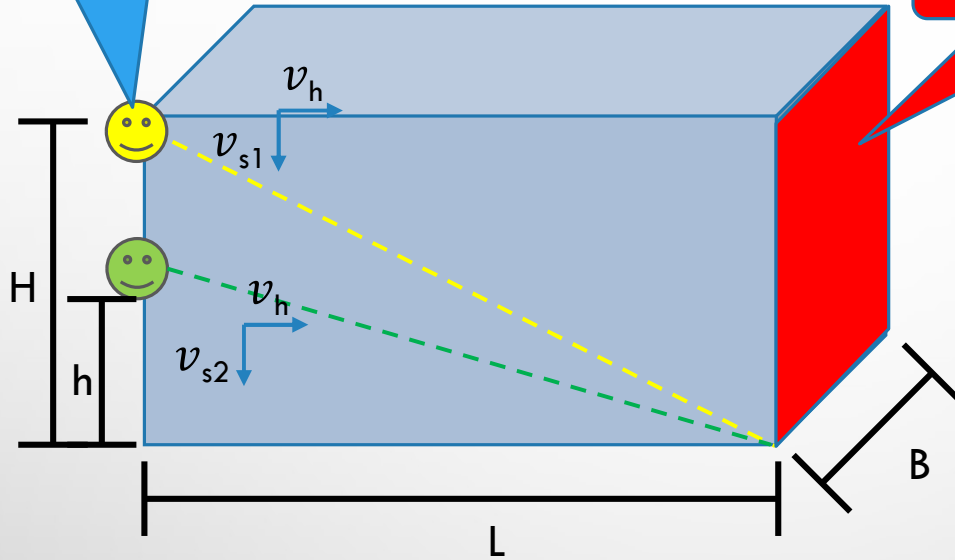
$$v_h = \frac{L}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{H}{t}$$

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica

área de escoamento



$$v_h = \frac{L}{t}$$

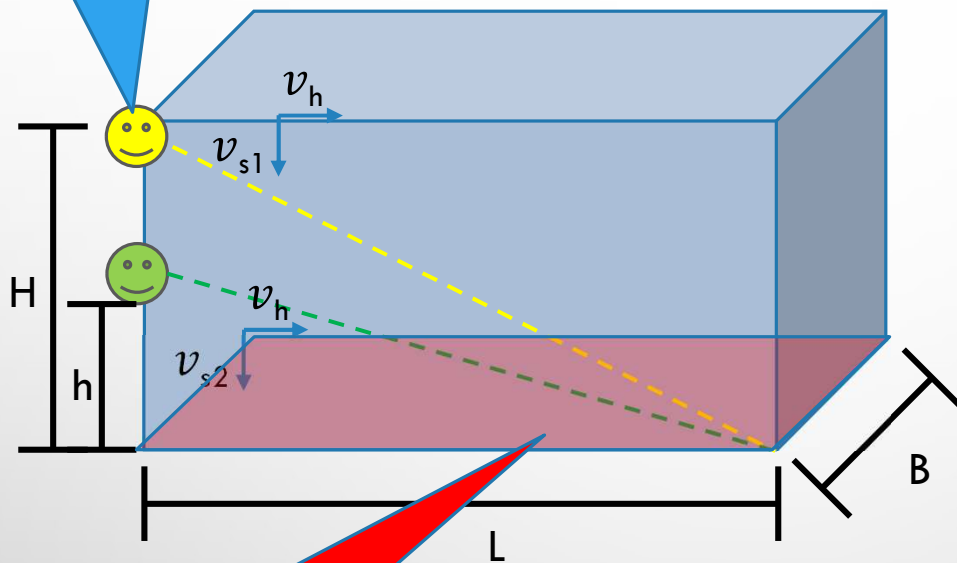
$$v_{s1} = \frac{H}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{v_h \cdot H}{L}$$

