



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ENGENHARIA QUÍMICA

LOQ4062

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA QUÍMICA III

Profa. Lívia Chaguri
E-mail: lichaguri@usp.br

CRONOGRAMA

AULA 1:

- 08:00-09:00 – DIVISÃO DOS GRUPOS

TURMA DE TERÇA:

- 3 GRUPOS DE 11 ALUNOS;
- 1 GRUPO DE 10 ALUNOS

TURMA DE SEXTA:

- 4 GRUPOS DE 11 ALUNOS
- 09:00 – 10:00 - APRESENTAÇÃO
CRONOGRAMA DO SEMESTRE E TEMAS DE
TRABALHOS
- 10:00 – 12:00 – AULA TEÓRICA

CRONOGRAMA DO SEMESTRE

20/08 e 30/08 – aula teórica;

10/09 e 13/09 – aula prática GRUPOS I e II

17/09 e 20/09 – aula prática GRUPOS III e IV

08/11 (até esta data) – entrega, por e-mail, dos relatórios de TODOS os grupos

29/11 (até esta data) – entrega, por e-mail, dos trabalhos de TODOS os grupos

OBS: Início das aulas práticas: 09:00 horas!

TEMAS DOS TRABALHOS

GRUPO I – Filtração por membranas

GRUPO II – Absorção

GRUPO III – Destilação

GRUPO IV - Evaporação

CONTEUDO DOS TRABALHOS

GRUPO I – Filtração por membranas

- 1. Introdução e tipos de processo de separação por membranas**
- 2. Processos de membrana de permeabilidade de líquidos (diálise)**
- 3. Processos através de membrana para permeabilidade de gases**
- 4. Processos de através de membrana de osmose reversa**
- 5. Ultrafiltração (processos por membranas)**
- 6. Microfiltração (processos por membranas)**

CONTEUDO DOS TRABALHOS

GRUPO II – Processos de separação G-L por etapas e contínuos – ABSORÇÃO

- 1. Tipos de processo e métodos de separação**
- 2. Relações de equilíbrio entre fases**
- 3. Contato de equilíbrio em uma e múltiplas etapas**
- 4. Transferência de massa entre as fases**
- 5. Absorção em torres/colunas**
- 6. Absorção de misturas concentradas em torres**

CONTEUDO DOS TRABALHOS

GRUPO IV – EVAPORAÇÃO

- 1. Introdução**
- 2. Tipos de equipamento e métodos de operação**
- 3. Coeficientes de transferência de calor em evaporadores**
- 4. Cálculo de evaporador de simples efeito**
- 5. Cálculo de evaporador de múltiplos efeitos**
- 6. Condensadores para evaporadores**

CONTEUDO DOS TRABALHOS

GRUPO III – Destilação – Processos de separação vapor-líquido

- 1. Relações de equilíbrio líquido vapor**
- 2. Contato de equilíbrio de uma etapa para um sistema vapor-líquido**
- 3. Métodos de destilação simples**
- 4. Destilação com refluxo e método McCabe-Thiele**
- 5. Eficiência de destilação por torre e por pratos**
- 6. Destilação de mistura de multi componentes**

Filtração/Peneiramento

Necessidade de separar partículas sólidas de um fluido, separar fluidos de diferentes densidades ou separar partículas sólidas de diferentes tamanhos.

- Filtração
- Sedimentação
- Centrifugação
- Peneiramento

- Operações de separação que são caracterizadas pelo emprego dos fundamentos e equações da quantidade de movimento.



Filtração: utilizada quando se deseja separar as partículas sólida do fluido através de um meio filtrante, em razão de um diferencial de pressão (ação da gravidade, aplicação de pressão superior a atmosférica ou sob vácuo), propiciando que o fluido flua através do meio com a consequente formação ou acúmulo do material sólido sobre o mesmo, denominado torta.

Filtração: caso especial de escoamento de fluido em meio poroso, em que a resistência ao fluxo aumenta à medida que aumenta a espessura da torta.

