



# Estabilização

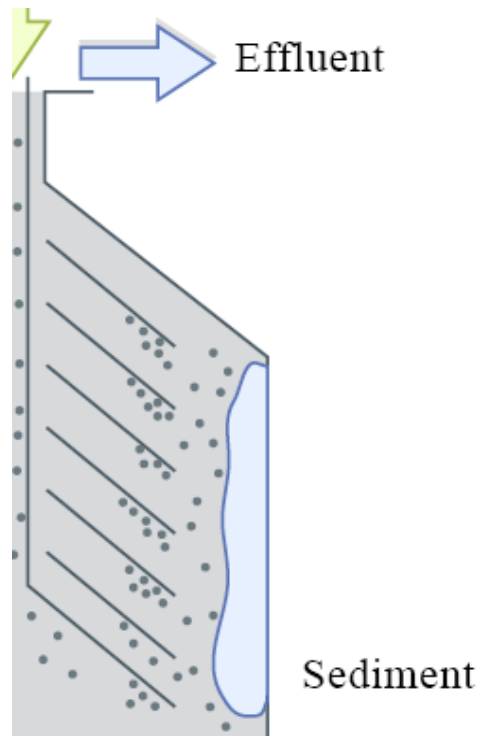
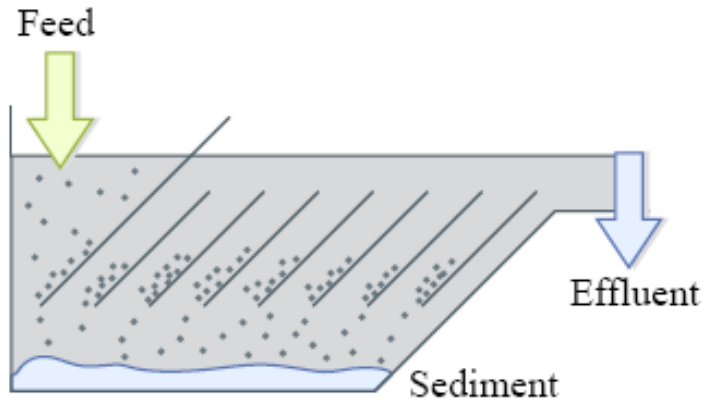
## CENTRIFUGAÇÃO

- 1 - Noções teóricas de centrifugação
- 2 - Tipos de centrifugas

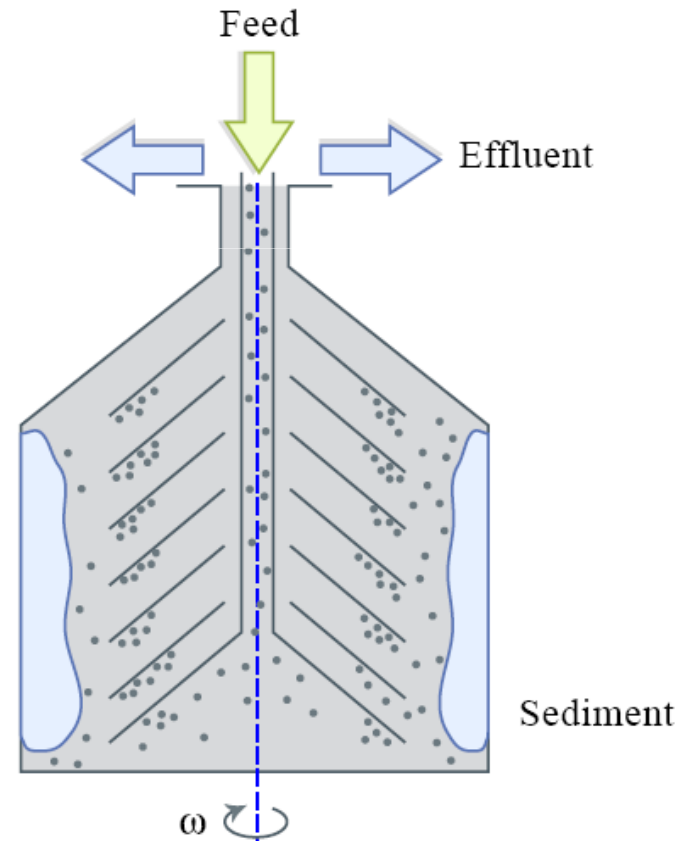
24 de Março de 2011


Fernanda Cosme

# Comparação da sedimentação num tanque com a centrifugação



Aumentar a área para  
aumentar o caudal (Q)