$$v_h = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H}$$

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



área de sedimentação

$$vh = \frac{L}{t}$$

$$vs1 = \frac{H}{t}$$

$$vs1 = \frac{vh \cdot H}{L} \quad I$$

$$vh = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} \quad II$$

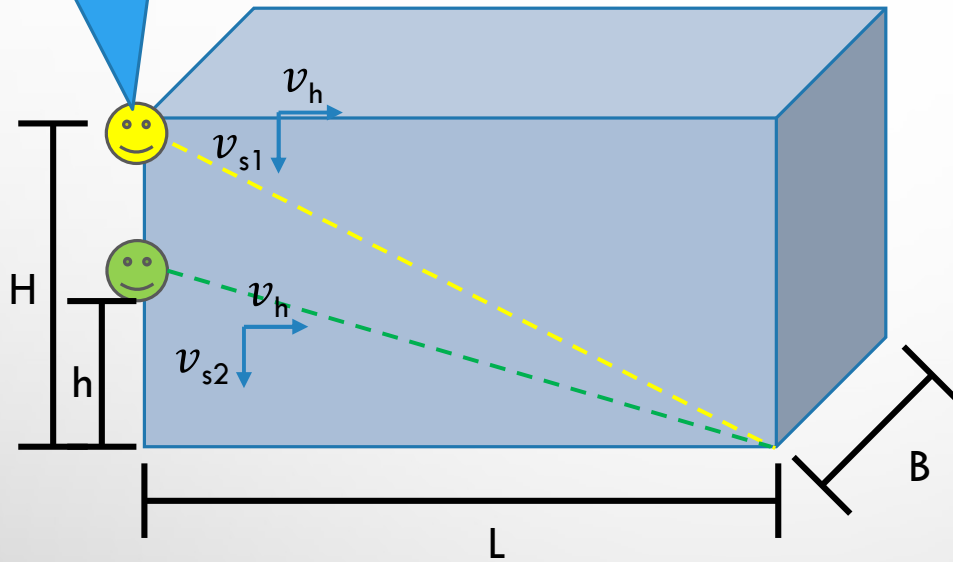
$$vs1 = \frac{Q}{B \cdot L}$$



subs II em I

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



$$v_h = \frac{L}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{H}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{v_h \cdot H}{L} \quad I$$

$$v_h = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} \quad II$$

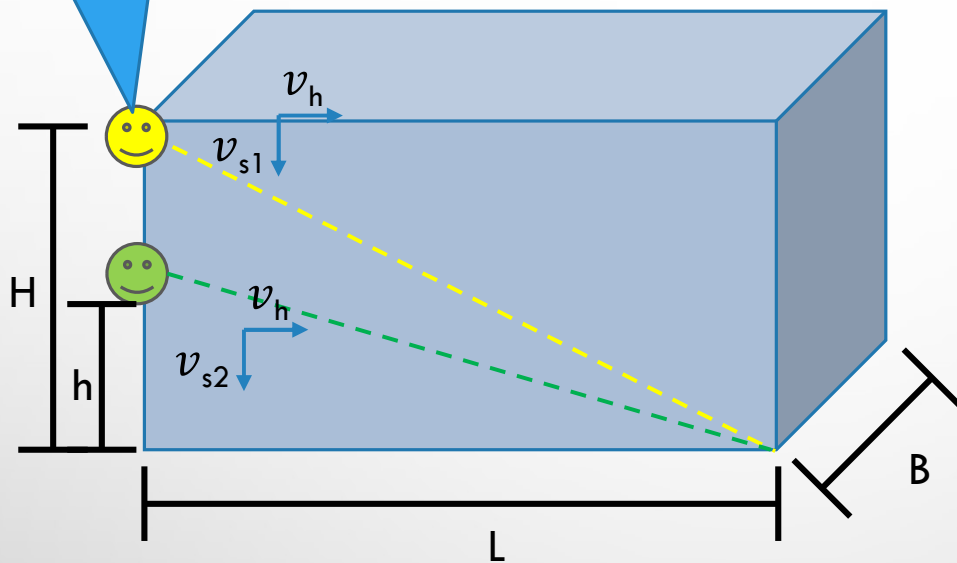
$$f v_{s1} = \frac{Q}{As}$$



subs II em I

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



$$v_h = \frac{L}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{H}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{v_h \cdot H}{L} \quad I$$

$$v_h = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} \quad II$$

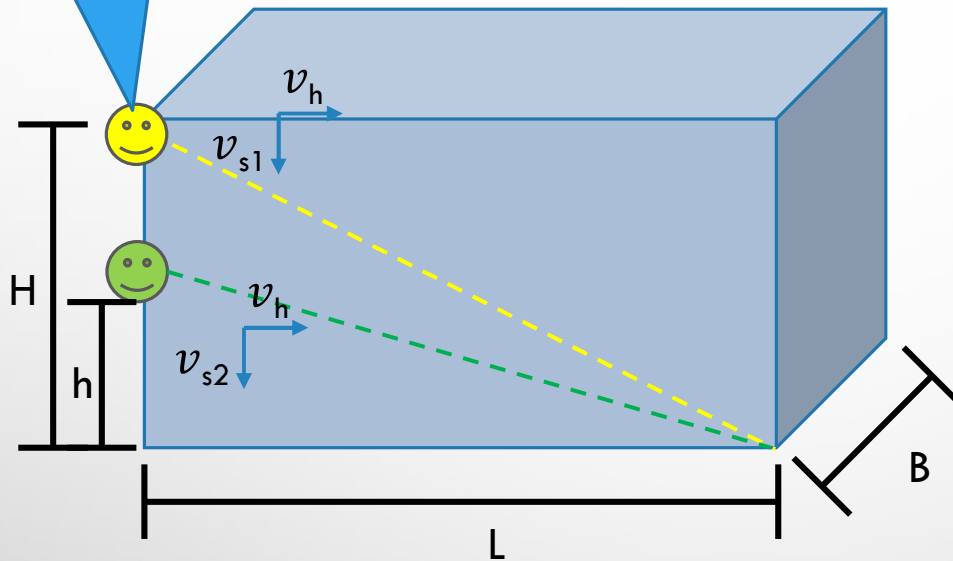
$q = \text{taxa de aplicação superficial}$   
TAS ( $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$ )