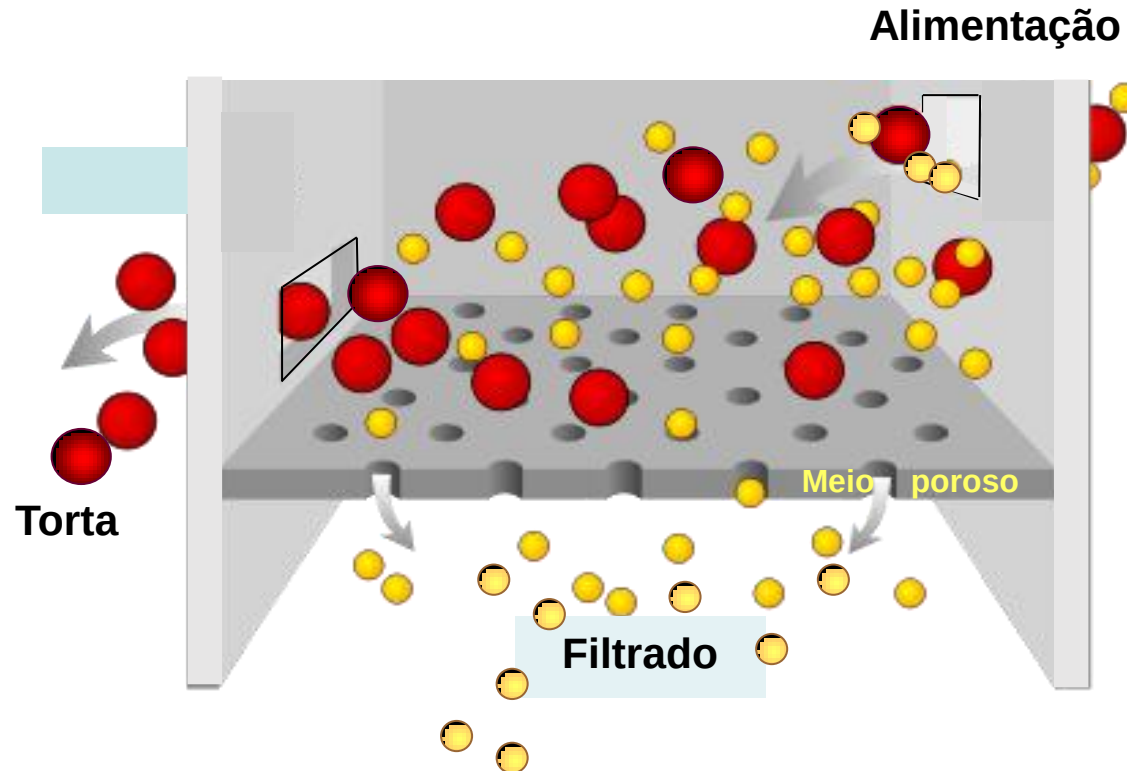
Introdução

Filtração:

- **Condições de diferencial de pressão constante;**
- Condições de vazão volumétrica constante;
- Interesse (produto) filtrado ou sólidos retidos: dependendo do tipo de indústria, do tipo de matéria-prima;
- Operação em batelada ou processo contínuo;
- Emprego: clarificação de líquidos pela remoção de partículas sólidas.
- Líquidos clarificados: vinho, cerveja, óleos e xaropes.



Filtro de torta



Separa as partículas em uma fase sólida (“**torta**”) e permite o escoamento de um fluido claro (“**filtrado**”).