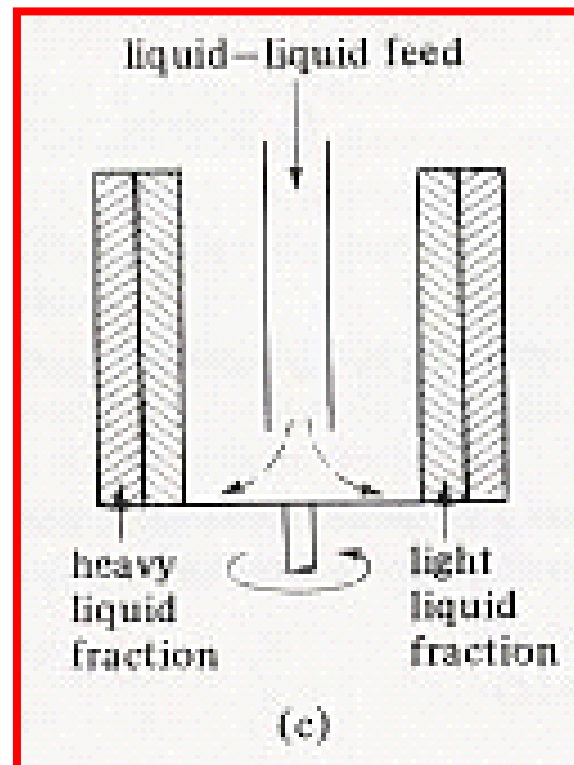
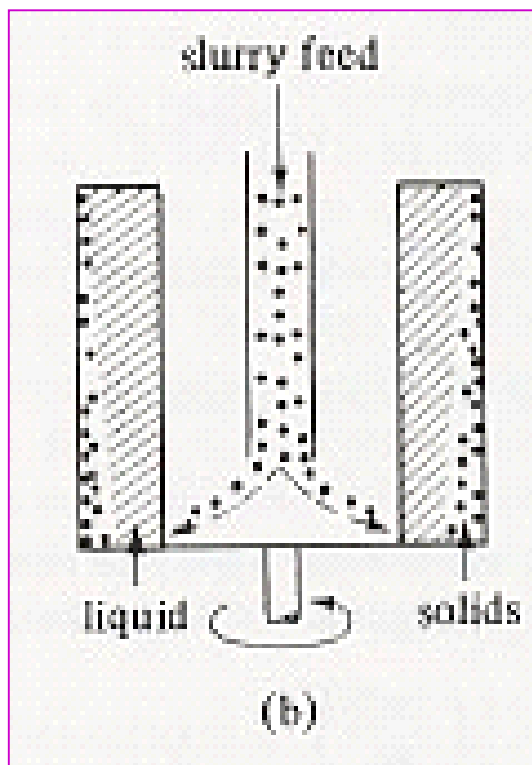
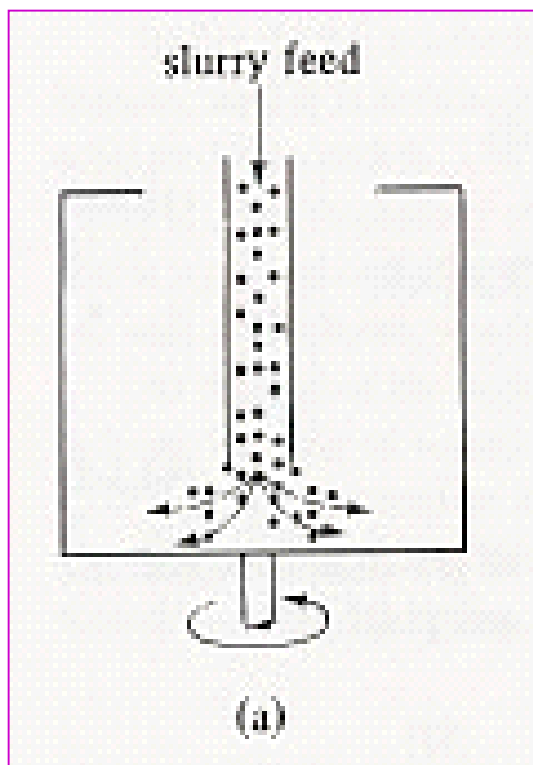
Para os processos de sedimentação que ocorrem segundo a lei de Stokes, pode-se obter a velocidade terminal de sedimentação substituindo a aceleração da gravidade  $g$  por  $\omega^2 r$ .

Então a equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$v_t = \frac{\omega^2 r D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

$$v_t = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

Se uma suspensão estiver dentro de um recipiente cilíndrico e for submetida a um movimento contínuo de rotação, o seu conteúdo (fluidos e sólidos) exercerão uma força contra as paredes do recipiente (força centrípeta). Por outro lado, a força centrífuga causará a separação dos componentes da suspensão (sólido-líquido, líquido-líquido).





