Exercício 3 de Controle de Processo

Disciplina: Técnicas de Controle de Processos Industriais
Aluno: Gabriel Becker
Matrícula: 2013075965

1) Cálculo da Matriz RGA

$$Y = \begin{bmatrix} H_2 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{R_{02}\bar{q}_q}{R_{02}A_2 s+1} & \dfrac{R_{02}\bar{q}_f}{R_{02}A_2 s+1} \\ \dfrac{(T_{10}-T_{20})\bar{q}_q}{A_2 h_{20} s+\bar{q}_q\delta_{q0}+\bar{q}_f\delta_{f0}} & \dfrac{(T_{f0}-T_{20})\bar{q}_f}{A_2 h_{20} s+\bar{q}_q\delta_{q0}+\bar{q}_f\delta_{f0}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_q \\ \delta_f \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} \dfrac{0{,}3766}{2821s+1} & \dfrac{0{,}8532}{2821s+1} \\ \dfrac{0{,}007128}{0{,}7934s+0{,}0002813} & \dfrac{-0{,}000572}{0{,}7934s+0{,}0002813} \end{bmatrix} U$$

$$G(0) = \begin{bmatrix} 0{,}3766 & 0{,}8532 \\ 25{,}3395 & -34{,}0277 \end{bmatrix} \qquad RGA = \begin{bmatrix} 0{,}3722 & 0{,}6278 \\ 0{,}6278 & 0{,}3722 \end{bmatrix}$$

N Index: Pareamento $H_2 \to \delta_q$, $T_2 \to \delta_f$

$$\frac{\det(G(0))}{0{,}3766\cdot(-34{,}0277)} = 2{,}6271$$

Pareamento $H_2 \to \delta_f$, $T_2 \to \delta_q$

$$\frac{\det(G(0))}{0{,}8532\cdot 25{,}3395} = -1{,}5927$$

Em função de o segundo pareamento possuir valor negativo para o critério de N., só podemos usar o outro pareamento (G11, G22). Porém, os valores da matriz RGA são bem distantes de 1, o que pode dificultar a atuação do controlador descentralizado.

