ENGENHARIA DE BIOSSISTEMAS – FZEA / USP

ZEB1027 FENÔMENOS DE TRANSPORTE

TTR REGIME TRANSIENTE VC UNIFORME: EXEMPLOS

- DESCARGA DE TANQUE SEM ALIMENTAÇÃO
- LÍQUIDO SOB TRATAMENTO TÉRMICO EM MISTURADOR
- PREENCHIMENTO DE ESTEIRA TRANSPORTADORA

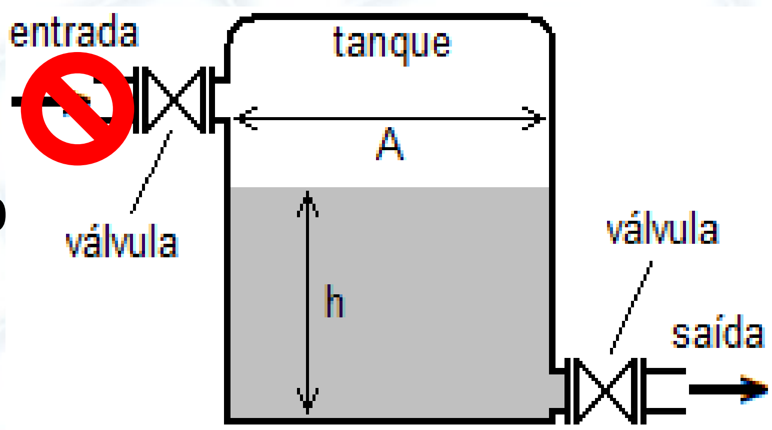
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Descarga de tanque (s/ alimentação)

- Um tanque cilíndrico com 0,4 m^2 de seção transversal contém água, cujo nível está inicialmente a 1,69 m da posição no fundo do tanque onde há uma válvula para descarga. Esta válvula é então aberta e, à medida que a altura h (do nível) da água diminui, a vazão de saída reduz-se segundo a expressão: (vazão em m^3/min, altura em m)

$$\dot{V}_{\text{sai}} = 0{,}016\,\sqrt{h}$$

Mantendo-se a válvula de alimentação a todo instante fechada, após quanto tempo o nível h da água no tanque descerá para 0,49 m?



Descarga de tanque (s/ alimentação)

TTR massa: (transiente)

$$\frac{\mathrm{d}(\rho V)_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t} = \underbrace{\sum_{\text{entradas}} \rho v A}_{0} - \sum_{\text{saídas}} \rho \boxed{vA} \qquad \dot{V}_{\mathrm{sai}} = k\sqrt{h}$$

ρ = constante

$V = V(t) = A\,h(t)$

$$A\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = -k\sqrt{h} \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = -\frac{k}{A}h^{1/2}$$

$h(t)$ = ?

$$h^{-1/2}\mathrm{d}h = -\tfrac{k}{A}\mathrm{d}t$$

$\int$

$t = 0$: $h_0 = 1{,}69$ m

condição inicial

$$\int_{h_0}^{h(t)} h^{-1/2}\mathrm{d}h = -\tfrac{k}{A}\int_0^t \mathrm{d}t$$

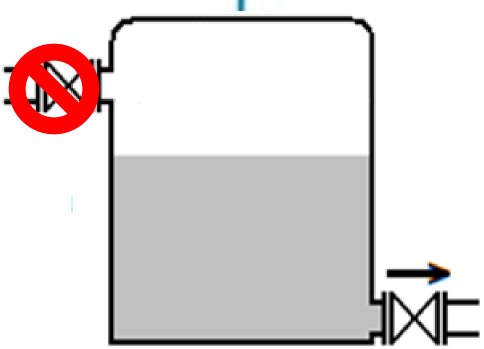
$$\sqrt{h(t)} = \sqrt{h_0} - \tfrac{k}{2A}t$$

