

CONCURSO PÚBLICO – 01/2022

Área de Conhecimento: Engenharias/Engenharia Química

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 1

O primeiro passo é resolver o problema desconsiderando o atraso no tempo:

$$\frac{C_m^*(s)}{C^*(s)} = \frac{3}{10s+1} = \frac{0,3}{s+0,1}$$

A perturbação em C^* é dada por um degrau unitário na forma $C^*(s) = \frac{1}{s}$, e a expressão resultante pode ser expandida em frações parciais. Logo:

$$C_m^*(s) = \frac{0,3}{s(s+0,1)} = \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s+0,1}$$

Os coeficientes das frações parciais podem ser determinados pela técnica de Heaviside:

$$A_1 = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{0,3}{s(s+0,1)} = \frac{0,3}{0,1} = 3$$

$$A_2 = \lim_{s \rightarrow -0,1} (s+0,1) \cdot \frac{0,3}{s(s+0,1)} = \frac{0,3}{-0,1} = -3$$

Portanto:

$$C_m^*(s) = \frac{0,3}{s(s+0,1)} = \frac{3}{s} - \frac{3}{s+0,1}$$

Usando a transformada inversa de Laplace:

$$C_m^*(t) = L^{-1}\left(\frac{3}{s}\right) - L^{-1}\left(\frac{3}{s+0,1}\right)$$

$$C_m^*(t) = 3(1 - e^{-0,1t})$$

Como a resposta possui tempo morto igual a 1 minuto, de acordo com a exponencial contida na função de transferência:

$$C_m^*(t-1) = 3(1 - e^{-0,1(t-1)})$$



(A) $C_m^*(5-1) = 3(1 - e^{-0,1(5-1)}) \approx 0,989 \text{ mol/L}$ (com tempo morto)

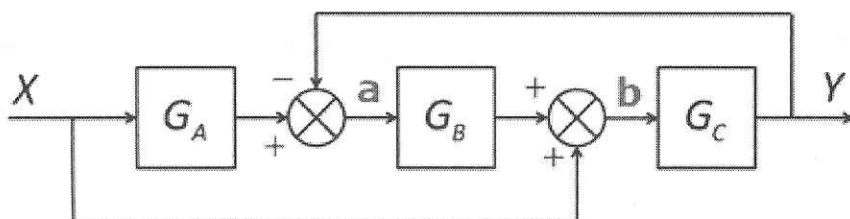
(B) $C_m^*(5) = 3(1 - e^{-0,1,5}) \approx 1,18 \text{ mol/L}$ (sem tempo morto)

A Questão 1 foi elaborada em concordância com a seguinte referência:

- D.E. SEBORG; T.F. EDGAR; D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control. Wiley, New York, 1989. Capítulo 5, páginas 5 e 47

QUESTÃO 2

Para auxiliar na escrita das equações, declaram-se duas variáveis intermediárias a e b, localizadas no diagrama de blocos nas seguintes posições:



Logo, é possível escrever as seguintes equações:

$$a = G_A X - Y \quad (1)$$

$$b = G_B a + X \quad (2)$$

$$Y = G_C b \quad (3)$$

Substituindo-se a equação (1) em (2), tem-se:

$$b = G_B (G_A X - Y) + X$$

$$b = G_A G_B X - G_B Y + X$$

$$b = (G_A G_B + 1)X - G_B Y$$

Substituindo esse resultado na equação (3), tem-se:

$$Y = G_C [(G_A G_B + 1)X - G_B Y]$$

$$Y = G_C (G_A G_B + 1)X - G_B G_C Y$$

$$Y(1 + G_B G_C) = G_C (G_A G_B + 1)X$$

$$\frac{Y}{X} = \frac{G_C (G_A G_B + 1)}{1 + G_B G_C}$$

A Questão 2 foi elaborada em concordância com as seguintes referências:

- D.E. SEBORG; T.F. EDGAR; D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control. Wiley, New York, 1989. Capítulo 10, páginas 231-233.

- G. STEPHANOPOULOS, Chemical process control: an introduction to theory and practice . Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall Internacional, 1984. Capítulo 14, páginas 258-261.