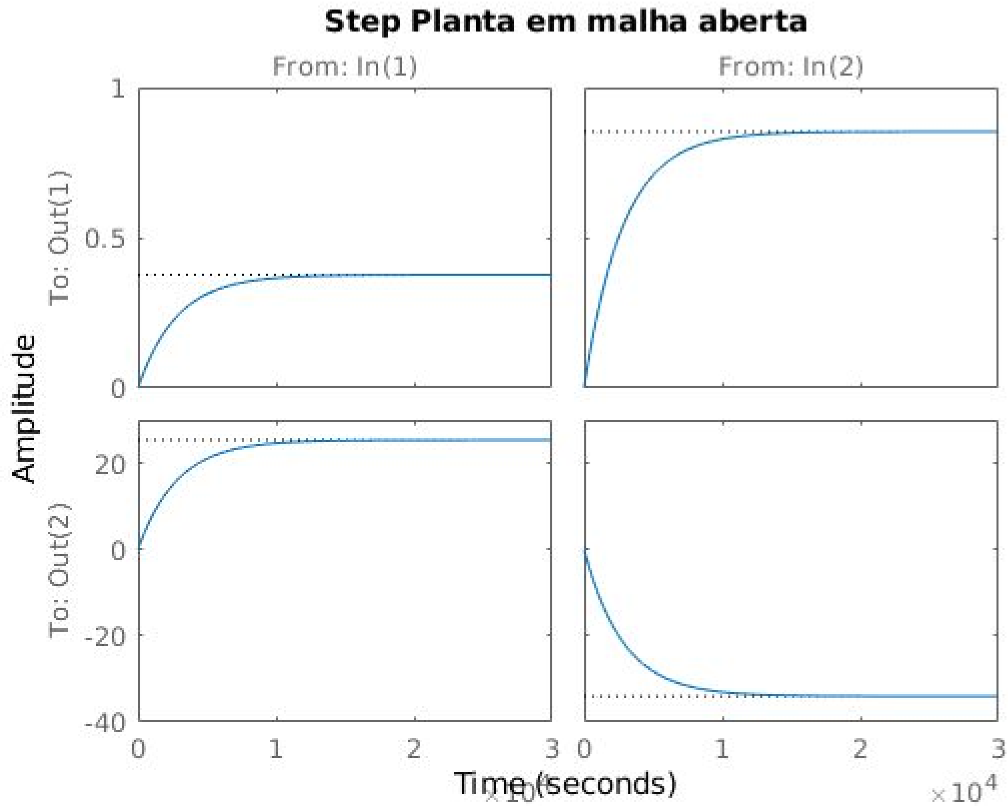
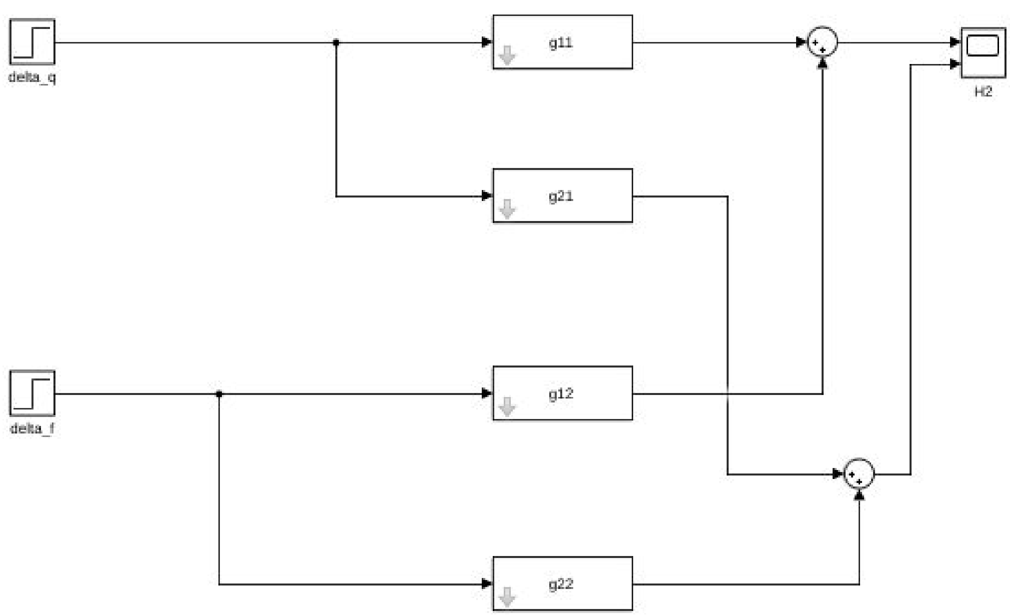


Diagrama de blocos da malha aberta:



2) Controladores Descentralizados

$$g_{11} = \frac{0{,}3766}{2821s+1} \qquad g_{11}' = \frac{1}{\tau s+1} \qquad \tau = 0{,}8 \cdot 2821$$

$$\frac{CG}{1+CG} = G' \qquad GC = G' + CG'G \qquad C = \frac{\frac{1}{\tau+1}}{\frac{0{,}3766}{2821s+1}\left(1-\frac{1}{\tau s+1}\right)}$$

$$CG - CGG' = G'$$

$$C(G(1-G')) = G'$$

$$C_1 = \frac{2821s+1}{0{,}3766\,\tau s}$$

$$C_1 = \frac{2815s+1}{848s}$$

$$g_{22} = \frac{-0{,}009572}{67934s+0{,}0002813} = -\frac{34{,}0206}{2820s+1} = \frac{k}{\alpha s+1}$$

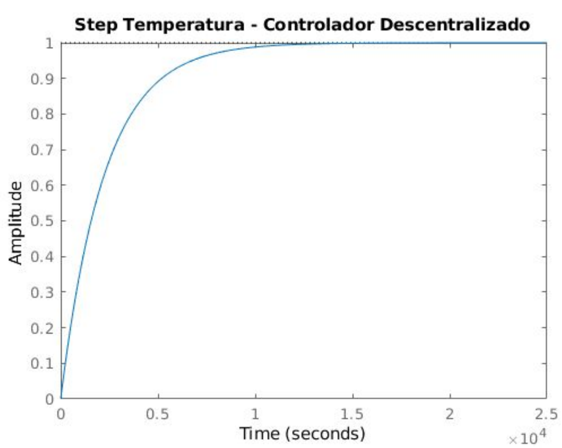
$$C_2 = \frac{\frac{1}{\tau s+1}}{\frac{k}{\alpha s+1}\left(\frac{\tau s+1-1}{\tau s+1}\right)} = \frac{\alpha s+1}{k\tau s} \qquad \tau = 0{,}8 \cdot 0{,}00282$$