$h = 0{,}49$ m

$k = 0{,}016$ m^{2,5}/min

$A = 0{,}4$ m^2

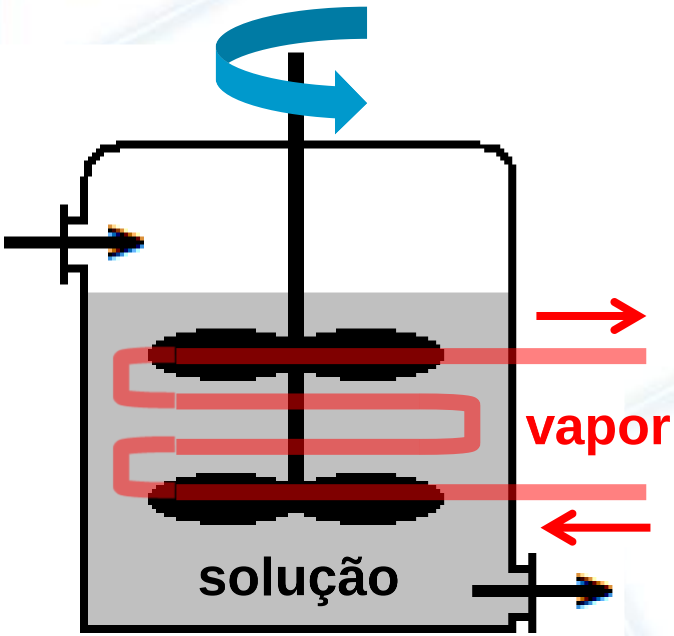
$t = 30$ min



Tratamento térmico em misturador

- Com 80 kg/h de vazão mássica, uma solução a T_{entra} = 20ºC é alimentada para um misturador. Em seu interior há uma serpentina de aquecimento pela qual flui vapor a T_{vapor} = 150ºC, que cede calor a uma taxa (kJ/h) de:

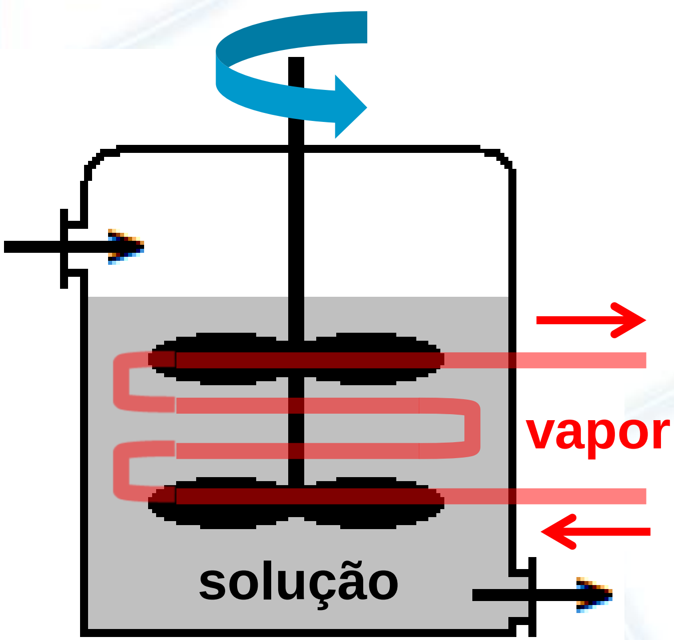
$$\dot{Q}_{vapor} = 840(T_{vapor} - T)$$



sendo $T = T(t)$ a temperatura da solução no misturador, a todo instante uniformizada pelas pás misturadoras. A mesma vazão mássica (80 kg/h) de solução aquecida deixa o misturador.

Tratamento térmico em misturador

- Dado que no início da operação há 40 kg de solução no misturador, avalie: (*a*) a temperatura inicial T_0 para que, após 15 min, a solução atinja (e saia a) 100ºC e (*b*) a máxima temperatura que a solução pode atingir.



Despreze a energia fornecida pelas pás misturadoras. Dados da solução e da operação:

$$\rho = 1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \qquad c = 4{,}2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\,^{\text{o}}\text{C}}$$

$$m_0 = 40\,\text{kg} \qquad \dot{m}_{\text{sai}} = \dot{m}_{\text{entra}} = 80\frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{W}_{\text{pás}} \approx 0 \qquad T_{\text{vapor}} = 150^{\text{o}}\,\text{C}$$

Tratamento térmico em misturador

TTR massa $\longrightarrow$ $$\frac{d(\rho V)_{VC}}{dt} = \sum_{\text{entra}} \rho v A - \sum_{\text{sai}} \rho v A \xrightarrow{\dot m_{\text{entra}} = \dot m_{\text{sai}}} \frac{dm_{VC}}{dt} = 0$$

$$\therefore \quad m_{VC} = \text{constante} = m_0 = 40\,\text{kg}$$

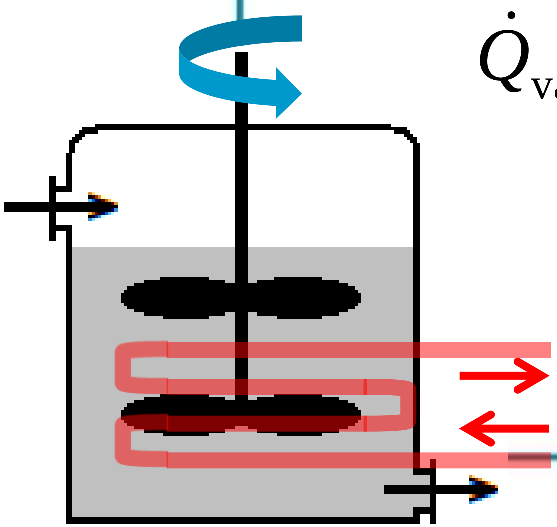
TTR energia $\longrightarrow$ $$\boxed{\dot Q} - \cancelto{0}{\dot W_{\text{eixo}}} = \frac{d(c_v T \rho V)}{dt} + \sum_{\text{sai}} c_p T \rho v A - \sum_{\text{entra}} c_p T \rho v A$$

