



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**ELE0522 - SISTEMAS DE CONTROLE II**  
**PROFESSOR : KURIOS IURI PINHEIRO DE MELO QUEIROZ**

**PROJETO 1 - CONTROLE DE NÍVEL**  
**RELATÓRIO DA SEMANA 2**

**GRUPO 3**  
**RÔMULO BRITO DE FARIAS**  
**RUAN DE ANDRADE MOUTTA**  
**THIELDER DE MENEZES GONÇALVES**  
**VITOR MARQUES DE CARVALHO XAVIER**

**NATAL/RN**  
**MARÇO DE 2024**

## **RESUMO**

O controle de nível é uma função essencial em muitos sistemas industriais e de engenharia, onde é necessário garantir que o nível seja mantido dentro de limites específicos. Em suma, este trabalho busca concluir a projeção de um controlador PI, utilizado para regular um sistema hidráulico, com controle de nível, usando as condições angulares e de magnitude, para o controle do primeiro tanque.

## **SUMÁRIO**

**1. RESUMO**

**2. INTRODUÇÃO**

**3. MODELAGEM MATEMÁTICA**

**4. CONCLUSÕES**

**5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 2. INTRODUÇÃO

Sistemas hidráulicos automáticos são comuns em plantas industriais, mas devido ao aumento populacional e às crises hídricas, sistemas automáticos para armazenamento, reutilização e captação de água estão se tornando mais frequentes em residências. Tanto em áreas urbanas quanto rurais, esses sistemas estão ganhando destaque e devem ser incluídos no portfólio de trabalhos dos engenheiros eletricitas, seja para construir sistemas automáticos de nível ou para realizar sua manutenção.

Existem diversas configurações para sistemas de controle de nível, nesse caso utilizaremos um controlador PI para regular o nível do tanque 1. Um controlador PI é um tipo de controlador de realimentação que ajusta uma variável de controle, como a abertura de uma válvula ou a velocidade de uma bomba, com base no erro entre o nível desejado e o nível medido, considerando tanto a proporção do erro quanto a sua integral ao longo do tempo.

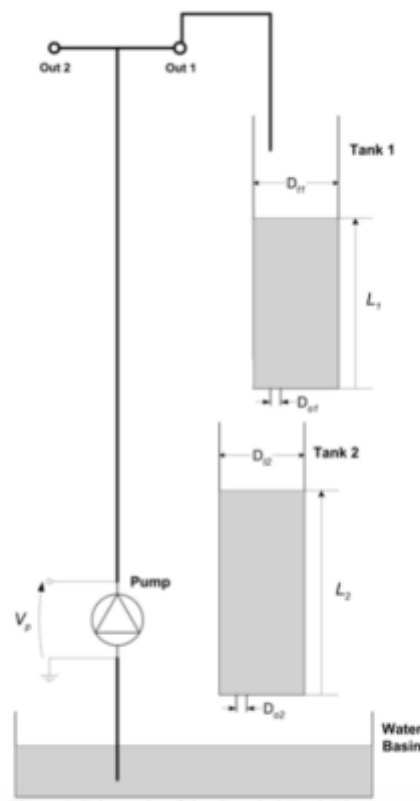


Figura 1: Esquemático do sistema de controle de nível.

Fonte: Roteiro da atividade.

### 3. MODELAGEM MATEMÁTICA

De início, calculamos o  $\xi\omega n$  para obter um tempo de estabilização de 5s,

$$Ts(2\%) \leq 5s \rightarrow \frac{4}{\xi\omega n} \implies \xi\omega n = 0,8 \quad [1]$$

em seguida, calculamos o  $\xi$  para determinar o ângulo de abertura, a partir do  $\cos^{-1}$

$$PO\% = 11\% \rightarrow \xi = - \frac{\ln(0,11)}{\sqrt{\pi^2 + \ln(0,11)^2}} = 0,575 \quad [2]$$

$$\theta = \cos^{-1}(\xi) = 54,9^\circ \quad [3]$$

prontamente, podemos determinar a “altura” do nosso espaço amostral (s), a partir da tangente do ângulo obtido

$$\begin{aligned} tg(\theta) = h/x \rightarrow 1,423 = h/0,8 \\ h = 1,14 \end{aligned} \quad [4]$$