Filtro de pressão descontínuos



Filtro Prensa

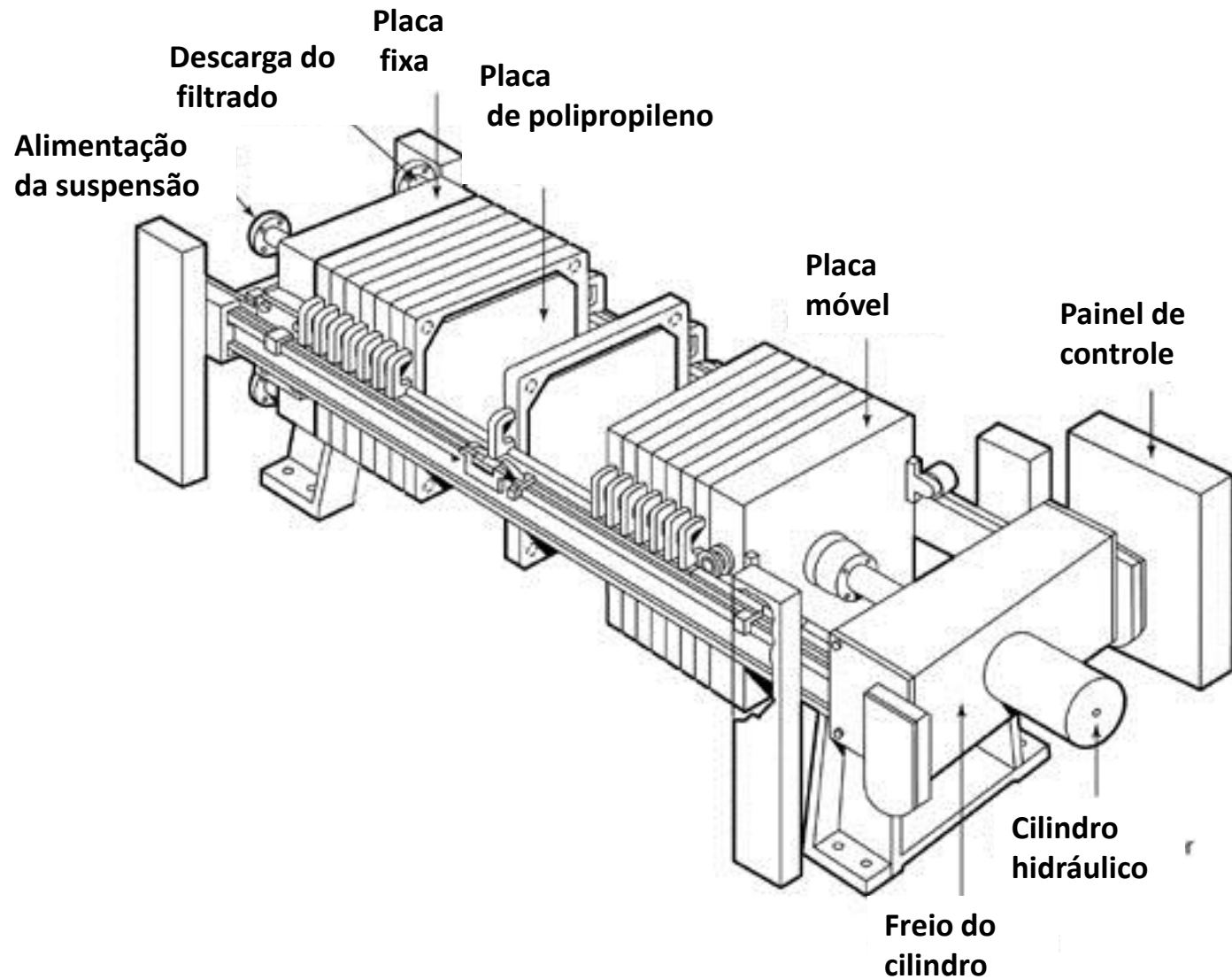
- Utilizam uma elevada pressão diferencial através do meio filtrante para conseguir filtração rápida, econômica com líquidos viscosos ou sólidos finos.
- Conjunto de placas desenhadas para proporcionar uma série de câmaras ou compartimentos para coletar os sólidos.
- Placas são cobertas pelo meio filtrante – lona.
- Suspensão é introduzida em cada compartimento sobre pressão.
- O líquido atravessa a lona e sai por um tubo de descarga.
- Torta fica retida entre as placas com sólidos úmidos.

Filtro de pressão descontínuos

Filtro Prensa

- Placas podem ser quadradas, circulares, verticais ou horizontais.
- Filtro é formado por placas e quadros
- Placas quadradas são alternadas com os quadros abertos.
- Placas e os quadros estão acopladas por parafusos ou prensa hidráulica.
- Suspensão entra por um extremo do conjunto de placas e quadros, passa por uma esquina até o canal longitudinal que percorre o equipamento.
- Sólidos são depositados nos lados cobertos da tela das placas.
- Líquido passa pelas telas, desce pela placa e sai do filtro prensa.