## Forças envolvidas no processo de separação

- ✓ A **aceleração** devido à força centrífuga é dada por

$$a_e = r\omega^2$$

**$a_e$**  é a aceleração devido à força centrífuga (m/s<sup>2</sup>)

**$r$**  é a distância radial do centro da rotação em m

**$\omega$**  é a velocidade angular em radianos/s.

- ✓ A força centrífuga  $F_c$ ,

$$F_c = ma_e = mr\omega^2$$



✓ As velocidades rotacionais costumam ser dadas em **RPM** ou seja por rotações/min,

✓  $\omega = v/r \rightarrow \mathbf{V}$  é a velocidade tangencial (m/s)

✓ No SI as unidades são radianos por segundo

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

✓ Então

$$F_c = m r \left( \frac{2\pi N}{60} \right)^2 = 0,01097 m r N^2$$

✓ A força gravitacional é:

$$F_g = mg$$

✓ A força centrífuga é:

$$F_c = m r \left( \frac{2\pi N}{60} \right)^2$$

✓ Se comparamos ambas:

**Factor "G"**

Relação entre a velocidade terminal na centrífuga e na sedimentação estática

$$\frac{F_c}{F_g} = \frac{m r \omega^2}{m g} = \frac{r \omega^2}{g} = \frac{r}{g} \left[ \frac{2\pi N}{60} \right]^2 = 0,001118 r N^2$$

✓ Assim, a força desenvolvida em uma centrífuga é  $r\omega^2$  vezes maior que a força gravitacional.

- ✓ Se o regime for laminar, a velocidade terminal de sedimentação em um raio  $r$ , de acordo com a lei de Stokes é :

$$v_t = \frac{\omega^2 r D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

g


Onde

$v_t$  = velocidade de sedimentação na direção radial

$D_p$  = diâmetro da partícula      $\mu$  = viscosidade do líquido

$\rho_p$  = densidade de partícula      $\rho$  = densidade do líquido




$$v_t = \frac{\omega^2 r D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

$$v_t = dr/dt$$

$$dt = \frac{18\mu}{\omega^2 (\rho_p - \rho) D_p^2} \frac{dr}{r}$$

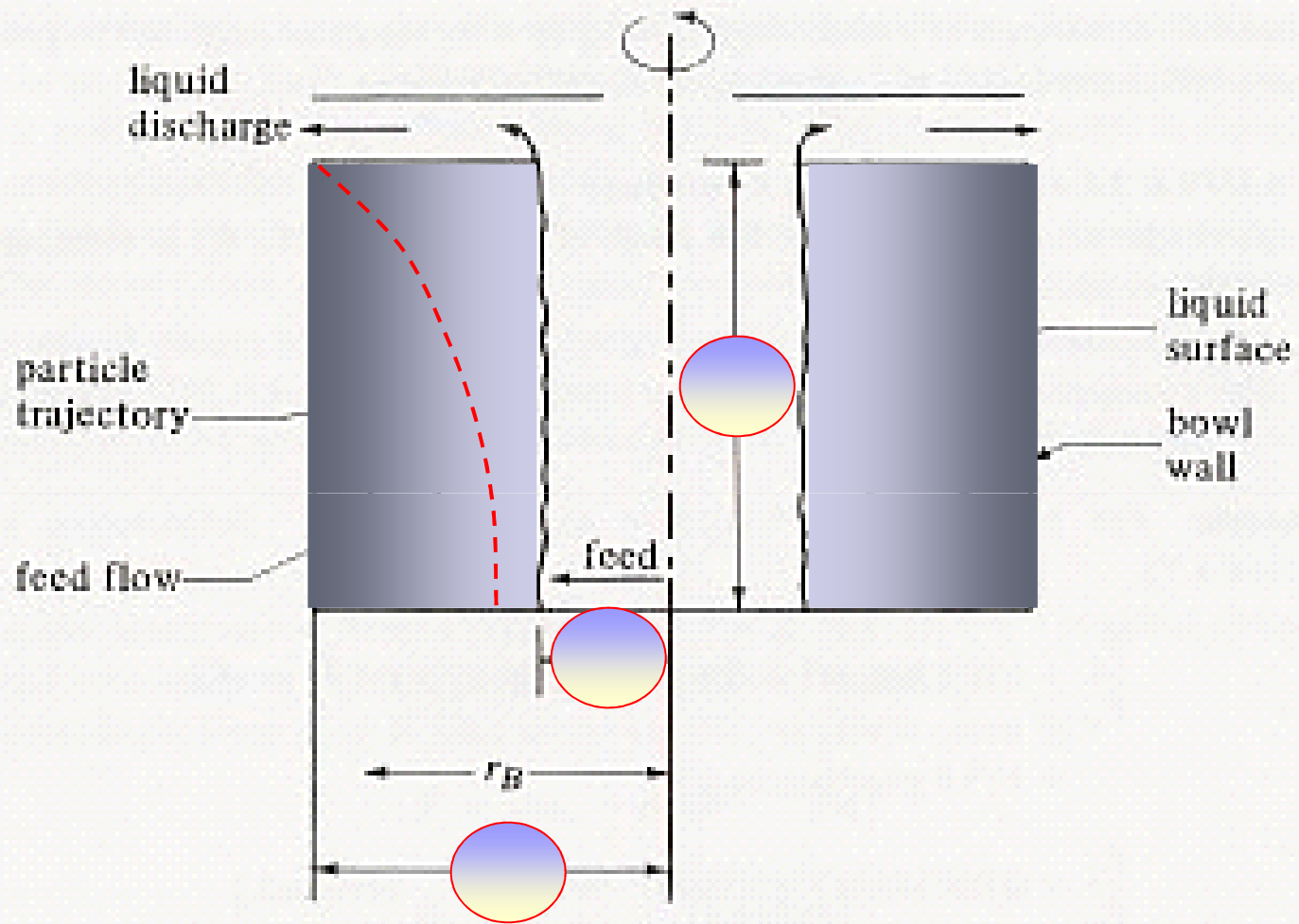
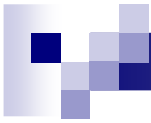
Integrando entre os limites