Após esses resultados podemos seguir, obedecendo as condições angulares:

$$\begin{aligned} \angle GcGp &= 180^\circ \\ \angle \left[ \frac{k(s+z)0,2127}{s(s+0,066)} \right] &= 180^\circ \\ \angle(s+z) + \angle 0,27 - \angle s - \angle(s+0,066) &= 180^\circ \end{aligned} \quad [5]$$

$$\theta_z - \theta_{s_0} - \theta_{s_1} = 180^\circ \quad [6]$$

$$\theta_{s_0} = 180 - tg^{-1}(1,14/0,8) = 125,06^\circ \quad [7]$$

$$\theta_{s_1} = 180 - tg^{-1}(1,14/0,8 - 0,066) = 122,77^\circ \quad [8]$$

$$\theta_{s_2} = 180 + 125,06 + 122,77 = 427,83 - 360 = 67,83^\circ \quad [9]$$

Assim, z está no ponto:

$$tg(67,83) = \frac{1,14}{x} \rightarrow x = \frac{1,14}{tg(67,83)} = 0,465 \quad [10]$$

$$\text{então, } Sz = 0,85 + 0,465 = 1,26 \rightarrow s_z = -1,26 \quad [11]$$

Depois de obedecer os critérios angulares, partimos para os critérios de magnitude:

$$\left[ \frac{k(s+1,26)0,2127}{s(s+0,066)} \right] = 1 \rightarrow k_c = \frac{1,393 \cdot 1,356}{0,2127 \cdot 1,23} = 7,22 \quad [12]$$

No qual, constatamos que as funções de transferência do sistema em malha aberta e fechada são:

$$G_{MA} = \frac{7,22 \cdot 0,2127(s + 1,26)}{s(s + 0,066)} \quad [13]$$

$$G_{MF} = \frac{1,54s + 1,94}{s^2 + 1,61s + 1,94} \quad [14]$$

Verificando os resultados em uma simulação no Scilab com níveis iniciais dos tanques ajustados em 11(once) centímetros,  $K_p = 7.22$  e  $K_i = 9.1$ , obtemos:

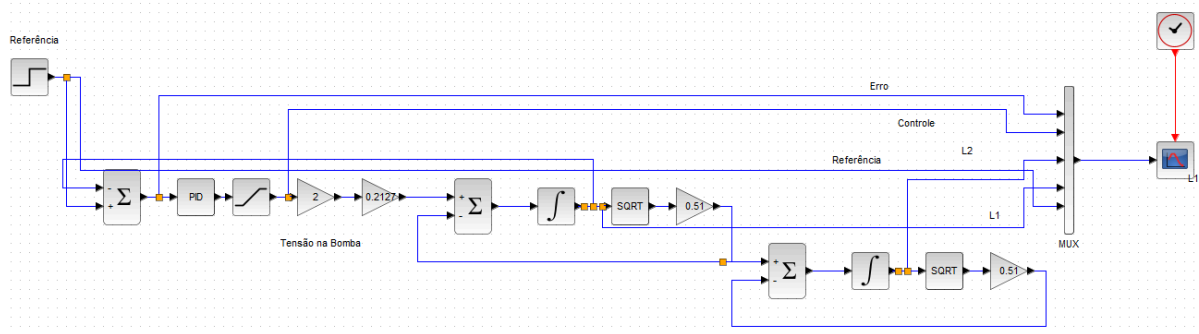


Figura 2: Diagrama de blocos para simulação

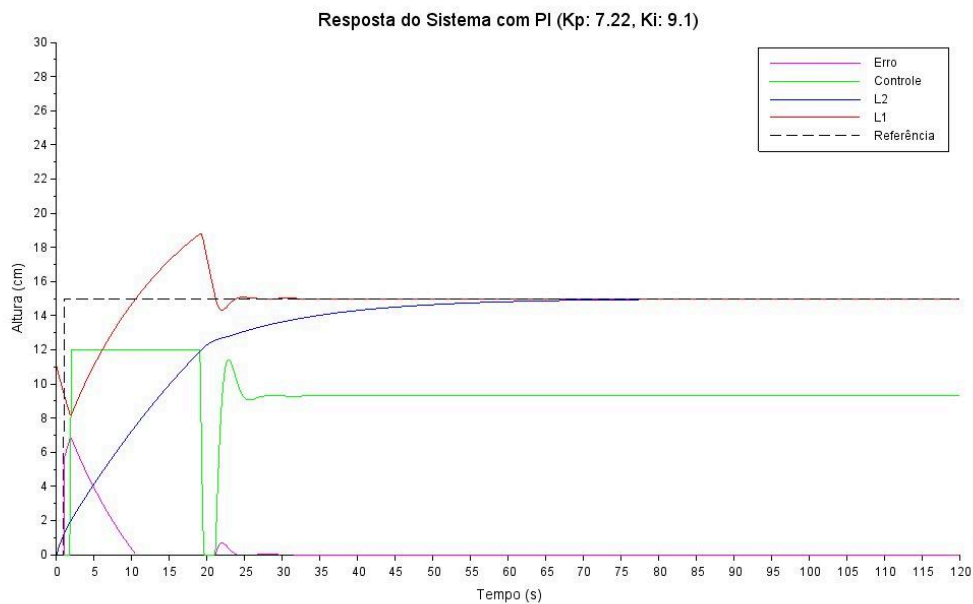


Figura 3: Resposta do sistema com saturador em 12v

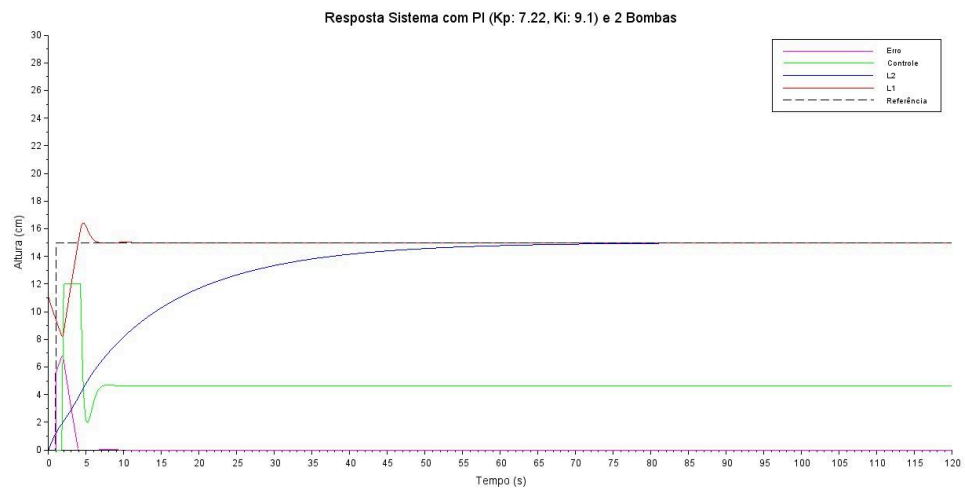


Figura 4: Resposta do sistema com saturador em 12v e 2 bombas

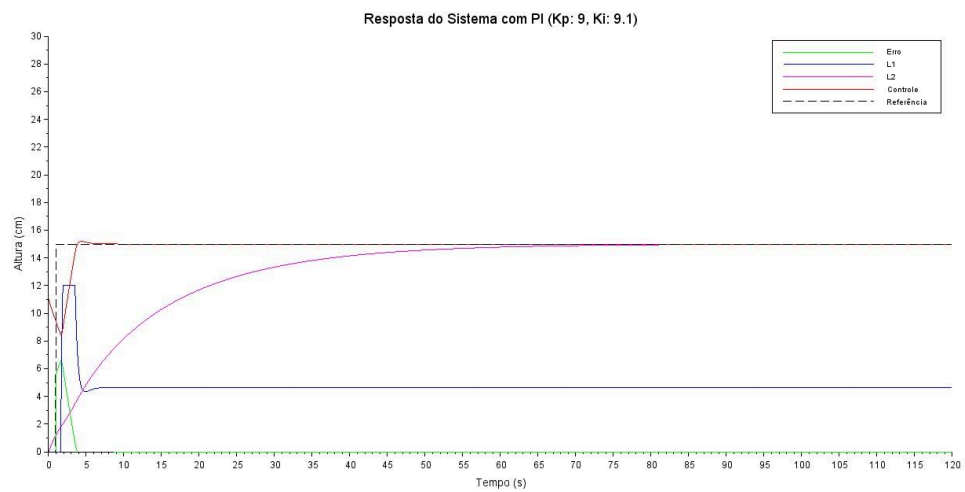


Figura 5: Resposta do sistema com saturador em 12v, 2 bombas e Ki e Kp ajustados

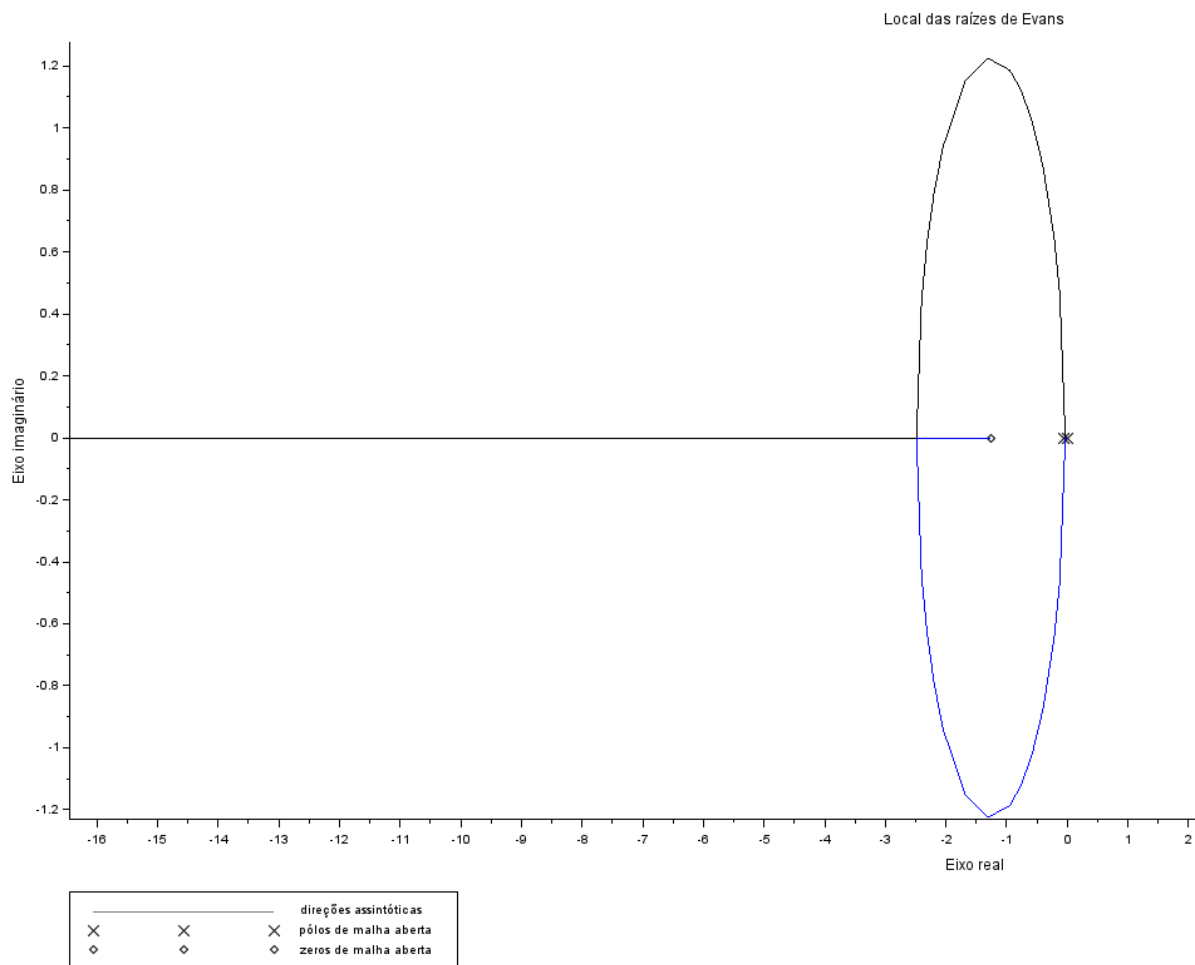


Figura 6: Lugar das Raízes na presença do controlador PI

## 4. CONCLUSÕES

Neste relatório buscou-se extrair um modelo matemático para um sistema de controle de nível em tanques cascadeados com realimentação por bomba elétrica de vazão variável, com o objetivo de garantir o nível do tanque em 15 cm, um  $Ts_{2\%} \leq 5s$  e um  $PO\% \leq 11\%$ .

Tal objetivo foi demonstrado matematicamente, porém com a utilização do saturador em 12 Volts, no Scilab, obtivemos que não é possível garantir o overshoot desejado, pois com essa tensão a atuação do controlador é comprometida, como podemos observar na figura 3, com um overshoot de aproximadamente 20%.

Para corrigir isso, notamos que podemos deixar o saturador em 12V, mas usando um multiplicador na saída dele, simulando o uso de múltiplas bombas d'água para aumentar a



vazão de entrada no sistema. Com isso, o sistema se comporta bem e é mais realista do que retirar uma limitação inerente do sistema que é "desligando" o efeito do saturador. Ajustando o  $K_p$  para 9 e  $K_i$  para 9.1 o controlador atende aos dois requisitos ( $T_s$  e  $PO\%$ ). Esse ajuste empírico foi necessário porque o projeto do controlador foi feito para um modelo linearizado e a planta tem dinâmica não-linear.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- [1] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker. Fundamentals of physics extended. John Wiley & Sons, Nashville, TN, 10 edition, May 2013.
- [2] A. L. Maitelli and A. A. D. de Medeiros. Modelagem e Análise de Sistemas Dinâmicos. 2010.
- [3] N. S. Nise. Engenharia de Sistemas de Controle. Aug. 2017.
- [4] K. Ogata. Engenharia de controle moderno. 2011.