

# Aula 11: Separação Sólido-Fluido

## Parte II: Sedimentação



Prof. Dr. Wanderley P. de Oliveira

Lagoa Azul - Jericoacoara

### **B) Sedimentação**

↳ **Definição:** Movimento de partículas no seio de um fluido, produzida pela ação da gravidade, nas condições em que a densidade do sólido for maior que a densidade do fluido.

↳ **Aplicações:** clarificação de líquidos; concentração de suspensões; lavagem de sólidos, etc

## ↳ Fatores que Afetam a Velocidade de Sedimentação

- diferenças de densidade entre o sólido e o fluido;
  - viscosidade do meio;
  - diâmetro e forma das partículas.
- + importantes: diâmetro e densidades.

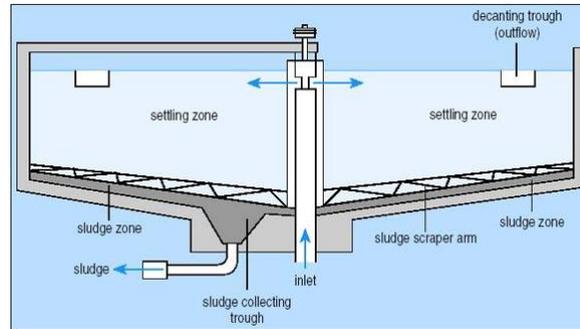
Sedimentação

## B.) Tipos de Sedimentadores

↳ - **Descontínuos:** Tanques de sedimentação

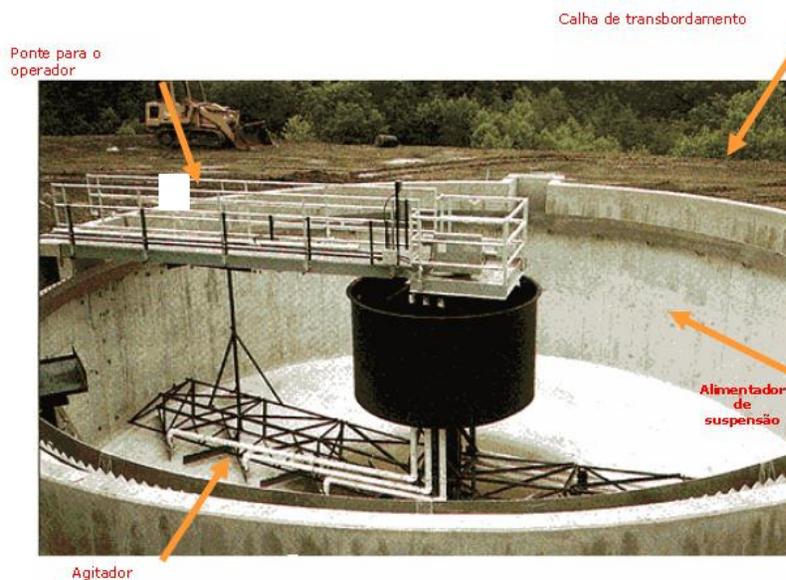


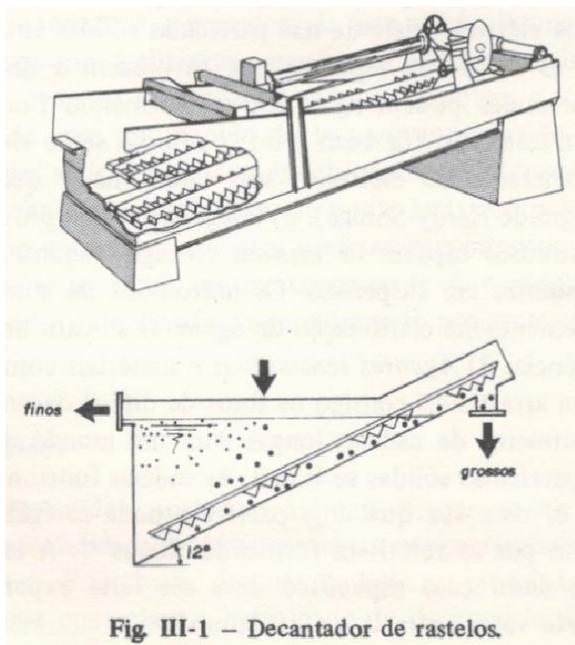
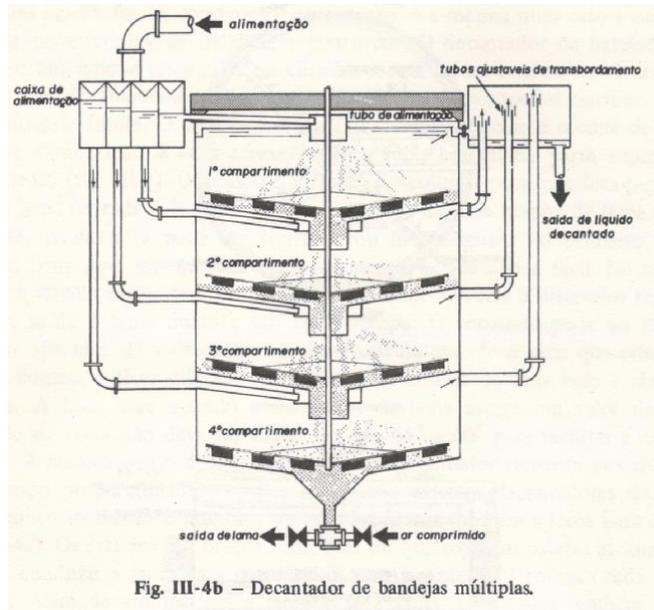
↪ - **Contínuos: Tanques rasos de grande diâmetro.**



↪ O sedimentador mais comum consiste de um tanque cilíndrico de fundo cônico equipado com rastelos que giram lentamente ( $1,50 \text{ m} \leq D \leq 80 \text{ m}$ ;  $0,50 \text{ m} \leq H \leq 1,00 \text{ m}$ ).

**SEDIMENTADOR VAZIO**





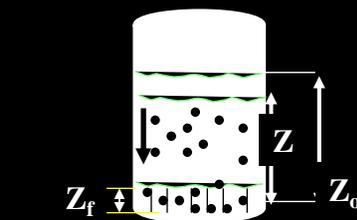