$$f v_{s1} = \frac{Q}{As}$$

subs II em I

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



$vs \geq TAS \rightarrow \textit{sedimenta}$

$$vh = \frac{L}{t}$$

$$vs1 = \frac{H}{t}$$

$$vs1 = \frac{vh \cdot H}{L} \quad I$$

$$vh = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} \quad II$$

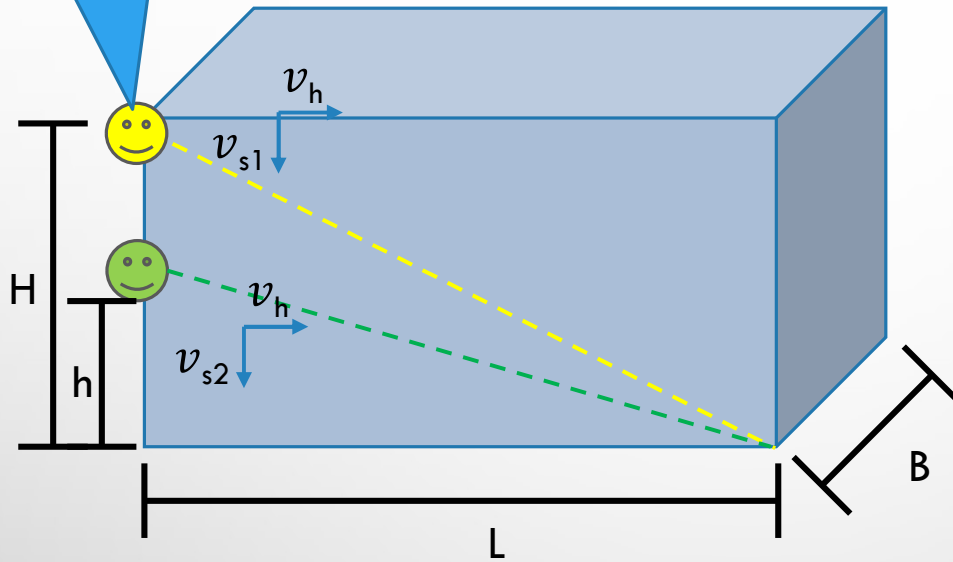
subs II em I

$q = \textit{taxa de aplicação superficial}$   
 $TAS (m^3/m^2 \cdot \textit{dia})$

$$fvs1 = \frac{Q}{As}$$

# SEDIMENTAÇÃO DISCRETA

partícula crítica



$$v_h = \frac{L}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{H}{t}$$

$$v_{s1} = \frac{v_h \cdot H}{L}$$

$$v_h = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H}$$

**$v_s \geq TAS \rightarrow$  sedimenta**

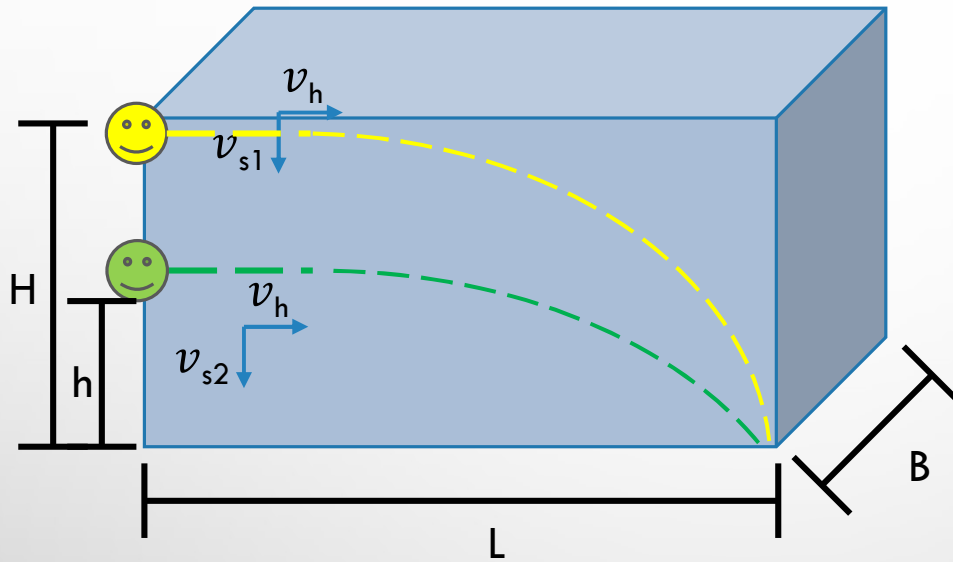
TAS é função da geometria do decantador  
(parâmetro de projeto)