$$r = r_1 \text{ para } t = 0$$

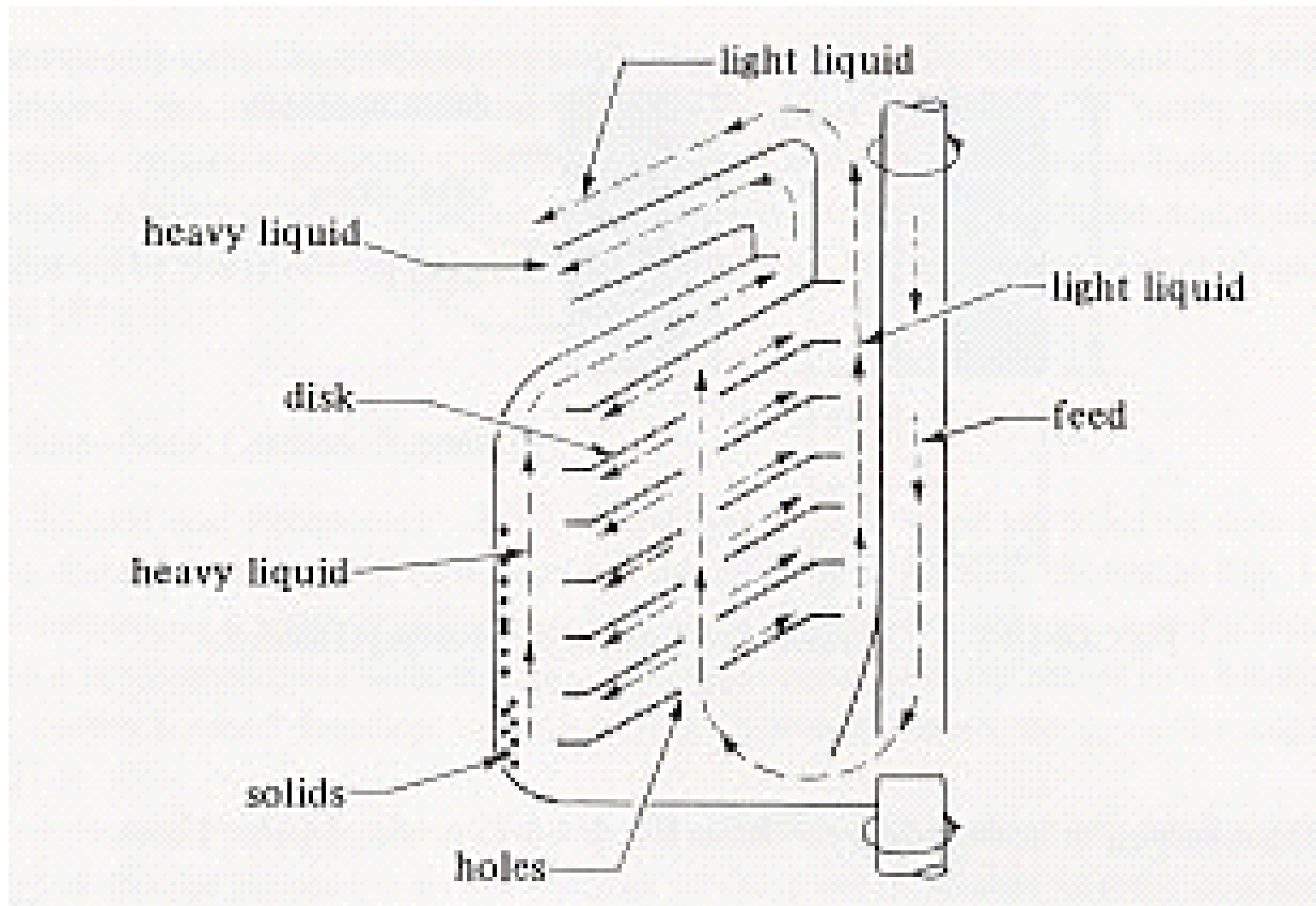
$$r = r_2 \text{ para } t = t_r$$

**O tempo de permanência será**

$$t_r = \frac{18\mu}{\omega^2 (\rho_p - \rho) D_p^2} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