**Em relação à finalidade são classificados como:**

**Clarificadores:** fase de interesse é o líquido limpo.

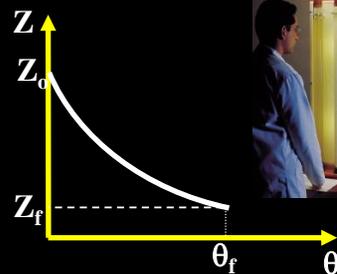
**Espessadores:** fase de interesse é a zona de lama.

### B.3) Projeto de Equipamentos para sedimentação

↳ **B.3.1 Suspensões diluídas (Clarificadores):** Coloca-se uma amostra homogênea da mistura sólido fluido em uma proveta graduada e, determina-se a altura interface sedimento-suspensão formada como uma função do tempo transcorrido. A seguir constrói-se a curva de sedimentação.



Ensaio de sedimentação



↪ **O projeto de um sedimentador resume-se na determinação da área necessária para se obter um produto com especificações próximas às desejadas.**

$$S = \frac{Q_A}{u}$$

onde,  $Q_A$  é a vazão volumétrica de alimentação de suspensão no sedimentador;  
e,

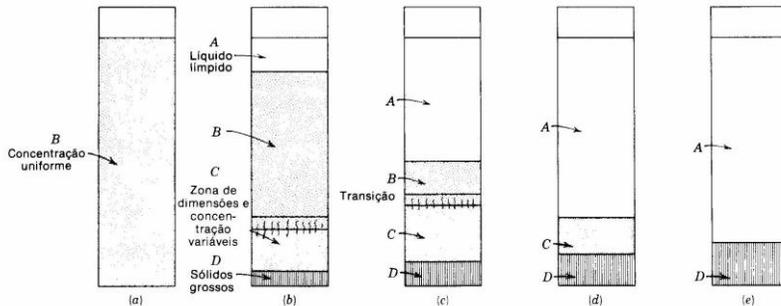
$$u = \frac{Z_0 - Z_f}{\theta_f}$$

Sedimentação

↪ **Um meio de se aumentar a velocidade de sedimentação é pela adição de coadjuvantes de sedimentação, como por exemplo polímeros floculantes, tensoativos, aluminato de potássio, etc.**

### ↳ B.3.2 Suspensões concentradas (Espessadores):

↳ Comportamento de suspensões concentradas colocadas em um cilindro graduado em função do tempo transcorrido.