$q =$  taxa de aplicação superficial  
TAS ( $m^3/m^2 \cdot dia$ )

$$fvsc = \frac{Q}{As}$$

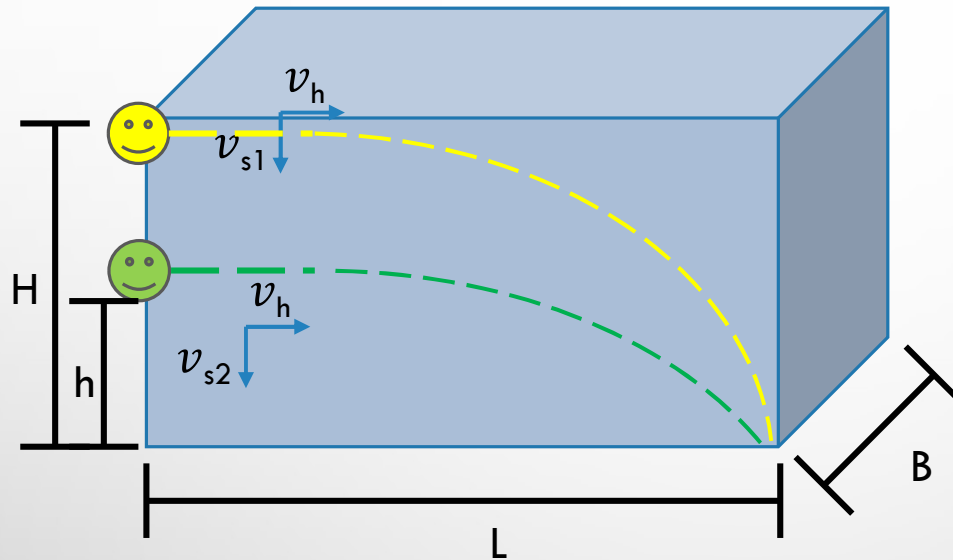
subs II em I

# SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA



- Partículas podem se agregar (aumento de diâmetro).
- Velocidade de sedimentação não é constante.

# SEDIMENTAÇÃO FLOCULENTA



*TAS e velocidade de sedimentação crítica inicial*

- Partículas podem se agregar (aumento de diâmetro).
- Velocidade de sedimentação não é constante.

# NBR 12216

Cópia não autorizada



**ABNT-Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar  
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro - RJ  
Tel.: PABX (021) 210-3122  
Telex: (021) 34333 ABNT - BR  
Endereço Telegráfico:  
NORMATÉCNICA

Copyright © 1995,  
ABNT—Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

ABR 1992

NBR 12216

## **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**

### **Procedimento**

Origem: Projeto 02:009.30-006/1987  
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil  
CE-02:009.30 - Comissão de Estudo de Projeto de Sistema de Abastecimento de  
Água  
NBR 12216 - Public water supply systems - Designs of water treatment works -  
Procedure  
Descriptors: Water. Water supply system  
Esta Norma substitui a NB-592/1977  
Reimpressão da NB-592, JUN 1989

**Palavras-chave:** Abastecimento de água. Água

**18 páginas**

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Decantadores convencionais

**5.10.4.1** Não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação devem ser as seguintes:

- a) estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- b) estações com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom controle operacional, 2,43 cm/min (35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia); caso contrário, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia );
- c) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, 2,80 cm/min (40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia).

- Altura: entre 3 e 5 m.
- Relação usual L/B: 4
- $Re \leq 20.000$
- $Fr \geq 10^{-5}$
- Td: entre 1,5 a 3 h

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Decantadores convencionais

**5.10.4.1** Não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação devem ser as seguintes:

- a) estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- b) estações com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom controle operacional, 2,43 cm/min (35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia); caso contrário, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia );
- c) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, 2,80 cm/min (40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia).

- Altura: entre 3 e 5 m.
- Relação usual L/B: 4
- $Re \leq 20.000$
- $Fr \geq 10^{-5}$
- Td: entre 1,5 a 3 h

**5.10.2** O número de decantadores da ETA depende de fatores operacionais e econômicos, observando-se o seguinte:

- a) estações com capacidade inferior a 1000 m<sup>3</sup>/dia, em operação contínua, ou estações com capacidade de até 10000 m<sup>3</sup>/dia, com período de funcionamento inferior a 18 h/dia, podem dispor de apenas uma unidade de decantação, desde que não-mecanizada;
- b) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, ou com período de funcionamento superior a 18 h/dia ou ainda em que os decantadores são mecanizados, devem contar pelo menos com duas unidades iguais.

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Decantadores convencionais

**5.10.4.1** Não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação devem ser as seguintes:

- a) estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- b) estações com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom controle operacional, 2,43 cm/min (35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia); caso contrário, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- c) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, 2,80 cm/min (40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia).

- Altura: entre 3 e 5 m.
- Relação usual L/B: 4
- $Re \leq 20.000$
- $Fr \geq 10^{-5}$
- Td: entre 1,5 a 3 h

**5.10.2** O número de decantadores da ETA depende de fatores operacionais e econômicos, observando-se o seguinte:

- a) estações com capacidade inferior a 1000 m<sup>3</sup>/dia, em operação contínua, ou estações com capacidade de até 10000 m<sup>3</sup>/dia, com período de funcionamento inferior a 18 h/dia, podem dispor de apenas uma unidade de decantação, desde que não-mecanizada;
- b) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, ou com período de funcionamento superior a 18 h/dia ou ainda em que os decantadores são mecanizados, devem contar pelo menos com duas unidades iguais.

**5.10.8.4** Em decantadores convencionais e nos de elementos tubulares de fluxo horizontal, para os quais a velocidade de sedimentação  $V_s$  tenha sido determinada através de laboratório, a vazão por metro de vertedor ou de tubo perfurado de coleta deve ser igual ou inferior a:

$$q = 0,018 HV_s$$

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Decantadores convencionais

**5.10.4.1** Não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação devem ser as seguintes:

- a) estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- b) estações com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom controle operacional, 2,43 cm/min (35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia); caso contrário, 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);
- c) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, 2,80 cm/min (40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia).

- Altura: entre 3 e 5 m.
- Relação usual L/B: 4
- $Re \leq 20.000$
- $Fr \geq 10^{-5}$
- Td: entre 1,5 a 3 h

**5.10.2** O número de decantadores da ETA depende de fatores operacionais e econômicos, observando-se o seguinte:

- a) estações com capacidade inferior a 1000 m<sup>3</sup>/dia, em operação contínua, ou estações com capacidade de até 10000 m<sup>3</sup>/dia, com período de funcionamento inferior a 18 h/dia, podem dispor de apenas uma unidade de decantação, desde que não-mecanizada;
- b) estações com capacidade superior a 10000 m<sup>3</sup>/dia, ou com período de funcionamento superior a 18 h/dia ou ainda em que os decantadores são mecanizados, devem contar pelo menos com duas unidades iguais.

**5.10.8.4** Em decantadores convencionais e nos de elementos tubulares de fluxo horizontal, para os quais a velocidade de sedimentação  $V_s$  tenha sido determinada através de laboratório, a vazão por metro de vertedor ou de tubo perfurado de coleta deve ser igual ou inferior a:

$$q = 0,018 HV_s$$

**1,8 L/s por metro.**

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Decantadores convencionais

- Entrada de água: velocidade no canal de água floculada  $> 0,15$  m/s (pra não sedimentar)
- Área dos orifícios da cortina distribuidora ( $G \leq 20$  s<sup>-1</sup>)

# PARÂMETROS DE PROJETO

Decantadores alta taxa

$$fvsc = \frac{Q}{As}$$

5.10.3.2 Em decantadores de elementos tubulares inclinados, o fator de área é determinado pela expressão:

$$f = \frac{\text{sen} \theta (\text{sen} \theta + L \cos \theta)}{S}$$

Onde:

$\theta$  = ângulo de inclinação dos elementos tubulares, em graus

$L = l/d$ , superior ou igual a 12, adimensional

$l$  = comprimento do elemento tubular ou da placa, em m

$d$  = diâmetro interno do elemento tubular ou distância entre unidades sucessivas de placas paralelas, em m

$S$  = fator de eficiência (1,0 para placas planas paralelas, 4/3 para tubos circulares e 11/8 para tubos quadrados), adimensional

# PARÂMETROS DE PROJETO

Exemplo de aplicação:

$$fvsc = \frac{Q}{As}$$

Q(ETA) = 100 L/s

TAS dec. conv. = 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Área superficial = ?