QUESTÃO 3

Considerando a malha apresentada e usando a regra prática de determinação da função de transferência da malha de feedback negativo é possível escrever a função de transferência para o problema regulador:

$$(A) \quad \frac{C}{U} = \frac{\left(\frac{1}{\tau_1 s + 1} \right)}{1 + \frac{K_C (1 + \tau_D s)}{(\tau_1 s + 1)(\tau_m s + 1)}}$$

A partir da função de transferência, passa-se à etapa de simplificação dela para comparação com a forma padrão de 2ª ordem para funções de transferências:

(B)

$$\frac{C}{U} = \frac{\left(\frac{1}{\tau_1 s + 1} \right)}{\frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_m s + 1) + K_C (1 + \tau_D s)}{(\tau_1 s + 1)(\tau_m s + 1)}}$$

$$\frac{C}{U} = \frac{\tau_m s + 1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_m s + 1) + K_C (1 + \tau_D s)}$$

$$\frac{C}{U} = \frac{\tau_m s + 1}{\tau_1 \tau_m s^2 + \tau_1 s + \tau_m s + 1 + K_C + K_C \tau_D s}$$

$$\frac{C}{U} = \frac{\tau_m s + 1}{\tau_1 \tau_m s^2 + (\tau_1 + \tau_m + K_C \tau_D) s + 1 + K_C}$$

$$\frac{C}{U} = \frac{\left(\frac{1}{1 + K_C} \right) (\tau_m s + 1)}{\left(\frac{\tau_1 \tau_m}{1 + K_C} \right) s^2 + \left(\frac{\tau_1 + \tau_m + K_C \tau_D}{1 + K_C} \right) s + 1}$$

Comparando com a forma padrão de 2ª ordem para funções de transferência:

$$\frac{Y}{X} = \frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\zeta \tau s + 1}$$

Tem-se que:

$$\tau^2 = \frac{\tau_1 \tau_m}{1 + K_C}$$

$$\tau = \sqrt{\frac{\tau_1 \tau_m}{1 + K_C}}$$

$$2\zeta\tau = \frac{\tau_1 + \tau_m + K_C \tau_D}{1 + K_C}$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 + K_C}{\tau_1 \tau_m}} \left(\frac{\tau_1 + \tau_m + K_C \tau_D}{1 + K_C} \right)$$

$$\zeta = \frac{\tau_1 + \tau_m + K_C \tau_D}{2\sqrt{\tau_1 \tau_m (1 + K_C)}}$$

A Questão 3 foi elaborada em concordância com a seguinte referência:

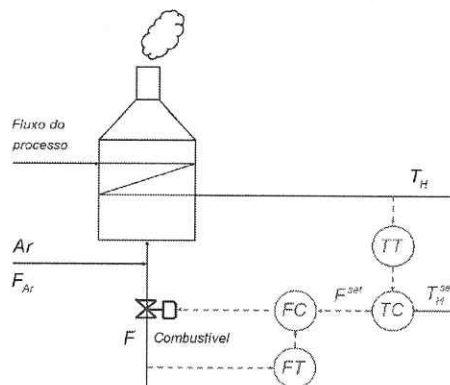
- D.E. SEBORG; T.F. EDGAR; D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control. Wiley, New York, 1989.

Capítulo 10, páginas 231-233.

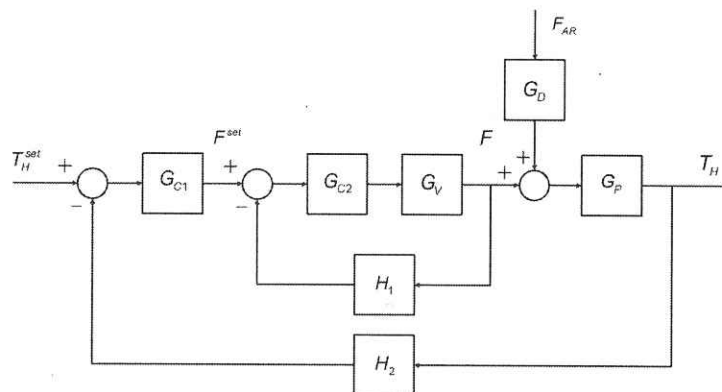
Capítulo 5, páginas 113-114.

QUESTÃO 4

Malha com cascata:



Malha com cascata em diagrama de blocos:



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

A Questão 4 foi elaborada em concordância com a seguinte referência:

- D.E. SEBORG; T.F. EDGAR; D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control. Wiley, New York, 1989. Capítulo 18, páginas 412-415.