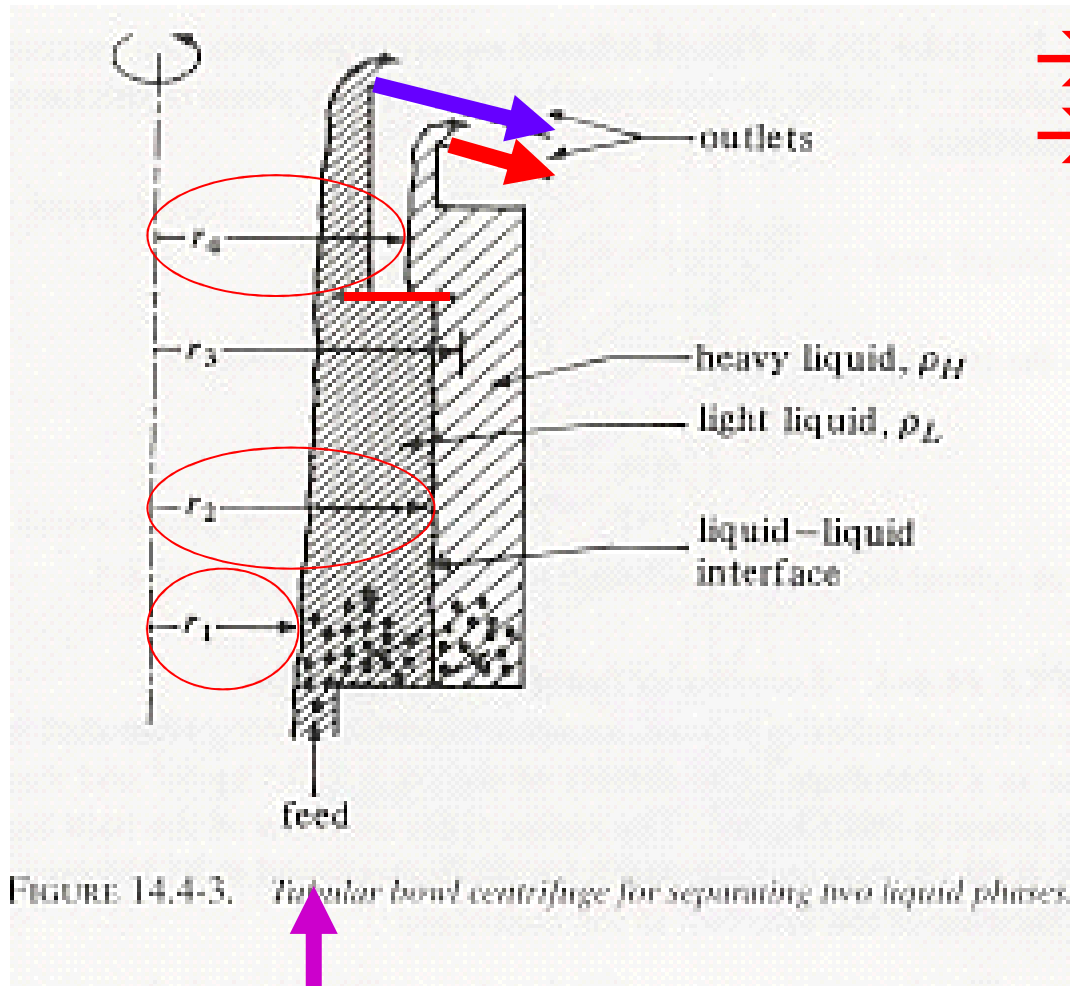


*Particle settling in sedimenting tubular-bowl centrifuge.*



*Schematic of disk bowl centrifuge.*

## Duas fases líquidas são separadas:



- líquido pesado com  $\rho_H$
- líquido leve com  $\rho_L$

Onde :

↪  $r_1$  = raio até a superfície da camada do líquido leve,

↪  $r_2$  = raio até a interface líquida-líquida,

↪  $r_4$  = raio até a superfície do fluxo de escoamento do líquido pesado.



# Centrífugas

**Centrifugas clarificadoras** - realizam a separação de um sistema sólido/líquido (suspensão)

**Bol simples** – identifica-se com um cilindro de eixo vertical

- 1) Bol mais simples com o qual apenas se pretende aumentar a aceleração da gravidade
- 2) Para os materiais de construção correntes as altas velocidades angulares ( $\omega$ ) impõem raios  $r$  reduzidos
- 3) Usadas para o tratamento de caudais com reduzida carga sólida



# Centrífugas

**Bol de pratos cónicos** – constituído por uma pilha de superfícies cónicas de eixo vertical ligeiramente afastadas entre si

## 1) Actua sobre a área de decantação

## 2) Vantagens em relação ao bol tubular:

- considerável a área de deposição de sólidos - menos desmontagens para efectuar limpezas
- sedimentos compactos – maior eficiência de separação
- a totalidade de líquido é forçada a passar na câmara periférica onde é sujeita à força centrífuga máxima com uma velocidade de arrastamento mínima



# Centrífugas

## Eficiência de separação

- tanto maior quanto menor o afastamento entre pratos
- atenuação da turbulência
- encurtamento do trajecto a percorrer pelas partículas em suspensão
- distância entre pratos 5 a 0,5 mm
- número de pratos – até 100



# Centrífugas

## Características de construção:

- **Abertas** : entrada de líquido e saída de líquido leve e denso;
- **Semi-herméticas**: não possuem sistemas de auto - limpeza;
- **Herméticas ou fechadas**: entradas e saídas fechadas, estão equipadas com sistemas de auto-limpeza e não há incorporação de ar.

## Quanto ao regime de operação:

**Carga** – o bol recebe uma carga, gira durante alguns minutos e pára logo que efectua a separação das fases

**Contínua** – A alimentação e a remoção das fases são efectuadas em contínuo

**Semicontinua** - O bol é alimentado em contínuo até que se atinja a capacidade máxima de retenção de sólidos





# Centrífugas

## Tipos de descarga de borras

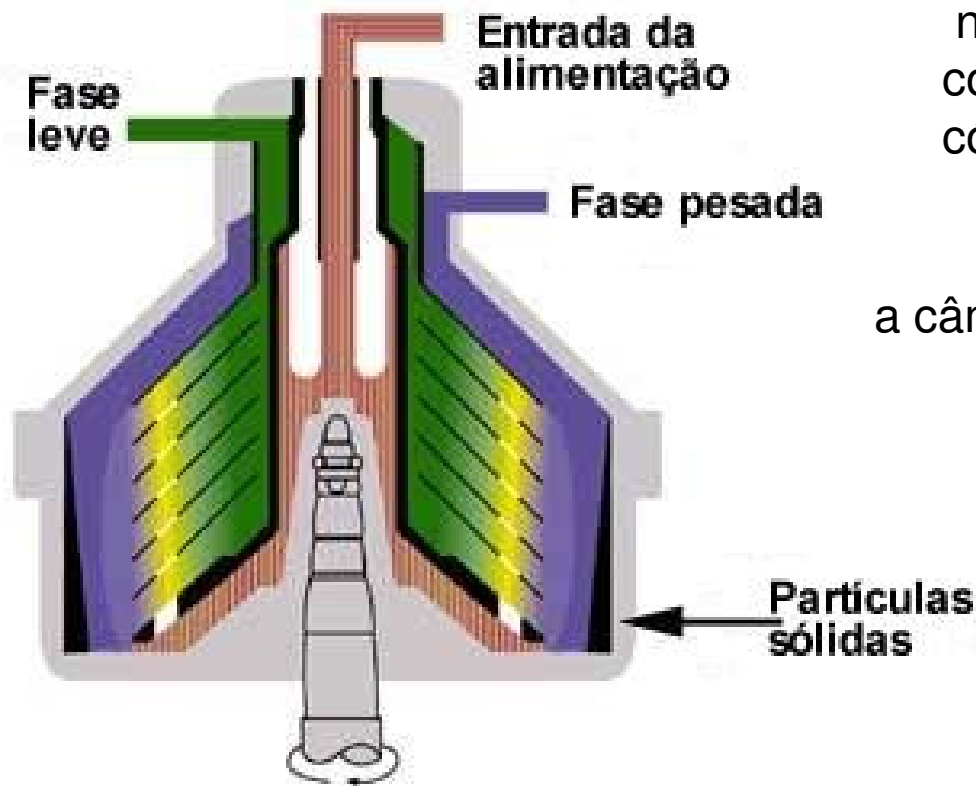
- Descargas totais
- Descargas parciais
- Descargas variáveis (totais/ parciais)

## Sistemas de controlo das descargas automáticas

- Temporizador
- Controlo de turbidez (liquido límpido)
- Medição do fluxo de saída (liquido límpido)