(f = 1,00)

# PARÂMETROS DE PROJETO

Exemplo de aplicação:

$$fvsc = \frac{Q}{As}$$

$$Q(ETA) = 100 \text{ L/s}$$

$$\text{TAS dec. conv.} = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$$

$$\text{Área superficial} = ?$$

$$(f = 1,00)$$

$$Q \rightarrow \text{m}^3/\text{dia} (8640 \text{ m}^3/\text{dia})$$

$$A = 216 \text{ m}^2$$

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Exemplo de aplicação:

Para mesma TAS, qual a área necessária considerando decantador de alta taxa com placas planas paralelas inclinadas a  $60^\circ$  com a horizontal, sendo  $l = 1,20$  m e  $d = 0,05$  m?

**5.10.3.2** Em decantadores de elementos tubulares inclinados, o fator de área é determinado pela expressão:

$$f = \frac{\text{sen}\theta (\text{sen}\theta + L \cos\theta)}{S}$$

Onde:

$\theta$  = ângulo de inclinação dos elementos tubulares, em graus

$L = l/d$ , superior ou igual a 12, adimensional

$l$  = comprimento do elemento tubular ou da placa, em m

$d$  = diâmetro interno do elemento tubular ou distância entre unidades sucessivas de placas paralelas, em m

$S$  = fator de eficiência (1,0 para placas planas paralelas,  $4/3$  para tubos circulares e  $11/8$  para tubos quadrados), adimensional

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Exemplo de aplicação:

Para mesma TAS, qual a área necessária considerando decantador de alta taxa com placas planas paralelas inclinadas a  $60^\circ$  com a horizontal, sendo  $l = 1,20$  m e  $d = 0,05$  m?

$$f = 11,15$$

$$A = (8640)/(40*11,15) = 19,37 \text{ m}^2$$

**5.10.3.2** Em decantadores de elementos tubulares inclinados, o fator de área é determinado pela expressão:

$$f = \frac{\text{sen}\theta (\text{sen}\theta + L \text{cos}\theta)}{S}$$

Onde:

$\theta$  = ângulo de inclinação dos elementos tubulares, em graus

$L = l/d$ , superior ou igual a 12, adimensional

$l$  = comprimento do elemento tubular ou da placa, em m

$d$  = diâmetro interno do elemento tubular ou distância entre unidades sucessivas de placas paralelas, em m

$S$  = fator de eficiência (1,0 para placas planas paralelas,  $4/3$  para tubos circulares e  $11/8$  para tubos quadrados), adimensional

# PARÂMETROS DE PROJETO

## Exemplo de aplicação:

Para mesma TAS, qual a área necessária considerando decantador de alta taxa com placas planas paralelas inclinadas a  $60^\circ$  com a horizontal, sendo  $l = 1,20$  m e  $d = 0,05$  m?

$$f = 11,15$$

$$A = (8640)/(40 \cdot 11,15) = 19,37 \text{ m}^2$$

Pode-se então trabalhar com TAS maiores ( $150 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ ) e tempos de detenção menores (até 1 h)

5.10.3.2 Em decantadores de elementos tubulares inclinados, o fator de área é determinado pela expressão:

$$f = \frac{\text{sen} \theta (\text{sen} \theta + L \cos \theta)}{S}$$

Onde:

$\theta$  = ângulo de inclinação dos elementos tubulares, em graus

$L = l/d$ , superior ou igual a 12, adimensional

$l$  = comprimento do elemento tubular ou da placa, em m

$d$  = diâmetro interno do elemento tubular ou distância entre unidades sucessivas de placas paralelas, em m

$S$  = fator de eficiência (1,0 para placas planas paralelas,  $4/3$  para tubos circulares e  $11/8$  para tubos quadrados), adimensional