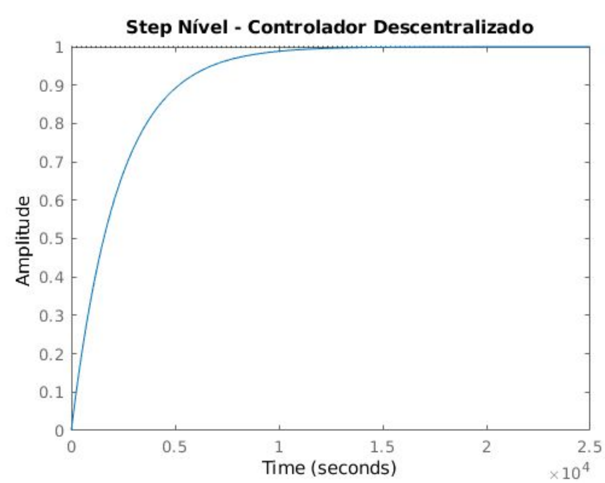
$$C_2 = \frac{\alpha s+1}{k(\tau s)}$$

$$C_2 = \frac{2820s+1}{-34{,}0206(0{,}8 \cdot 2820)s}$$

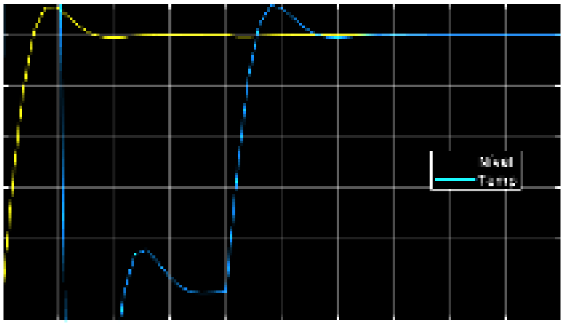
$$C_2 = -\frac{2820s+1}{76750s}$$

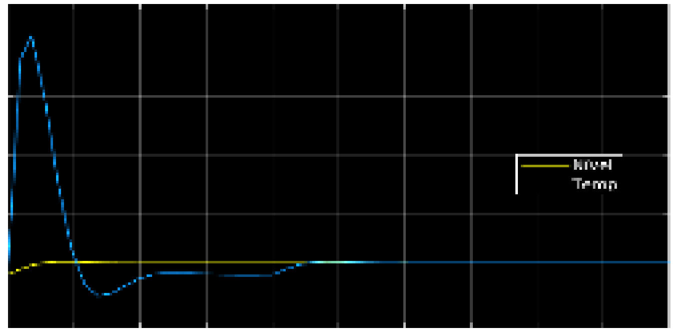
Para esses controladores temos, nas malhas do pareamento, as seguintes respostas ao degrau:





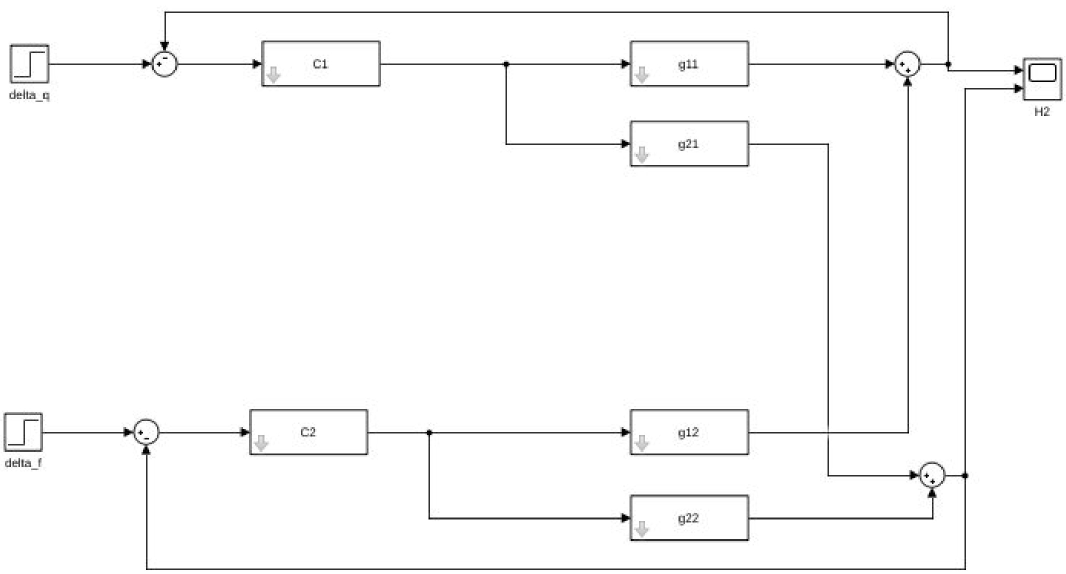
Porém, o resultado da simulação, por incluir nas realimentações o erro que soma as dinâmicas das malhas que ficaram de fora do pareamento, o resultado é diferente:





Podemos observar que as malhas são BIBO estáveis (reações limitadas em regime permanente a uma entrada limitada). A malha de nível apresenta um sobressinal mas o comportamento é razoável, menos de 10% de sobressinal. Porém, a malha de temperatura tem um sobressinal tão intensa que torna o controlador impraticável

Diagrama de blocos das malhas com controle descentralizado:



3) Desacoplador

$$G = \begin{bmatrix} \dfrac{0{,}3766}{2821s+1} & \dfrac{0{,}8532}{2821s+1} \\ \dfrac{25{,}3395}{2820s+1} & -\dfrac{34{,}0277}{2820s+1} \end{bmatrix}$$

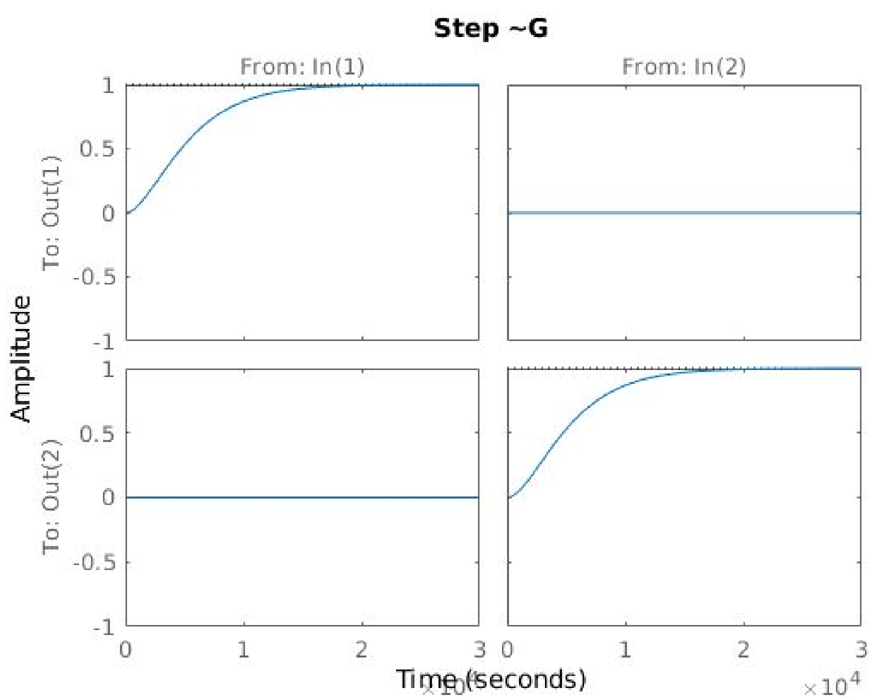
$$G = PN = \frac{1}{(2820s+1)(2821s+1)} \begin{bmatrix} 0{,}3766(2820s+1) & 0{,}8532(2820s+1) \\ 25{,}3395(2821s+1) & -34{,}0277(2821s+1) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{G} = GD, \quad p/ \quad \hat{G} = P, \quad D = N^{-1}$$