# Centrífuga de Prato ou Disco

## Centrífuga de discos clarificadora

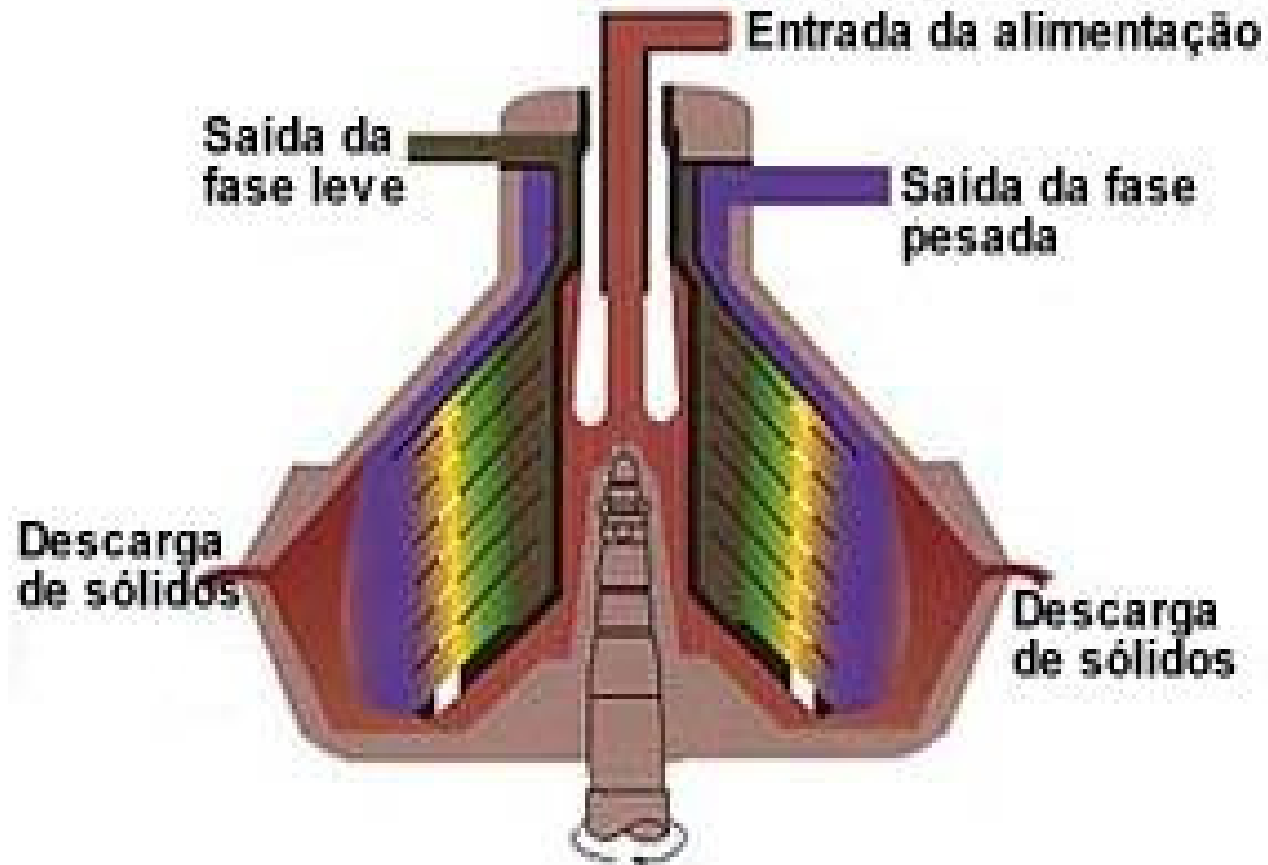


O processo de separação é realizado num conjunto de pratos ou discos que consiste num grande número de peças cónicas colocadas uma sobre a outra

a câmara de separação fica subdividida

# Centrífuga de Prato ou Disco

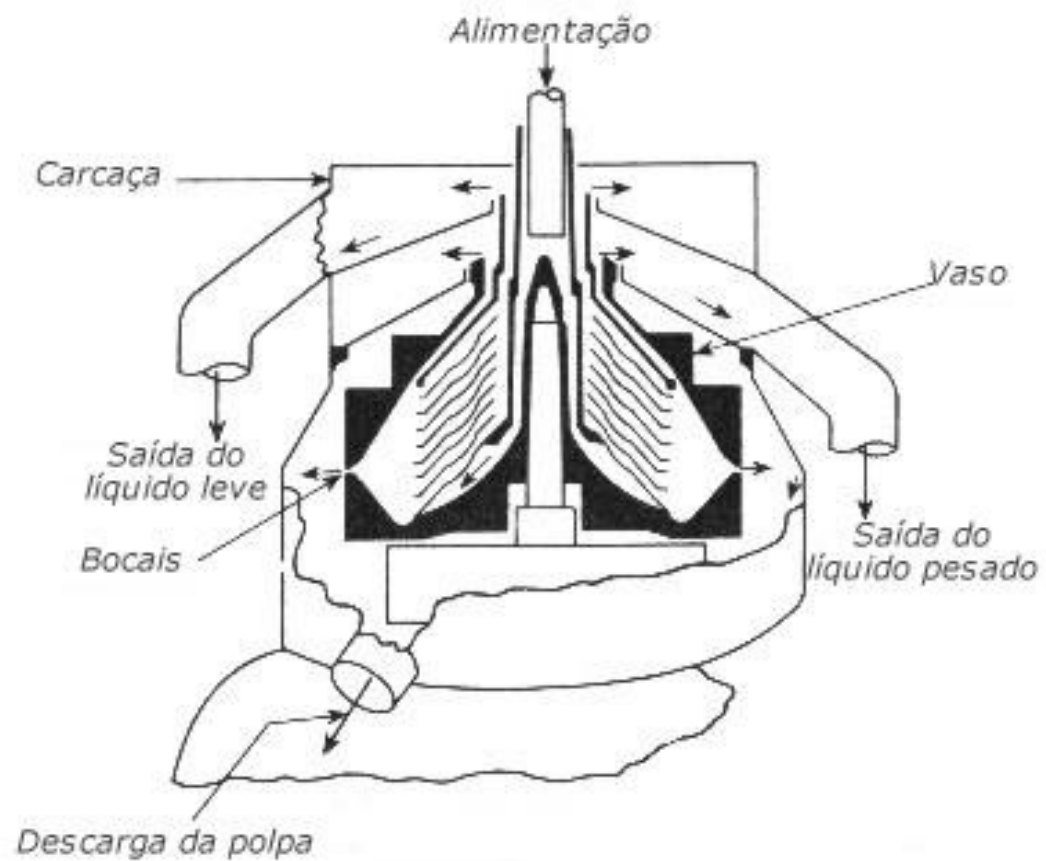
## Centrífuga de discos com descarga por bocais