**A: Líquido Límpido**

**B: Concentração Uniforme**

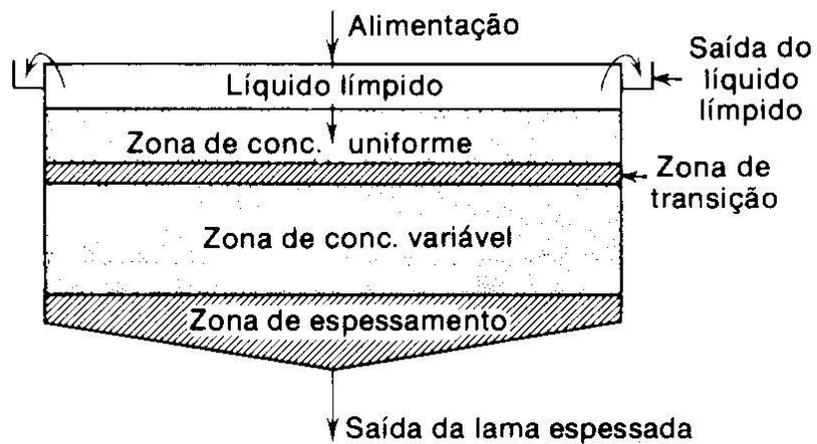
**C: Zona de Dimensões e Concentrações Variáveis**

**D: Sólidos Grossos**

**T: Transição**

↳ Em um instante entre (d) e (e) ocorre o *ponto crítico*, *i*, isto é, o ponto em que se observa uma única interface entre o líquido límpido e os sedimentos. Na sedimentação contínua as mesmas regiões de concentração estão presentes. Entretanto, após ocorrer o regime permanente, as alturas das regiões permanecem constantes

## SEDIMENTAÇÃO CONTÍNUA

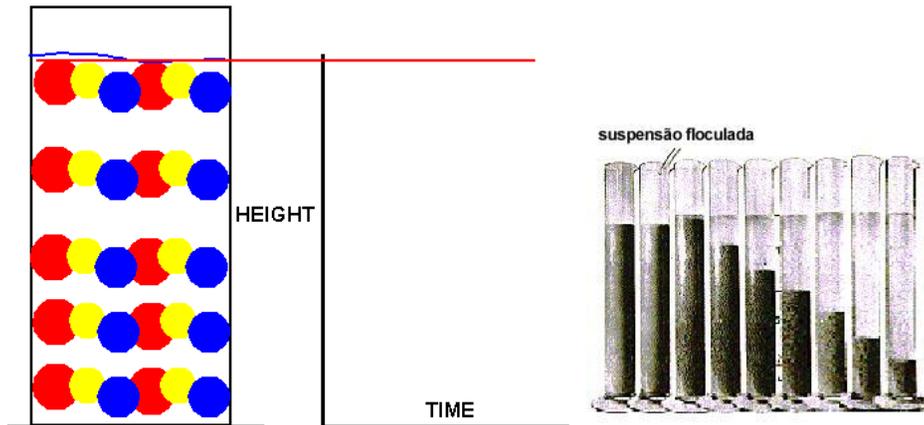


↪ **Projeto de decantadores para suspensões concentradas.**

**Existem 4 métodos que podem ser usados:**

- **Coe e Clevenger;**
- **Kynch;**
- **Talmadge e Fitch;**
- **Roberts.**

## Ensaio de Proveta



Sedimentação

### ↪ 1) Método de *Coe e Clevenger*:

#### Hipóteses:

1º) A velocidade de concentração em cada região é função da concentração local, i. é,

$$u = f(c)$$

2º) As características do sedimento não se alteram ao se passar da escala de laboratório para a escala industrial.