Filtro Prensa



Filtro Prensa - Operação

- Acomoda-se as placas e quadros: montagem da prensa.
- Alimentação da suspensão por meio de uma bomba ou tanque pressurizado (3 a 10 atm).
- Filtração da suspensão até que não saia mais líquido na descarga ou a pressão de filtração aumente subitamente: quadros cheios de sólidos.
- Entrada do líquido de limpeza para extrair impurezas solúveis dos sólidos.
- Insuflação da torta com vapor ou ar para deslocar todo líquido residual.
- Abertura da prensa: retirada da torta do meio filtrante.
- Torta: cai em uma esteira transportadora de sólidos para um depósito de armazenamento.

Filtro-Prensa



Mecanismos de filtração

Filtração convencional (mais utilizado): durante o processo, na formação da torta, o fluido passa através de 2 resistências em série: torta + meio filtrante.

Diferencial de pressão global a qualquer tempo pode ser expresso como soma das perda de carga:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (P_1 - P') + (P' - P_2) = \Delta P_t + \Delta P_m \quad (1)$$

ΔP – perda de carga total (Pa);

P_1 e P_2 – pressões na entrada e saída (Pa);

P' – pressão no limite entre a torta e o meio filtrante (Pa);

P_t – perda de carga relativa a torta (Pa)

P_m – perda de carga relativa ao meio filtrante (Pa).

Filtração P cte: ΔP cte fluxo de filtrado diminui com o tempo de operação.

Filtração fluxo cte: ΔP aumenta progressivamente – filtração a vazão constante.

Filtração em condições de queda de pressão constante

$$\frac{t}{V} = \frac{K_{\Delta P} V}{2} + \frac{1}{\dot{Q}_0} \quad (15)$$

Q_0 = vazão volumétrica inicial (m³/s);

Q = vazão volumétrica em qualquer tempo;

$K_{\Delta P}$ = constante (s/m⁶)

Fazendo a regressão linear dos dados experimentais t/V em função de V , os valores de $K_{\Delta P}$ e de $1/Q_0$ podem ser obtidos pela equação da reta expressa na equação (15).

Essas constantes também podem ser obtidas pelas equações:

$$K_{\Delta P} = \frac{\alpha \mu c_t}{A^2 (-\Delta P)} \quad (16)$$

$$\frac{1}{\dot{Q}_0} = \frac{R_m \mu}{A (-\Delta P)} \quad (17)$$

Relatório

Fazer a regressão linear dos dados experimentais t/V em função de V ,
Determinar os valores de $K_{\Delta P}$ e de $1/Q_0$
Obter valores de α e R_m
Analisar os resultados, descrever o comportamento dos resultados, erros, concluir sobre os resultados!
Entrega: relatório e planilha de cálculo com dados experimentais por E-MAIL