$$D = \begin{bmatrix} \dfrac{3{,}5\cdot 10^{-4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7}}{s^2 + 7\cdot 10^{-4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7}} & \dfrac{8{,}8\cdot 10^{-6}s + 3{,}11\cdot 10^{-9}}{s^2 + 7\cdot 10^{-4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7}} \\ \dfrac{2{,}6\cdot 10^{-4}s + 9{,}25\cdot 10^{-8}}{s^2 + 7\cdot 10^{-4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7}} & \dfrac{-(3{,}8\cdot 10^{-6}s + 1{,}3\cdot 10^{-9})}{s^2 + 7\cdot 10^{4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7}} \end{bmatrix}$$

$$s^2 + 7\cdot 10^{-4}s + 1{,}2\cdot 10^{-7} = 0 \rightarrow \text{estável}$$

O cálculo acima indica quais são as matrizes de transferência desacoplada (P ou ~G) e o feedforward que realiza o desacoplamento (D). A resposta ao degrau da matriz de transferência é a seguinte:



4) Controlador Centralizado

$$\mathbb{C} \text{ p/ } \frac{H_2}{\delta_q} \qquad \omega_n = \frac{4}{0{,}68 \cdot t_s} \qquad t_s = 0{,}8 \cdot 3 \cdot 2821 = 48504$$

$$G_d = \frac{7{,}5 \cdot 10^{-7}}{s^2 + 1{,}2 \cdot 10^{-3} + 7{,}5 \cdot 10^{-3}} \qquad \mathbb{C} = \frac{G_d}{G(1 - G_d)}$$

$$\mathbb{C}_1 = \frac{(2821s+1)(2820s+1)\, 7{,}5\, 10^{-7}}{s(s + 1{,}2 \cdot 10^{-3})}$$

$$\mathbb{C} \text{ p/ } \frac{T_2}{\delta_f} \qquad \omega_n = \frac{4}{0{,}68\, t_s} \qquad t_s = 0{,}8 \cdot 3 \cdot 2020 = 48480$$

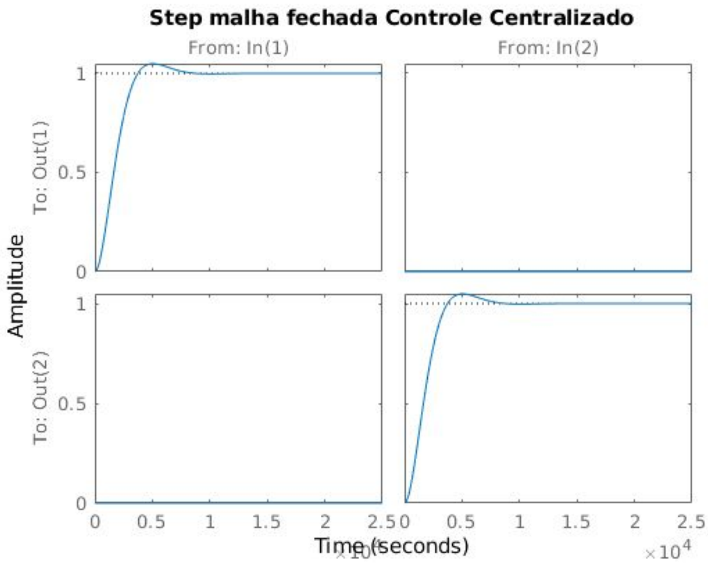
$$G_d = \frac{7{,}5 \cdot 10^{-7}}{s^2 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} s + 7{,}5 \cdot 10^{-7}} \qquad \mathbb{C}_2 = \mathbb{C}_1$$