$$\dot Q_{\text{vapor}} \qquad c_v = c_p = c \qquad \dot m_{\text{entra}} = \dot m_{\text{sai}} = \dot m$$

***T*(*t*) = ?**

?

$$k_v (T_{\text{vapor}} - T) = m_0 c \frac{dT}{dt} + \dot m c T_{\text{sai}} - \dot m c T_{\text{entra}}$$



Tratamento térmico em misturador

$$k_v(T_{vapor} - T) = m_0 c\frac{dT}{dt} + \dot{m}c(T - T_{entra})$$

$k_v = 840\,\mathrm{kJ/(h\,^oC)}$ $T_{vapor} = 150^o\,\mathrm{C}$ $\dot{m} = 80\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{h}}$

$c = 4{,}2\,\mathrm{kJ/(kg\,^oC)}$ $T_{entra} = 20^o\,\mathrm{C}$ $m_0 = 40\,\mathrm{kg}$

$u(t) = 790 - 7T(t)$ → mudança

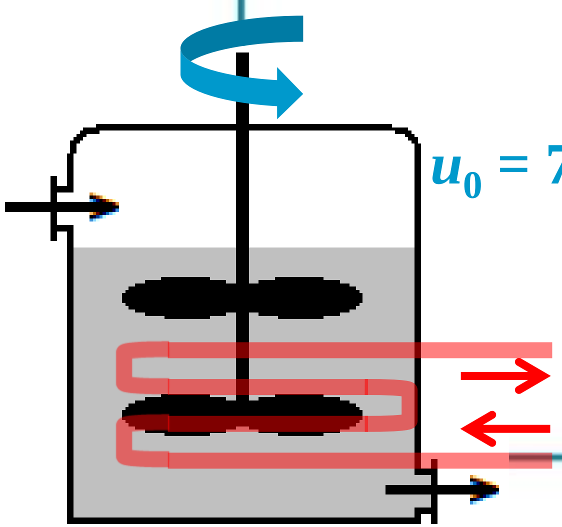
$$\frac{dT}{dt} = 790 - 7T$$

condição inicial ← $t = 0$: $T = T_0 = ?$

$u_0 = 790 - 7T_0 \rightarrow$ $u(t) = u_0\, e^{-7t}$ $\xrightarrow[T_f\, =\, 100^oC]{t_f\, =\, ¼\ h}$ (*a*) $T_0 \cong 39^oC$