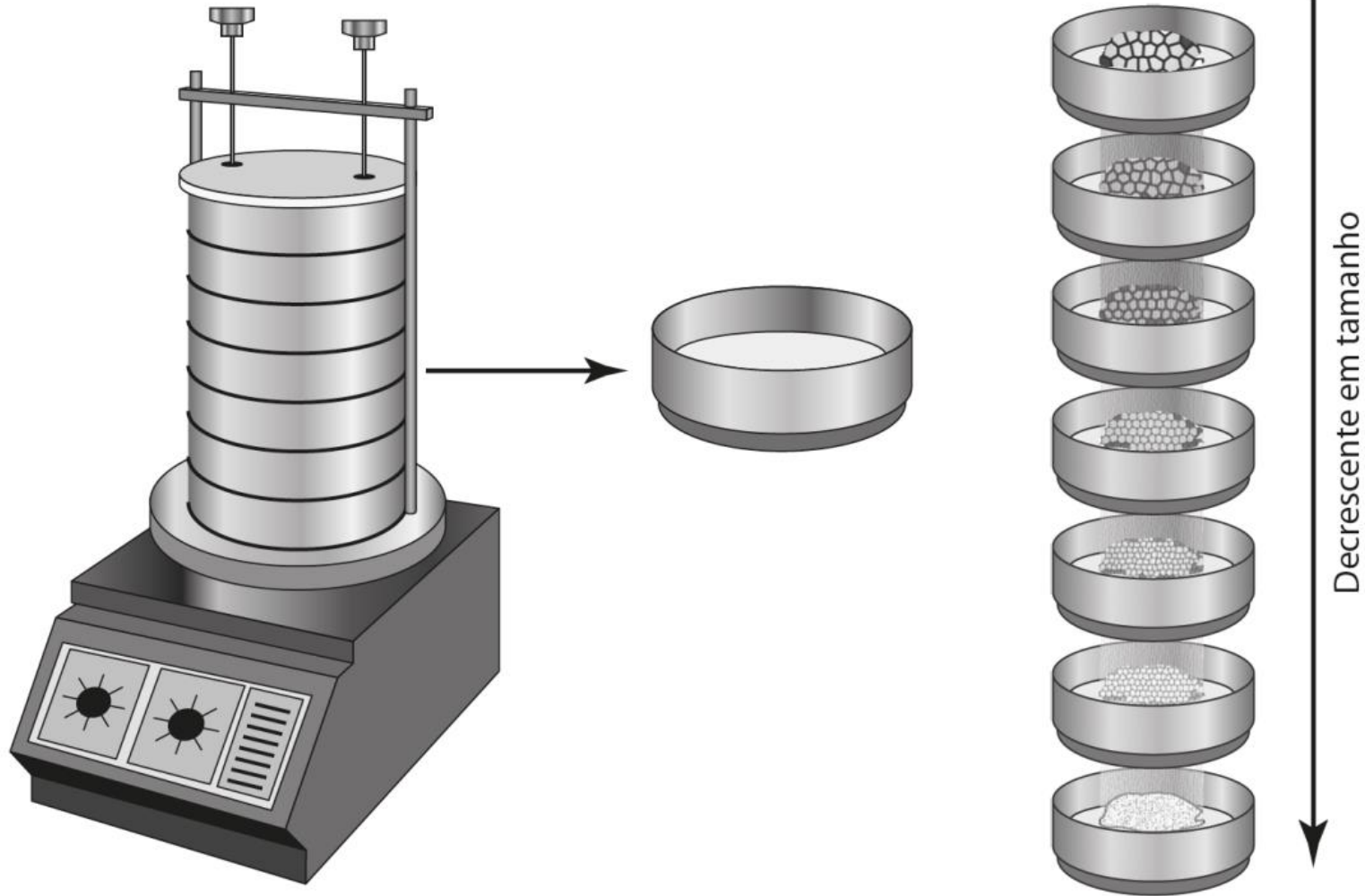
Q_0 = vazão volumétrica inicial (m^3/s);
 Q = vazão volumétrica em qualquer tempo;
 $K_{\Delta P}$ = constante (s/m^6)

$$K_{\Delta P} = \frac{\alpha \mu c_t}{A^2 (-\Delta P)}$$

$$\frac{t}{V} = \frac{K_{\Delta P} V}{2} + \frac{1}{\dot{Q}_0}$$

$$\frac{1}{\dot{Q}_0} = \frac{R_m \mu}{A(-\Delta P)}$$

Tamises/Peneiras



Agitador eletromagnético e peneiras
para análise granulométrica

Distribuição das
partículas nas peneiras

Figura 6.8 Representação de um peneiramento em escala de laboratório
(baseada em BERTEL, 2006).

Diâmetro médio da partícula

Série Tyler

$$\overline{D}_p = \frac{1}{\sum_i \frac{X_n}{\overline{a}_n}}$$

X_n é a fração mássica retida na peneira n (kg/kg total);

—

$\overline{a}_n$ é a média entre a abertura de duas peneiras (mm)

Distribuição de Tamanho

Distribuição de tamanho por massa:

- Pode-se definir vários tipos de determinação de diâmetro.
- Mais utilizados:

Sauter

$$\overline{D}_p = \frac{1}{\sum_i \frac{X_n}{a_n}}$$

Diâmetro médio baseado em volume D_{vol}

$$\overline{D}_p = \sqrt[3]{\frac{1}{\sum_{n=1}^n \left(\frac{X_n}{a_n^3} \right)}}$$