WPO

↳ 1) Método de *Coe e Clevenger*:

Procedimento de cálculo:

a) Determina-se a velocidade inicial de sedimentação para várias concentrações até que se tenha dados suficientes para se conhecer a relação funcional entre  $u$  e  $C$ .

$$u = u_1; u_2; u_3; \dots, u_n.$$

$$C = c_1; c_2; c_3; \dots, c_n.$$

b) A seguir determina-se a área de sedimentação para os vários pares  $C$  e  $u$ , utilizando-se a seguinte relação (balanço de massa):

$$S = \frac{Q_A \cdot C_A \cdot \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_E} \right)}{u}$$

onde;

$S$  = área do sedimentador;

$Q_A$  = vazão volumétrica da suspensão alimentada;

$C_A$  = concentração de sólidos na alimentação;

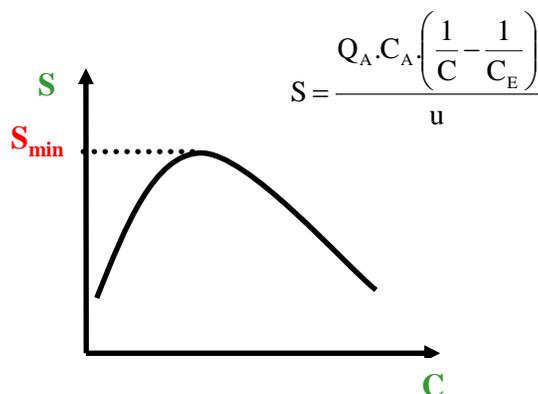
$C$  = concentração de sólidos na zona limite;

$C_E$  = concentração de sólidos no produto (lama).

↳ 1) Método de *Coe e Clevenger*:

A seguir se construir um gráfico de  $S$  em função de  $C$ . O maior valor obtido será a *área mínima de sedimentação*

C	u	S
$C_1$	$u_1$	$S_1$
$C_2$	$u_2$	$S_2$
$C_3$	$u_3$	$S_3$
$C_n$	$u_n$	$S_n$

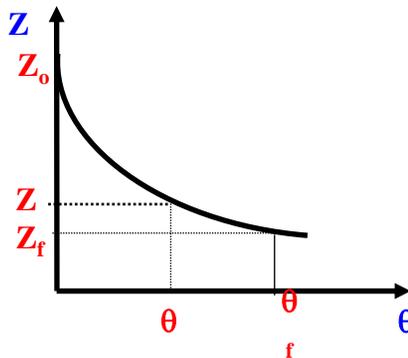


Determinação da área de sedimentação

↪ 2) Método de *Kynch*:

↪ Nesse método utiliza-se apenas um ensaio de sedimentação, partindo-se da concentração inicial.

a) Construir a curva de sedimentação da suspensão em estudo;

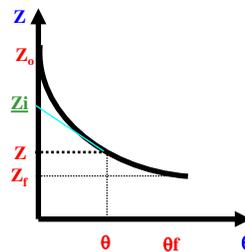


↪ 2) Método de *Kynch*:

↪ A partir desse gráfico determinam-se diversos pares u e C;

$$u = -\frac{dZ}{d\theta} = \frac{Z_i - Z}{\theta}$$

$$C = \frac{Z_0 \cdot C_0}{Z_i}$$



↪ Com os diversos pares assim determinados, calculam-se os valores correspondentes da área de sedimentação. O valor máximo será a área mínima do sedimentador.

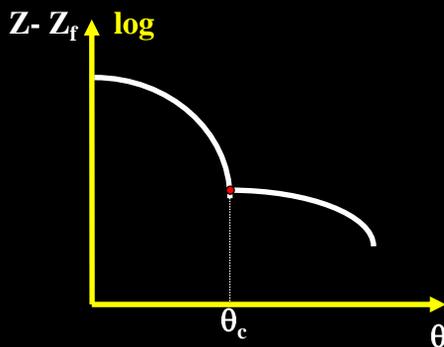
### ↪ 3) Método de Roberts:

↪ Permite a determinação exata do ponto crítico. O procedimento é o seguinte:

a) Construir um gráfico de  $Z-Z_f$  em função de  $\theta$  em papel mono-log. A curva obtida apresentará uma descontinuidade no ponto crítico, permitindo dessa forma sua determinação. A seguir, utiliza-se a curva de sedimentação para se determinar  $C_c$  e  $u_c$ .