Operam a uma velocidade de 3.000 a 20.000 vezes a gravidade.

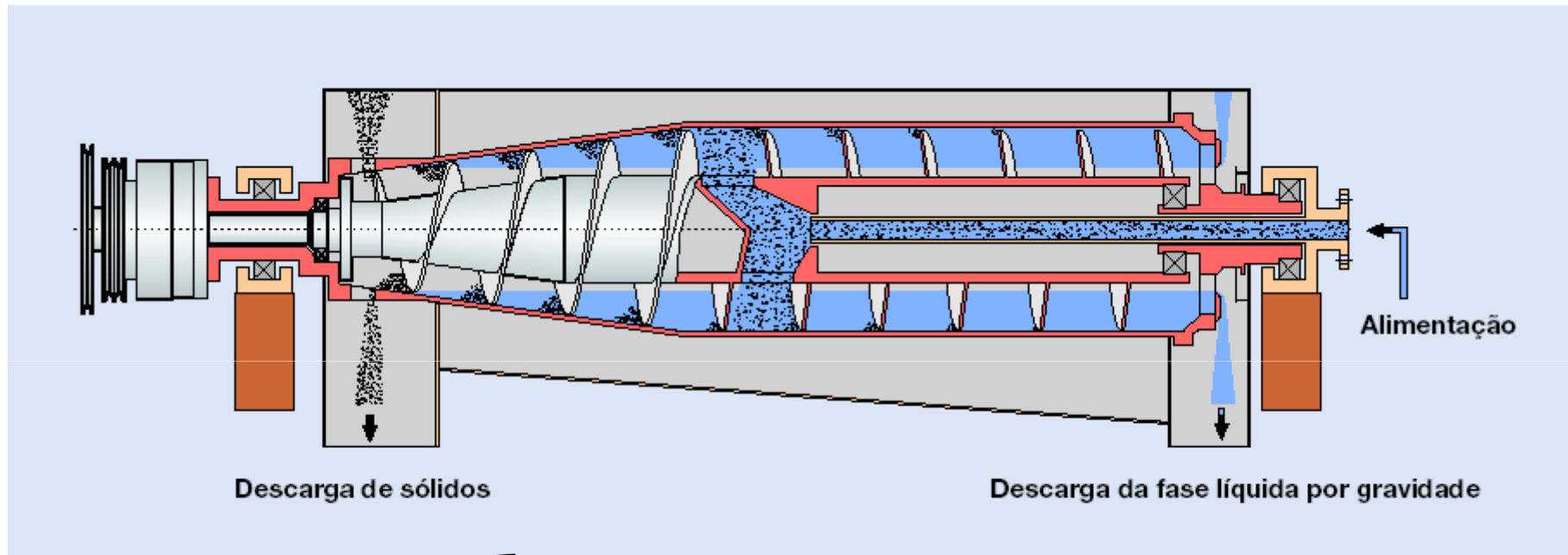
Proporciona um sistema de clarificação contínua.

É projectada para separação sólido/líquido, ou duas fases líquidas em base contínua



**Centrífuga com descarga por bocais**

# DECANTER



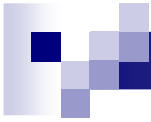
## Aplicações

- Recuperação e processamento de produtos de origem animal e vegetal (óleos, gorduras, amido, proteínas)
- Bebidas (vinho, cerveja, sumos)



## **Vantagens do uso das centrifugas:**

- Grande versatilidade
- Não necessitam de adjuvantes (pouco impacto ambiental)
- Economia de espaço
- Aumento da filtrabilidade do líquido
- Pouco exigentes em mão de obra
- Elevado rendimento de trabalho (caudais)
- Trabalho contínuo



## **Desvantagens do uso de centrifugas:**

- Custo de aquisição elevado
- Oxidação dos líquidos
- Impacto organoléptico (diminuição da intensidade aromática dos líquidos)