Diâmetro da partícula em que o volume é igual ao volume médio de todas as partículas presentes em uma amostra

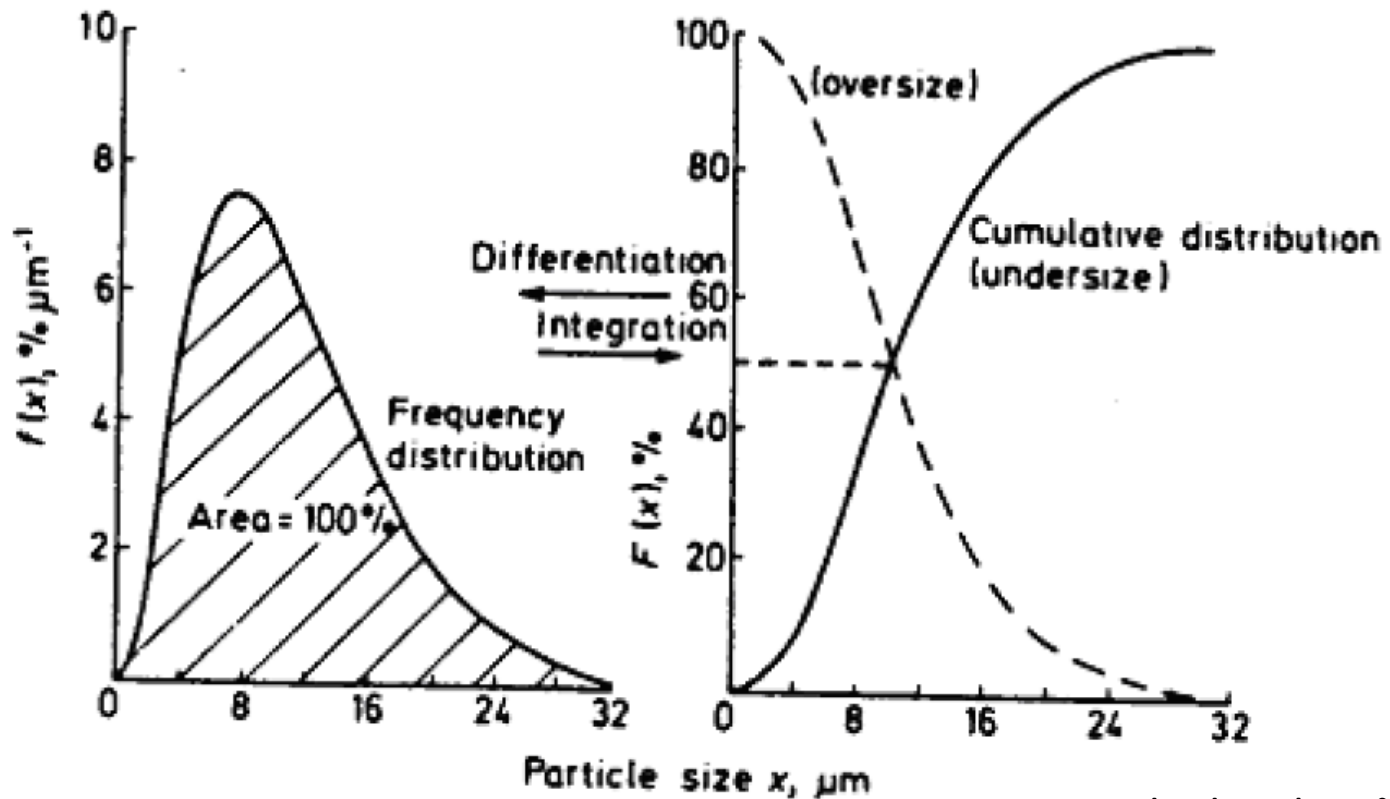
Diâmetro médio baseado em superfície D_{sup}

$$\overline{D}_p = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n \left(\frac{X_n}{a_n} \right)}{\sum_{n=1}^n \left(\frac{X_n}{a_n^3} \right)}}$$

Diâmetro da partícula em que a área superficial é igual à média das áreas superficiais de todas as partículas presentes em uma amostra

Análise granulométrica

- Independente da técnica de medida de tamanho da partícula, a distribuição de tamanhos ou granulometria é expressa, usualmente, em função da frequência relativa das partículas que detêm certo diâmetro.



(a) Curva de frequência

(b) Curva de distribuição cumulativa

Análise granulométrica

- Distribuição de tamanhos ou granulometria é expressa pela fração cumulativa de partículas que possuem diâmetro maior e menor que um valor médio da partícula em um intervalo de 0 a 100 % de grandeza acumulada.

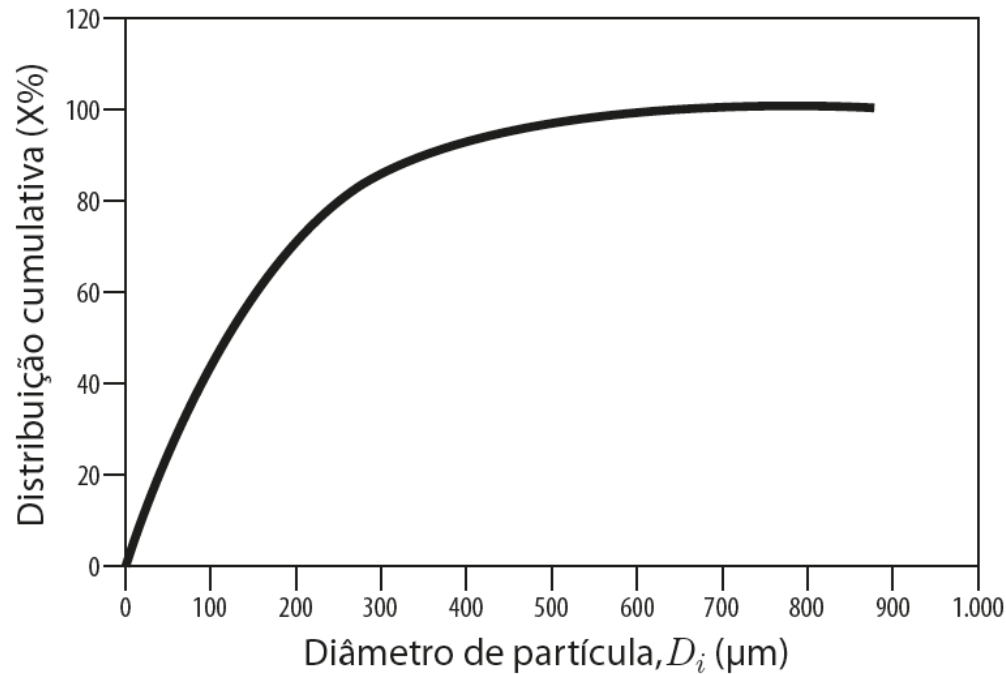


Figura 6.11b Distribuição cumulativa das partículas referente à Figura 6.1a (base volumétrica, utilizando-se Mastersizer).

Análise granulométrica

Peneiras (Mesh)	Xn (100%)	an médio (µm)	Frequencia (%) φ<	Frequencia (%) φ>
-65+80	0	213,5	100	0
-80+100	1,29	163,0	98,71	1,29
-100+120	5,93	137,0	92,78	7,22
-120+140	9,70	115,0	83,08	16,92
-140+170	14,16	96,5	68,92	31,08
-170+200	16,97	81,0	51,95	48,05
-200+230	15,21	68,5	36,74	63,26
-230+270	14,32	58,0	22,42	77,58
-270+325	11,21	48,5	11,21	88,79
-325+400	6,18	40,5	5,03	94,97
-400	5,03	18,5 fundo	0 (fundo)	100

Relatório

Determinar diâmetro da partícula pela forma;
Fazer curva de distribuição de tamanho
Fazer curva cumulativa de tamanho maior e menor
Determinar diâmetro da partícula pelo gráfico
Analisar os resultados, descrever o comportamento dos resultados, erros, concluir sobre os resultados!
Entrega: relatório e planilha de cálculo com dados experimentais por E-MAIL

$$\overline{D}_p = \frac{1}{\sum_i \frac{X_n}{a_n}}$$