# DEC. CONVENCIONAL x ALTA TAXA



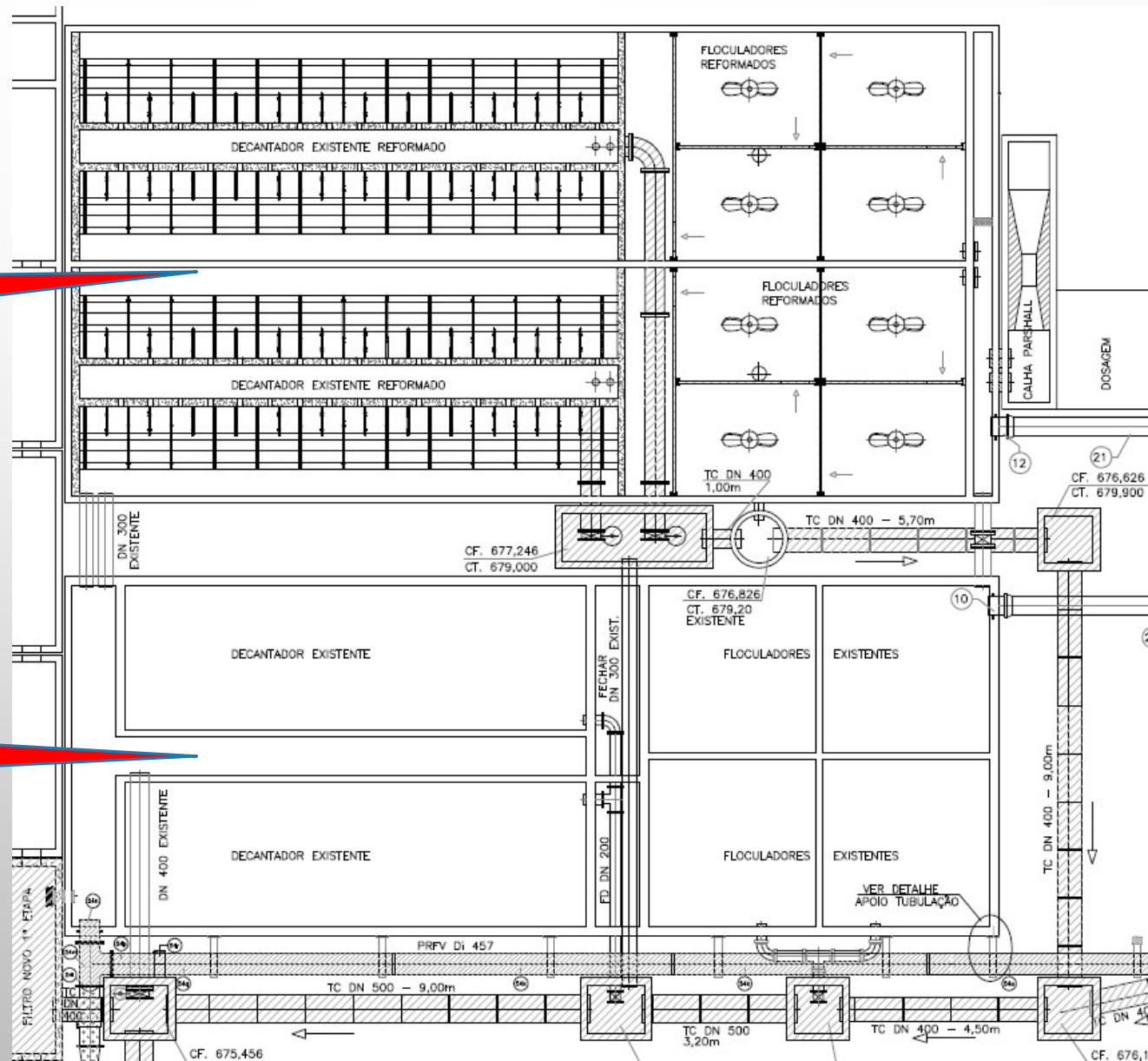
# ETA TELÊMACO BORBA



# ETA TELÊMACO BORBA

160 L/s

60 L/s

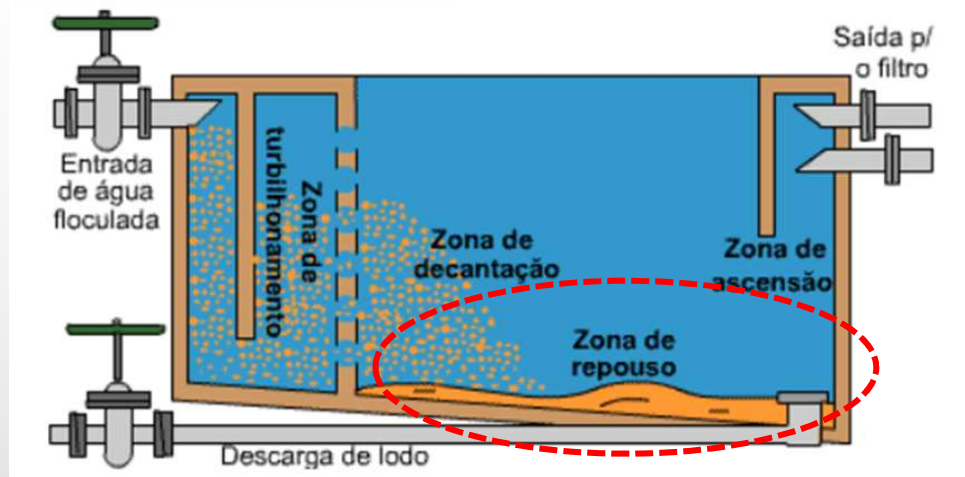