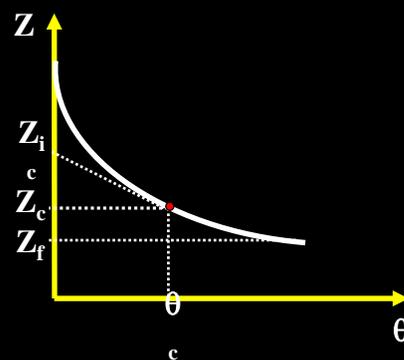
WPO

### ↪ 3) Método de Roberts:



$$C_c = \frac{Z_0 \cdot C_0}{Z_{ic}}$$

$$u_c = \frac{Z_{ic} - Z_c}{\theta_c}$$

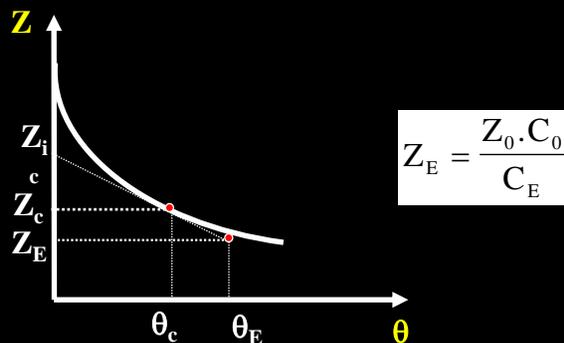


$$S = \frac{Q_A \cdot C_A \left( \frac{1}{C_c} - \frac{1}{C_E} \right)}{u_c}$$

área mínima

↳ 4) Método de *Talmadge e Fitch*:

↳ Conhecendo-se o ponto crítico na curva de sedimentação, determina-se o ponto  $\theta_E$ , pelo cruzamento da tangente no ponto crítico com a linha horizontal  $Z = Z_E$ , onde  $Z_E$  é a altura da interface correspondente à concentração  $C_E$ .



↳ 4) Método de *Talmadge e Fitch*:

↳ Sendo que:

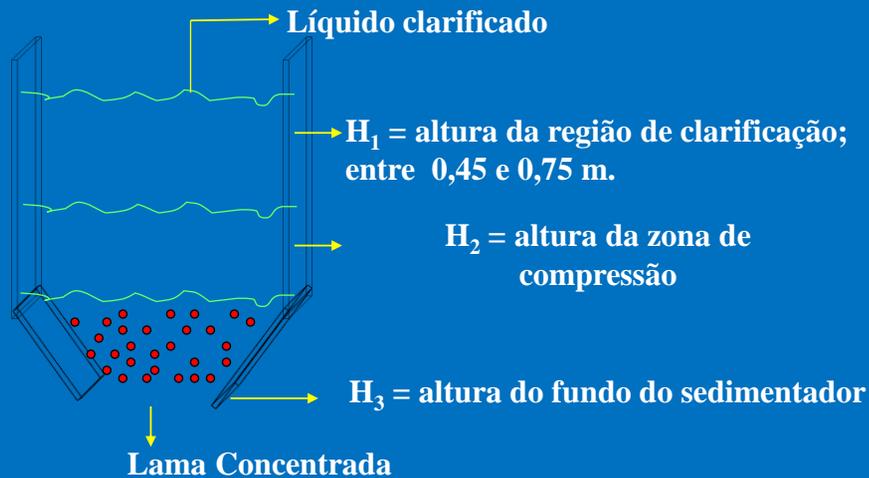
$$Z_E = \frac{Z_0 \cdot C_0}{C_E}$$

$$S = \frac{Q_A \cdot C_A \cdot \theta_E}{Z_0 \cdot C_0} \quad \text{↳ Área mínima}$$

↳ PS: Usar Coeficiente de segurança de 100%

## ↳ Cálculo da altura de um sedimentador

Em geral, em um sedimentador contínuo estão presentes as seguintes regiões:



↳ H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub> podem ser estimados pelas seguintes equações:

$$H_2 = 4/3 \cdot \frac{Q_A \cdot C_A \cdot (\theta_E - \theta_c)}{S \cdot \rho_s} \cdot \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_E - \rho_l}$$

$$H_3 = 0,073 \cdot D$$

$\rho_s$  = densidade dos sólidos;  
 $\rho_l$  = densidade do líquido;  
 $\rho_E$  = densidade da suspensão concentrada;  
 $D$  = diâmetro do sedimentador (em m).

O fator 4/3 é usado para se corrigir a imprecisão de se utilizar a densidade do produto obtido em vez da densidade média da zona de compressão