$t \rightarrow \infty$ $u \rightarrow 0$

(*b*) $T_\infty \cong 113^oC$

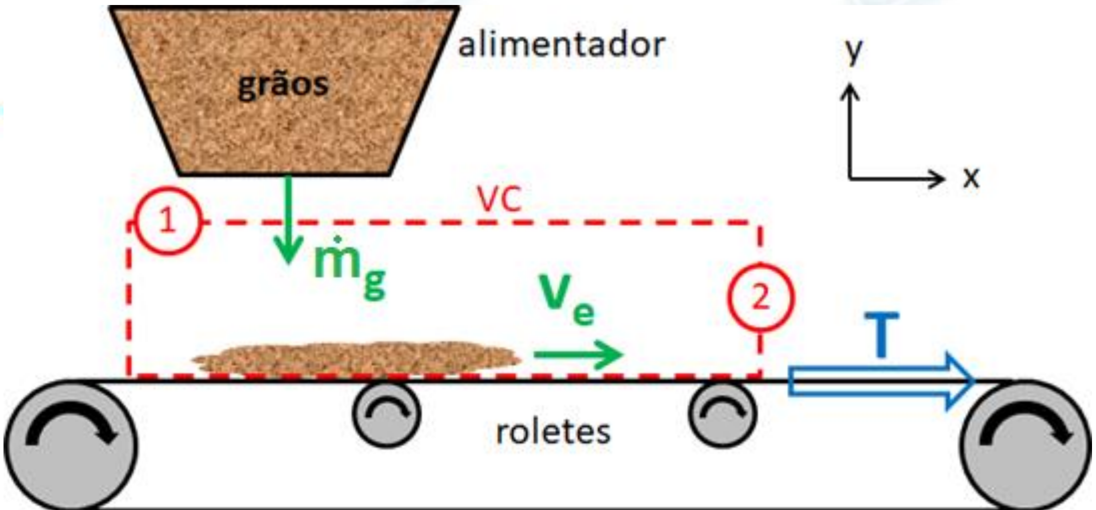


Esteira transportadora: preenchimento

- Uma esteira transportadora move-se com 0,914 m/s de velocidade horizontal. A partir de um alimentador, grãos passam a cair (verticalmente) sobre a esteira com uma vazão mássica de 226,796 kg/s. Desprezando o atrito nos roletes e no sistema de acionamento, avalie a força horizontal necessária para tracionar a esteira enquanto ela é carregada (= não está totalmente preenchida).

A esteira está inicialmente vazia e a análise deve ser feita a partir do instante em que ela começa a ser preenchida com os grãos caindo a partir do alimentador.

Esteira transportadora: preenchimento



Hipóteses adicionais:

- Escoamento uniforme de grãos através da seção 1;
- Seção 2 suficientemente longe dos grãos (ainda não chegaram à seção “2”).

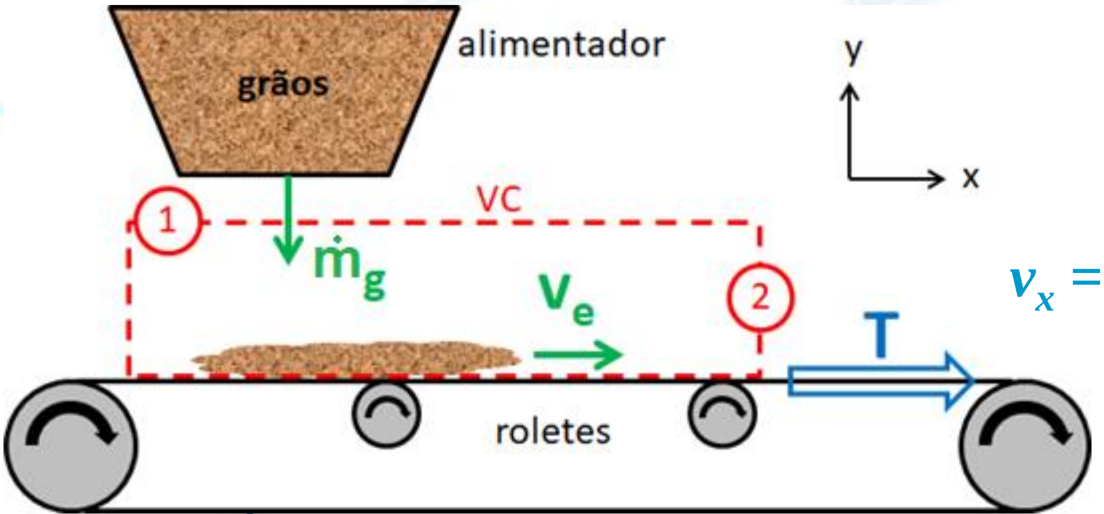
TTR massa: (transiente)

$$\frac{\mathrm{d}(\rho V)_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t} = \sum_{\mathrm{entradas}} \rho v A - \cancelto{0}{\sum_{\mathrm{saídas}} \rho v A} \Rightarrow \boxed{\frac{\mathrm{d}m_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t} = \dot{m}_{\mathrm{g}}}$$

TTR QDM-x: (transiente)

$$\cancelto{0}{F_{\mathrm{campo},x}} + F_{\mathrm{contato},x} = \frac{\mathrm{d}(v_x \rho V)_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t} + \cancelto{0}{\sum_{\mathrm{sai}} \dot{m} v_x} - \cancelto{0}{\sum_{\mathrm{entra}} \dot{m} v_x}$$

Esteira transportadora: preenchimento



$$F_{\mathrm{cont},x} = \frac{\mathrm{d}(v_x \rho V)_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t}$$

$v_x = v_e = \textbf{constante}$ | $F_{\mathrm{contato},x} = T_{\mathrm{esteira}}$

$$T_{\mathrm{esteira}} = v_{\mathrm{esteira}} \boxed{\frac{\mathrm{d}(\rho V)_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t}}$$

$$\frac{\mathrm{d}m_{\mathrm{VC}}}{\mathrm{d}t} = \dot{m}_{\mathrm{graos}}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dot{m}_{\mathrm{graos}} = 226{,}796\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} \\[2ex] v_{\mathrm{esteira}} = 0{,}914\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \end{array}\right\}$$

$$\boldsymbol{T_{\mathrm{esteira}} \cong 207{,}3\ \mathrm{N}}$$