# ETA TELÊMACO BORBA



320 L/s

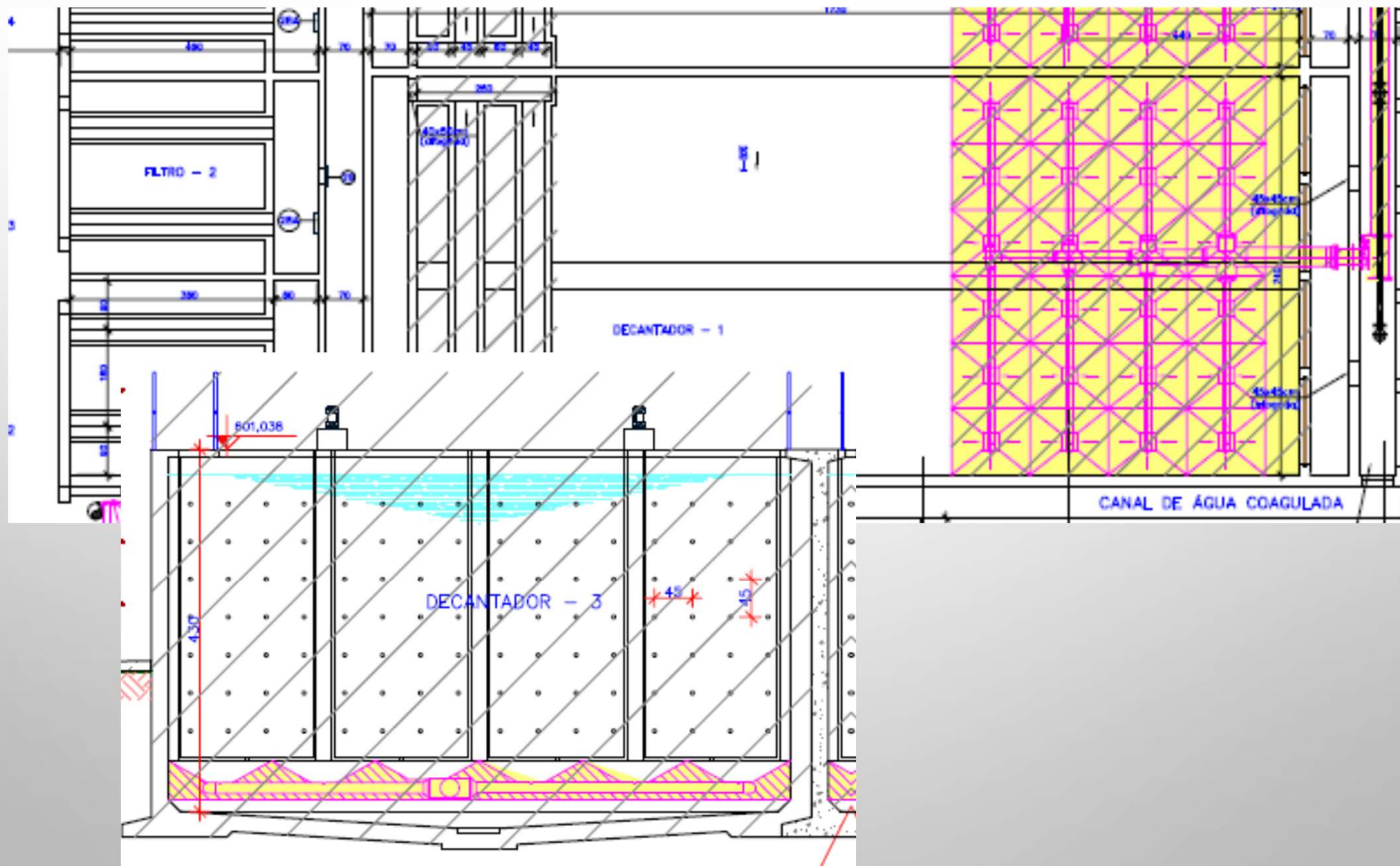
# REMOÇÃO DE LODO



# REMOÇÃO DE LODO



# REMOÇÃO DE LODO



# REMOÇÃO DE LODO



# REMOÇÃO DE LODO