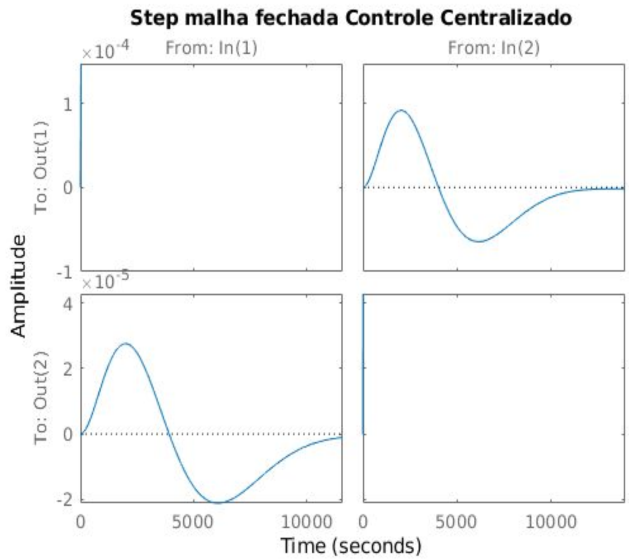
$$\tilde{\mathbb{C}} = D \cdot (\mathbb{C}_1 \cdot I_2)$$

As dinâmicas desejadas, definidas como sistema de segunda ordem que obedeça a especificação de acelerar o tempo de acomodação por um fator de 0.8, são muito próximas, por tanto, considerando que a matriz de transferência descentralizada tem as mesmas dinâmicas na diagonal, podemos usar o mesmo controlador para as duas malhas, Por tanto, o controlador centralizado (~C) é o controlador C1 para a primeira dinâmica do pareamento multiplicado pela identidade e então multiplicada pelo feedforward descentralizador D.

5) Simulação Controlador Centralizado

A função step(feedback(C*(P*eye(2),1)) retorna o seguinte resultado:





Podemos observar que existe uma dinâmica nas malhas fora do pareamento, mas elas rejeitam o degrau em regime permanente e tem um sobressinal da ordem 10e-4 no transitório, ou seja, são insignificantes.

O resultado da simulação com o controlador centralizado é o seguinte.

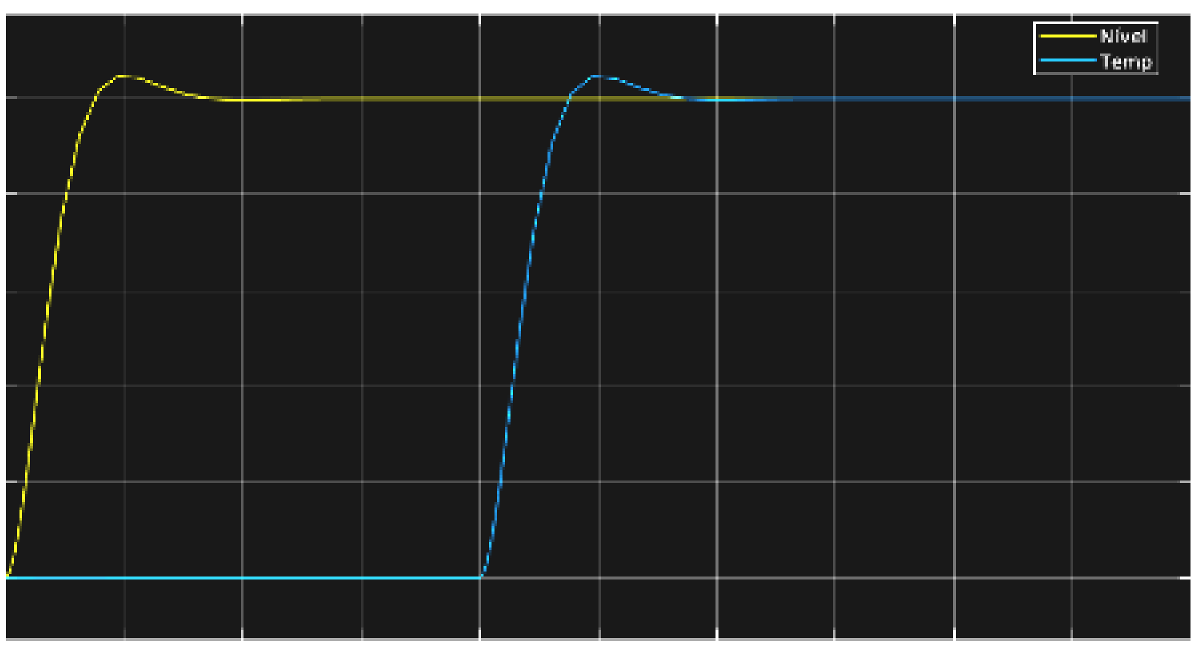


Diagrama de blocos da realimentação com controlador centralizado: