

# Aula filtração

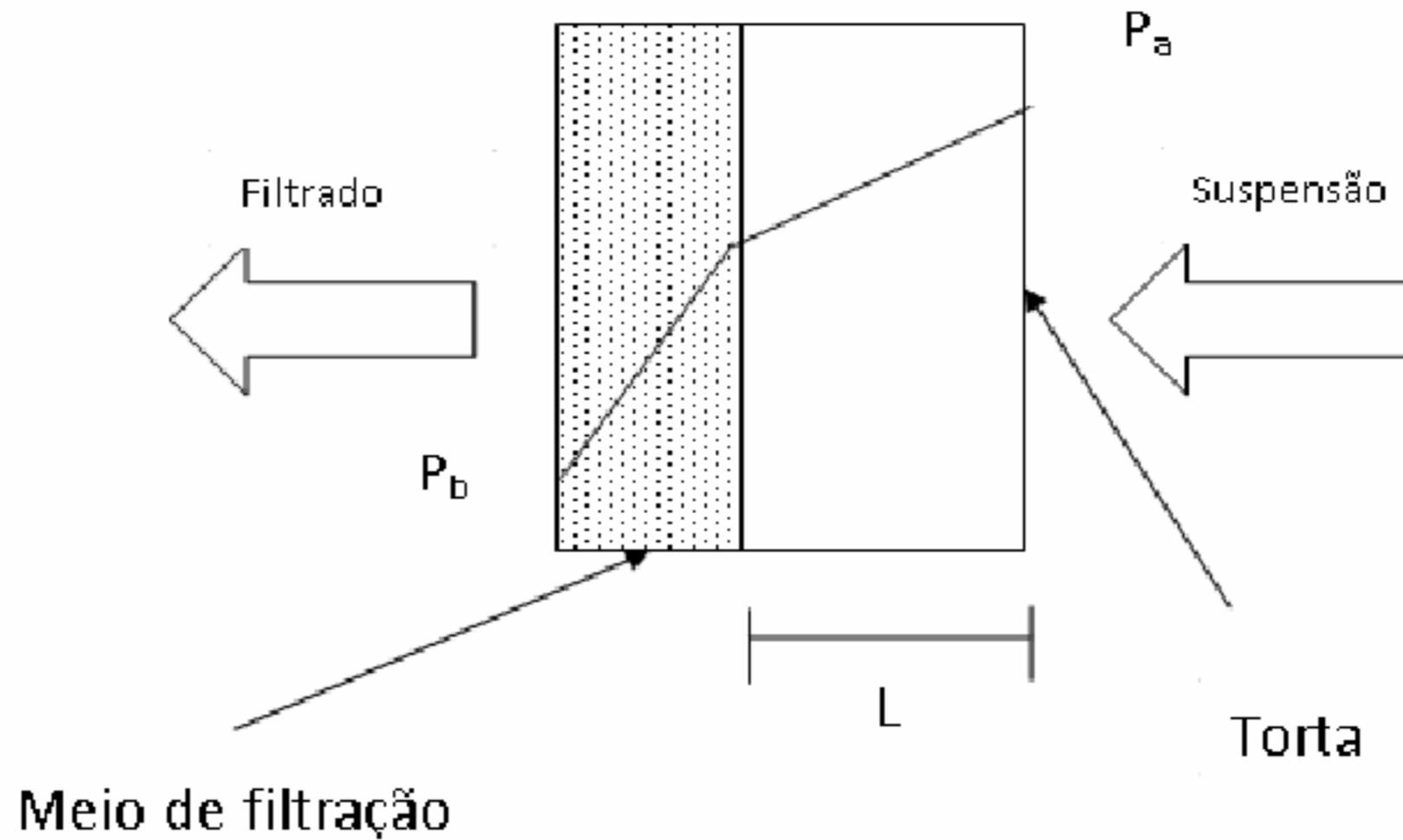
Prof. Gerônimo

## Filtração – Conceitos e Definições

- ❑ A filtração é uma das aplicações mais comuns do escoamento de fluidos através de leitos compactos. A operação industrial é análoga às filtrações realizadas em um laboratório que utilizam papel de filtro e funil.
- ❑ O termo filtração pode ser utilizado para processos de separação dos sólidos de suspensões líquidas e, também para separação de partículas sólidas de gases, como por exemplo, a separação das poeiras arrastadas pelos gases utilizando tecidos.
- ❑ O objetivo da operação é separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso. Quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando um depósito que se denomina torta e cuja espessura vai aumentando no decorrer da operação. O líquido que passa através do leito é chamado de filtrado.
- ❑ Em princípio a filtração compete com a decantação, a centrifugação e a prensagem.

# Filtração – Conceitos e Definições

Princípio de funcionamento de um filtro.



$P_a$  = pressão da suspensão

$P_b$  = pressão do filtrado

L = espessura da torta

## Filtração – Conceitos e Definições

A escolha do equipamento filtrante depende em grande parte da economia do processo, mas as vantagens econômicas serão variáveis de acordo com o seguinte:

- Viscosidade, densidade e reatividade química do fluido;
- Dimensões da partícula sólida, distribuição granulométrica, forma da partícula, tendência a floculação e deformidade;
- Concentração da suspensão de alimentação;
- Quantidade do material que deve ser operado;
- Valores absolutos e relativos dos produtos líquidos e sólidos;
- Grau de separação que se deseja efetuar;
- Custos relativos da mão-de-obra, do capital e de energia.

- Meio Filtrante.
- A variedade de meios filtrantes utilizados industrialmente é tão grande que seu tipo serve como critério de classificação dos filtros: leitos granulares soltos, leitos rígidos, telas metálicas, tecidos e membranas.
- Os leitos granulares soltos mais comuns são feitos de areia, pedregulho, carvão britado, escória, calcário, coque e carvão de madeira, utilizado para clarificar suspensões diluídas.
- Os leitos rígidos são feitos sob a forma de tubos porosos de aglomerados de quartzo ou alumina (para a filtração de ácidos), de carvão poroso (para soluções de soda e líquidos amoniacais) ou barro e caulim cozidos a baixa temperatura (usados na clarificação de água potável).

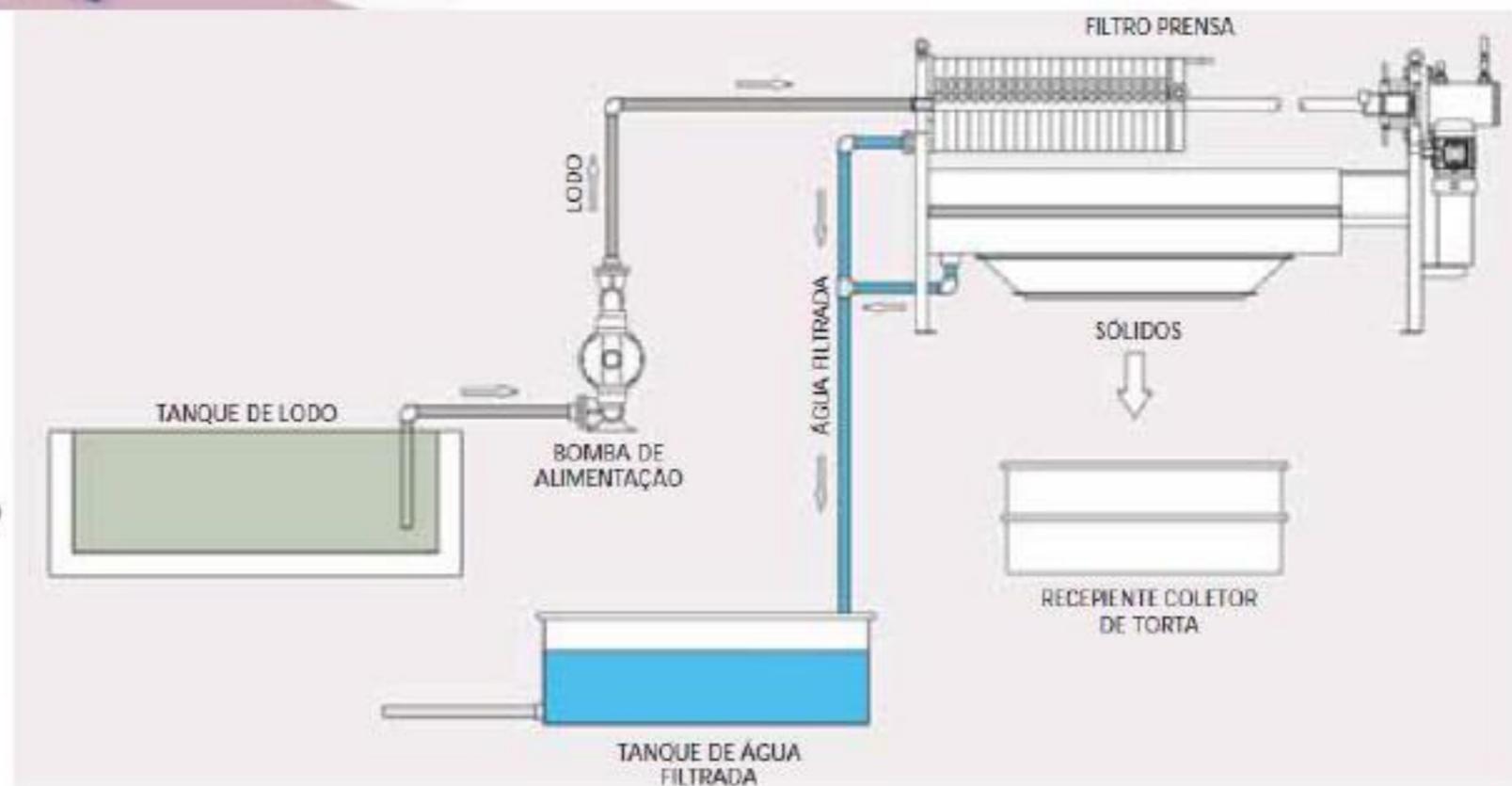
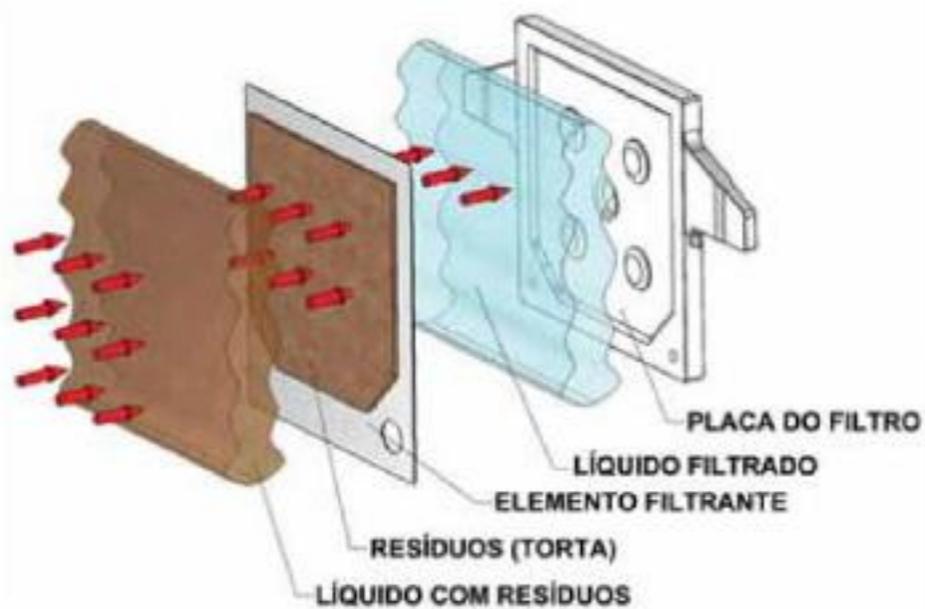
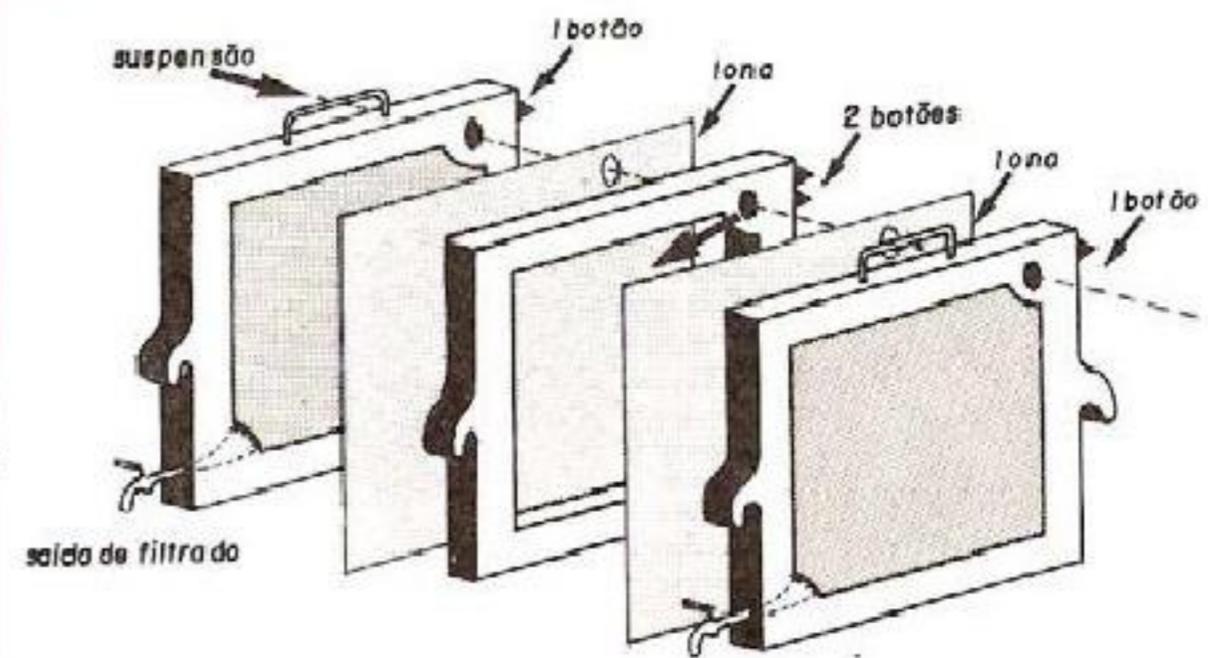
- Meio Filtrante.
- Os tecidos são utilizados industrialmente e ainda são os meios filtrantes mais comuns.
- Há tecidos vegetais, como o algodão, a juta (para álcalis fracos), o cânhamo e o papel; tecidos de origem animal, como a lã e a crina (para ácidos fracos);
- Minerais: amianto, lã de rocha e lã de vidro, para águas de caldeira; plásticos: polietileno, polipropileno, PVC, nylon, teflon, orlon, saran, acrilan e tergal.
- O inconveniente é que a duração de um tecido é limitada pelo desgaste, o apodrecimento e o entupimento. Por este motivo, quando não estiverem em operação, os filtros devem ficar cheios de água para prolongar a vida do mesmo. Por outro lado, o uso de auxiliares de filtração diminui o entupimento dos tecidos, prolongando sua vida útil.

- Tipos de Filtro.
- O tipo mais indicado para uma dada operação é aquele que, além de satisfazer aos requisitos de operação, também satisfaz quanto ao custo total de operação.
- A classificação dos diversos modelos pode ser feita com base nos seguintes critérios:
  - ❑ Força propulsora: gravidade, pressão (com ar ou bomba), vácuo, vácuo pressão e força centrífuga;
  - ❑ Material que constitui o meio filtrante: areia, tela metálica, tecido, meio poroso rígido, papel;
  - ❑ Função: “strainers”, clarificadores, filtros para torta e espessadores;
  - ❑ Detalhes construtivos: filtros de areia, placas e quadros, lâminas e rotativos;
  - ❑ Regime de operação: batelada e contínuos;
  - ❑ Às vezes a classificação é feita em grupos caracterizados pelos tipos de maior tradição: Kelly, Vallez, Oliver, Moore, Sweetland.

- Tipos de Filtro.
- Adotando os detalhes construtivos como critério principal e fazendo a combinação dos outros critérios, os modelos seguem a distribuição abaixo:
  - Filtros de leito poroso granular
  - Filtros prensa:
    - de câmaras
    - de placas e quadros
  - Filtros de lâminas:
    - Moore
    - Kelly
    - Sweetland
    - Vallez
    - Tipos variantes
  - Filtros contínuos rotativos:
    - Tambor
    - Disco
    - Horizontais
  - Filtros especiais.

## Filtro-Prensa de Placas e Quadros

- O mais comum.
- Baixo custo de projeto e de manutenção.
- Extrema flexibilidade na operação.
- Necessita da desmontagem manual e conseqüentemente, mão-de-obra.
- Este tipo de filtro apresenta placas quadradas, com faces planas e bordas levemente ressaltadas. Entre duas placas sucessivas da prensa há um quadro que serve como espaçador das placas. De cada lado de um quadro há uma lona que encosta-se à placa correspondente. Assim, as câmaras onde será formada a torta ficam delimitadas pelas lonas. A estrutura de suporte do conjunto tem barras laterais que servem de suporte para as placas e os quadros. O aperto do conjunto é feito por meio de um parafuso ou sistema hidráulico.



# Cálculos de Filtração

- O escoamento do filtrado através do bolo do filtro é passível de uma descrição analítica por qualquer das equações gerais de escoamento através de leitos compactos. Na realidade, em quase todos os casos práticos, o escoamento é laminar e usa-se a equação de Carman-Kozeny.

$$\frac{\Delta P}{L} = 180 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu v_s}{D_p^2} \quad (1)$$

- Esta equação relaciona a queda de pressão através do bolo do filtro à vazão, à porosidade do bolo, e à sua espessura, e também ao diâmetro da partícula sólida.
- Transformando a equação uma coordenada pertinente à filtração, isto é, em termo da área superficial específica, temos:

## Cálculos de Filtração

$$D_p = \frac{6}{\frac{A_p}{V_p}} = \frac{6}{S_0} \quad (2)$$

- Sendo  $S_0$  = área superficial específica, de material sólido. Então:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{5(1-\varepsilon)^2 \mu v_s S_0^2}{\varepsilon^3} \quad (3)$$

- Resolvendo esta equação para a velocidade de escoamento se tem:

$$v_s = \frac{\Delta P \varepsilon^3}{5(1-\varepsilon)^2 \mu S_0^2 L} = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

Sendo:  $A$  = área de filtração

$dV/dt$  = taxa de filtração, isto é, o volume de filtrado que passa pelo leito por unidade de tempo.

# Cálculos de Filtração

- Para integrar a equação (4) e ter uma relação utilizável para todo o processo, é preciso que apenas duas variáveis apareçam na equação. As grandezas  $V$ ,  $t$ ,  $L$ ,  $\Delta P$ ,  $S_0$  e  $\varepsilon$  podem todas variar.
- A espessura da torta (bolo) ( $L$ ) pode ser relacionada ao volume do filtrado por um balanço de massa, pois a espessura é proporcional ao volume de alimentação fornecido ao filtro.

$$LA(1 - \varepsilon)\rho_s = W(V + \varepsilon LA)$$
$$L = \frac{WV}{A(1 - \varepsilon)\rho_s} \quad (5)$$

Sendo:

$\rho_s$  = densidade dos sólidos no bolo do filtro.

$W$  = peso dos sólidos na suspensão de líquido por unidade de volume do líquido nesta suspensão.

$V$  = volume do filtrado que passou pela torta (bolo) do filtro.

## Cálculos de Filtração

- O termo final da equação (5) ( $\varepsilon LA$ ) representa o volume do filtrado retido na torta (bolo) do filtro. Este volume normalmente é muito pequeno em relação a  $V$ , volume do filtrado que passou pelo leito.
- Admitindo que esta parcela seja desprezível e combinando as equações (4) e (5), temos:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \varepsilon^3}{5(1-\varepsilon)^2 \mu \frac{wV}{A(1-\varepsilon)} \rho_s S_o^2} = \frac{\Delta P A}{\frac{5(1-\varepsilon) S_o^2}{\rho_s \varepsilon^3} \mu W V} = \frac{\Delta P A}{\alpha \mu w V} \quad (6)$$

- Sendo:  $\alpha$  = resistência específica da torta (bolo), definida como:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P A}{\alpha \mu w V} \quad (6) \quad \alpha = \frac{5(1-\varepsilon) S_o^2}{\rho_s \varepsilon^3} \quad (7)$$

- A equação (6) é a equação básica da filtração em termos da perda de pressão através da torta (bolo).

# Cálculos de Filtração

- Inclusão da resistência do meio Filtrante ( $R_m$ ).
- A equação (6) é expressa na forma familiar de uma taxa proporcional a uma força motriz dividida por uma resistência. Neste caso, a força motriz e a resistência são pertinentes apenas à torta (bolo) do filtro.
- Uma queda ( $\Delta P$ ) no sistema significa incluir também as resistências de escoamento em série.

$$\frac{dV}{A dt} = \frac{\Delta P}{\mu \left( \frac{\alpha w V}{A} + R_m \right)} \quad (8)$$

- Sendo  $R_m$  – A resistência ao meio filtrante e da tubulação de escoamento do filtrado.

# Cálculos de Filtração

- Separando as variáveis e integrando a equação (8) para tortas incompressíveis ( $\alpha = \text{constante}$ ) e para operação de  $\Delta P$  constante, temos:

$$\int_0^t dt = \frac{\mu}{P} \int_0^V \left( \frac{\alpha w V}{A^2} + \frac{R_m}{A} \right) dV$$
$$t = \frac{\mu}{P} \left( \frac{\alpha w}{2} \left( \frac{V}{A} \right)^2 + R_m \frac{V}{A} \right) \quad (9)$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \alpha w}{2P A^2} V + \frac{\mu R_m}{P A} \quad (10)$$

$$y = K_1 x + K_2$$

$$K_1 = \frac{\mu \alpha w}{2PA^2} \quad \text{e} \quad K_2 = \frac{\mu R_m}{AP}$$

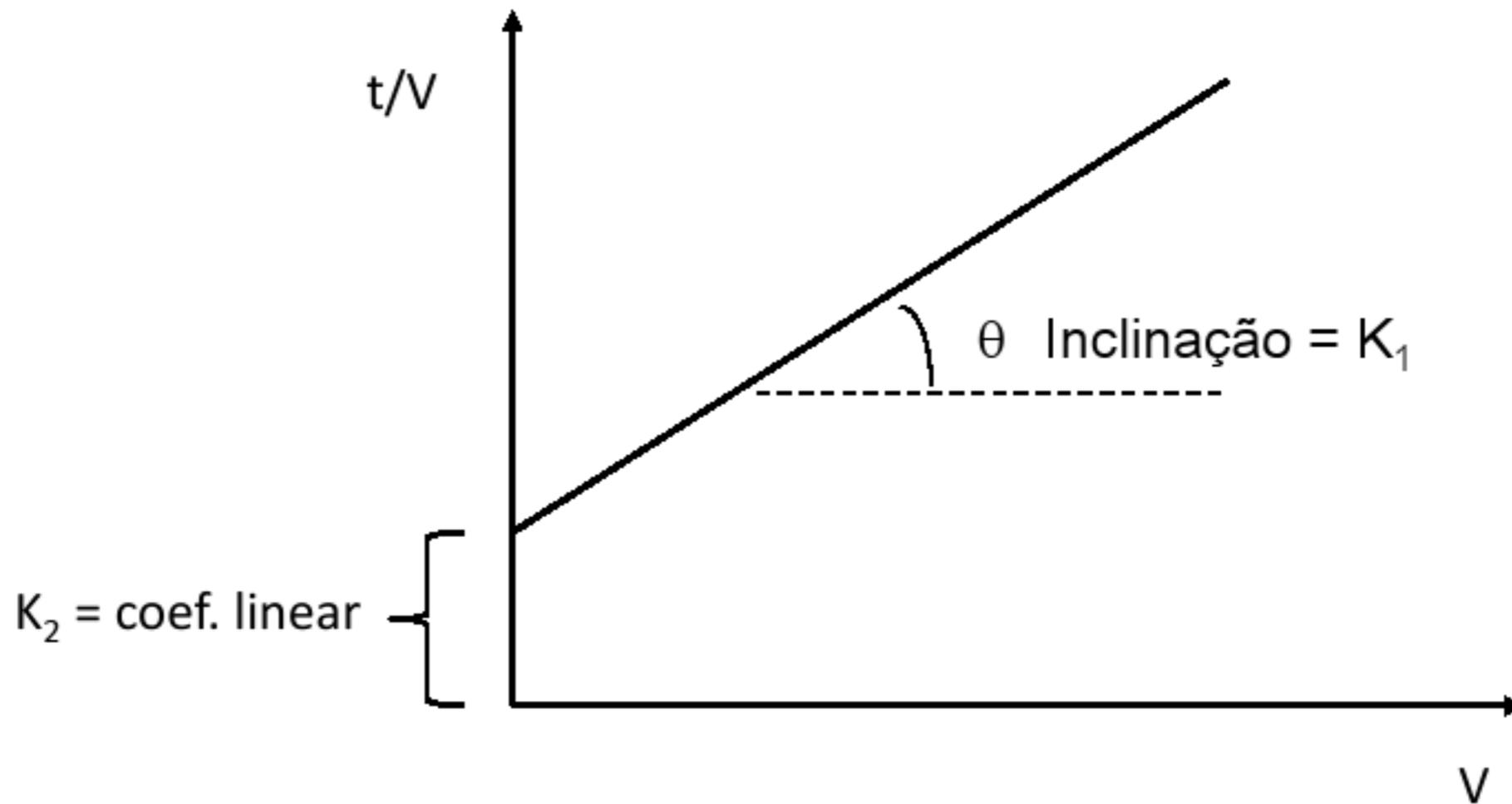


Gráfico para determinação de  $\alpha$  e  $R_m$  em um ensaio de filtração a pressão constante.

OBS: Regressão Polinomial:

1 – Plotar um gráfico  $t(y)$  x  $V(x)$ .

2 - fazer a regressão polinomial de 2ª ordem para obter a equação.

$$t = a_0 + a_1 V + a_2 V^2$$

3 – Derivar  $dt/dV = a_1 + 2a_2 V$

$$K_1 = 2a_2 \text{ e } K_2 = a_1$$

# Processo com tortas compressíveis

- Se  $\alpha$  é independente de  $\Delta P$  a torta é incompressível. Mas usualmente  $\alpha$  aumenta com  $\Delta P$ , pois a torta geralmente é compressível. Uma equação empírica foi determinada em pressões modelaras.

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta P)^s$$

- Sendo:
- $\alpha_0$  - Resistência específica da torta em pressão nula; é uma constante.
- $s$  – Fator de compressibilidade da torta, constante em domínios moderados de pressão.
- Valores empíricos que podem ser determinados por experimentos.
- Quando  $s = 0$ , tortas incompressíveis.
- Para  $s$  entre 0 e 1, tortas compressíveis.

## Exercício de Filtração.

1. Dados experimentais (ensaio de laboratório) de filtração de  $\text{CaCO}_3$  a  $25^\circ\text{C}$  a pressão constante de  $338 \text{ kN/m}^2$  são mostrados na tabela abaixo. A área de filtração do filtro de placas e quadros é de  $0,0439 \text{ m}^2$  e a concentração dos sólidos na suspensão ( $C_s$ ) é de  $23,47 \text{ kg/m}^3$ .

t (s)	4,4	9,5	16,3	24,6	34,7	46,1	59,0	73,6	89,4	107,3
$V \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$	0,498	1,00	1,501	2,00	2,498	3,002	3,506	4,004	4,502	5,009

1. Determine as constantes  $\alpha$  e  $R_m$ .

2. Determine o tempo necessário para obter um volume de  $3,37 \text{ m}^3$  em um filtro de placas e quadros constituído de 20 quadros com área unitária de  $0,837 \text{ m}^2$ . (a pressão e as propriedades da torta são as mesmas do ensaio de laboratório).

3. considerando um volume de lavagem de 10% do volume do filtrado e um tempo de montagem e desmontagem de 20 minutos, calcule o tempo do ciclo de operação.

Solução: inicialmente é calculada a relação **t/V**.

t (s)	4,4	9,5	16,3	24,6	34,7	46,1	59,0	73,6	89,4	107,3
V x 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	0,498	1,00	1,501	2,00	2,498	3,002	3,506	4,004	4,502	5,009
t/V x 10 <sup>-3</sup>	8,84	9,50	10,86	12,30	13,89	15,36	16,83	18,38	19,86	21,42