QUESTÃO 5

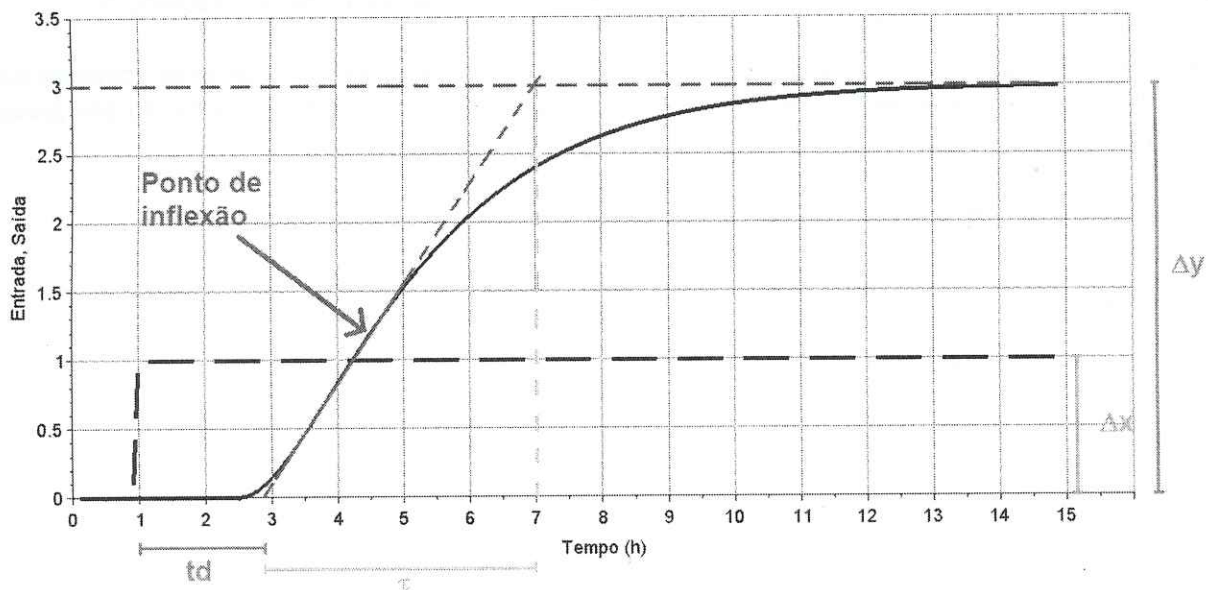
A forma da equação de uma resposta de um sistema de primeira ordem com tempo morto pode ser escrita como:

$$Y(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-td.s}$$

O parâmetro K pode ser obtido fazendo-se a divisão de Δy por Δx , ou seja, a variação total da resposta y dividido pela amplitude do degrau aplicado:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

O valor do tempo morto, td , e da constante de tempo, τ , são obtidas traçando-se duas retas: a primeira que é definida pelo valor final de y e é paralela ao eixo das abscissas; a segunda é tangente ao ponto de inflexão da curva e transpõe o eixo x e a primeira reta. O tempo morto é tempo medido entre o instante da aplicação do degrau e o ponto que a segunda reta cruza o eixo das abscissas. A constante de tempo é o tempo medido entre o ponto que a segunda reta cruza o eixo das abscissas e o ponto em que ela cruza a primeira reta.

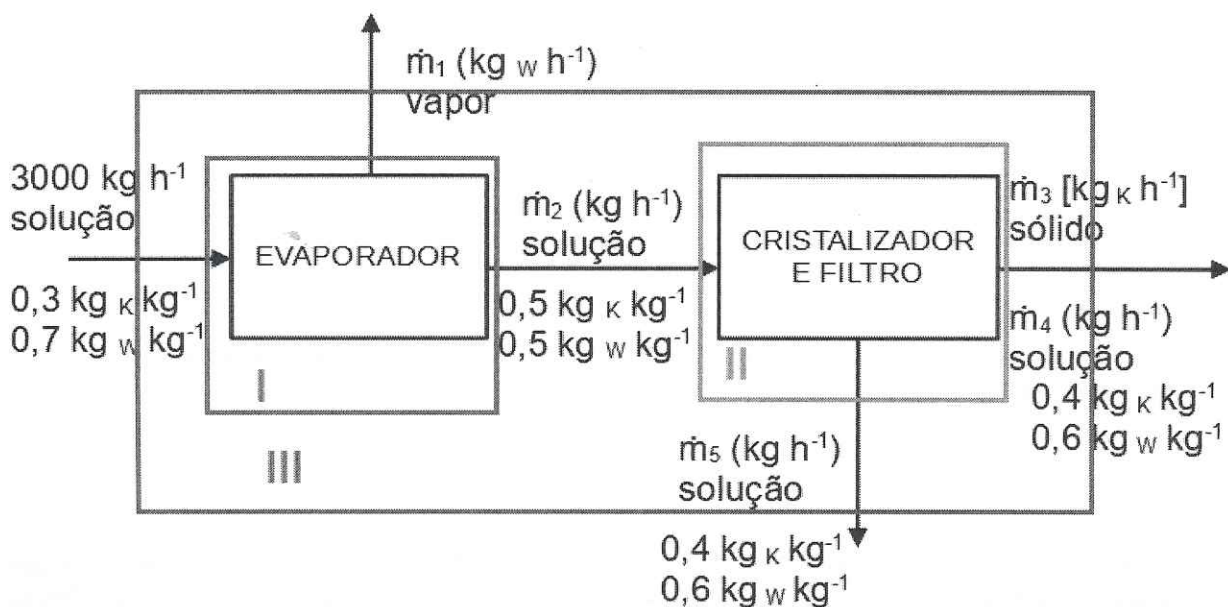


A Questão 5 foi elaborada em concordância com a seguinte referência:

- D.E. SEBORG; T.F. EDGAR; D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control. Wiley, New York, 1989. Capítulo 7, páginas 171-172.

[Assinaturas manuscritas em azul]

QUESTÃO 6



Para a Fronteira I, tem-se duas variáveis e se podem escrever dois balanços linearmente independentes, ou seja, não existem graus de liberdade para esta fronteira.

Para a Fronteira II, tem-se quatro variáveis (incluindo $\dot{m}_2$ que pode ser calculado usando as equações da Fronteira I) e se podem escrever dois balanços linearmente independentes, portanto, restando dois graus de liberdade.

Para a Fronteira III, tem-se quatro variáveis (incluindo $\dot{m}_1$ que pode ser calculado usando as equações da Fronteira I) e se podem escrever dois balanços linearmente independentes, portanto, restando dois graus de liberdade.

Balanco para K na Fronteira I:

$$3000(kg)0,3\left(\frac{kg_K}{kg}\right) = 0,5\left(\frac{kg_K}{kg}\right)\dot{m}_2(kg)$$

$$\dot{m}_2 = 1800(kg)$$

Balanco global na Fronteira I:

$$3000(kg) = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_1 = 3000(kg) - 1800(kg) = 1200(kg)$$

Balanco de W na Fronteira II:

$$1800(kg)0,5\left(\frac{kg_W}{kg}\right) = 0,6\left(\frac{kg_W}{kg}\right)\dot{m}_4(kg) + 0,6\left(\frac{kg_W}{kg}\right)\dot{m}_5(kg)$$

$$900(kg_W) = 0,6\left(\frac{kg_W}{kg}\right)[\dot{m}_4(kg) + \dot{m}_5(kg)]$$

$$[\dot{m}_4(kg) + \dot{m}_5(kg)] = 1500(kg)$$

Balanco de K na Fronteira II:

$$1800(kg)0,5\left(\frac{kg_K}{kg}\right) = 0,4\left(\frac{kg_K}{kg}\right)\dot{m}_4(kg) + 0,4\left(\frac{kg_K}{kg}\right)\dot{m}_5(kg) + \dot{m}_3(kg_K)$$

$$900(kg_K) = 0,4\left(\frac{kg_K}{kg}\right)[\dot{m}_4(kg) + \dot{m}_5(kg)] + \dot{m}_3(kg_K)$$

como: $[\dot{m}_4(kg) + \dot{m}_5(kg)] = 1500(kg)$

$$900(kg_K) = 0,4(kg_K/kg)1500(kg) + \dot{m}_3(kg_K)$$

$$900(kg_K) = 600(kg_K) + \dot{m}_3(kg_K)$$

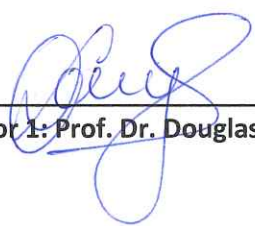
$$\dot{m}_3(kg_K) = 300(kg_K)$$

Por fim, $\dot{m}_4$, $\dot{m}_5$ não podem ser calculados.

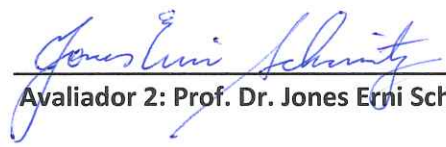
A Questão 6 foi elaborada em concordância com a seguinte referência:

- R.M. FELDER; R.W. ROUSSEAU, Elementary Principles of Chemical Processes, 3. ed. Nova York John Wiley & Sons, 2004. Capítulo 4, páginas 86 e 98 -100.

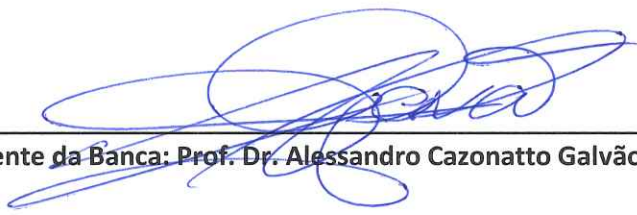
Membros da Banca:



Avaliador 1: Prof. Dr. Douglas Junior Nicolin



Avaliador 2: Prof. Dr. Jones Erni Schmitz



Presidente da Banca: Prof. Dr. Alessandro Cazonatto Galvão