

# Guia Prática 05 – Projeto de Controladores

Prof. Lucas S. Oliveira \*

\* Departamento de Engenharia Mecatrônica, CEFET-MG, Campus  
Divinópolis, (lqsoliveira@cefetmg.br)

**Resumo:** Inúmeros processos industriais podem ter sua dinâmica aproximada/descrita por um modelo de primeira ordem com atraso. Essa característica, possibilitou o desenvolvimento de várias técnicas gráficas para sintonia de controladores do tipo proporcional, proporcional-integral e proporcional-integral-derivativo. Cada qual dedicado a melhorar as características tanto do transitório quanto de regime permanente do sistema em malha fechada. Nessa atividade, será introduzido o projeto de controladores do tipo proporcional e proporcional-integral, os quais serão empregados e avaliados no sistema *fan-plate*. Além disso, será introduzido o estudo e programação de sistemas com atraso através dos recursos disponíveis na biblioteca *Python Control Systems*. Ao final da atividade, espera-se obter um código para simulação em malha fechada do sistema *fan-plate* com atraso.

**Keywords:** Controlador, malha fechada, realimentação, métodos gráficos, atraso de transporte.

## 1. OBJETIVOS

São objetivos desse experimento:

- Trabalhar com sistemas superamortecidos com atraso.
- Projetar controladores P e PI usando métodos gráficos.
- Programar a resposta temporal da malha fechada.
- Avaliar a performance da malha fechada de controle.

## 2. REVISÃO DE MÉTODOS

Encontra-se disponibilizado no Sigaa o material complementar (*Proj\_Sint\_Controladores.pdf*), que traz todas as informações sobre os métodos utilizados nessa atividade.

## 3. SISTEMA FAN-PLATE

Os métodos em estudo nessa atividade são válidos para o projeto de controladores do tipo proporcional (*P*), Proporcional-Integral (*PI*) e Proporcional-Integral-Derivativo (*PID*) para sistemas **superamortecidos com atraso**. Portanto, serão adotados os parâmetros do sistema *fan-plate* presente no Guia de Prática 04, porém, considere a massa total da placa como:  $m_t = 0.005 \text{ Kg}$ .

## 4. ATIVIDADES

Considere que deseja-se controlar o sistema *fan-plate* na posição angular de  $\theta$  definido por cada dupla. Portanto, faça o que se pede:

- (1) Cada dupla deverá escolher um ponto de operação para o sistema, dentre as opções:

**Ponto de operação 00:**  $\theta = 22^\circ$

**Ponto de operação 01:**  $\theta = 27^\circ$

**Ponto de operação 02:**  $\theta = 32^\circ$

**Ponto de operação 03:**  $\theta = 38^\circ$

**Ponto de operação 04:**  $\theta = 43^\circ$

**Ponto de operação 05:**  $\theta = 48^\circ$

**Ponto de operação 06:**  $\theta = 53^\circ$

**Ponto de operação 07:**  $\theta = 59^\circ$

**Ponto de operação 08:**  $\theta = 65^\circ$

**Ponto de operação 09:**  $\theta = 71^\circ$

**Ponto de operação 10:**  $\theta = 76^\circ$

e informar na página principal da turma (Microsoft Teams) o nome da dupla e o respectivo ponto de operação escolhido.

- (2) Use um dos métodos de modelagem caixa preta introduzidos no guia de prática 03 e obtenha um modelo de primeira ordem para o sistema.
- (3) Altere o modelo obtido no item (2) acrescentando ao mesmo um atraso de 0.15 segundos.
- (4) Defina e descreva o método de aproximação por Padé.
- (5) A aproximação por padé é comumente usada para aproximar o atraso do sistema por uma função linear. Essa aproximação pode ser facilmente realizada com o auxílio da função *control.pade()* presente na biblioteca *Python Control Systems*. Obtenha aproximações de ordem  $n = 1, 3, 5$  e  $9$  para o atraso definido no item (3).
- (6) Simule o sistema *fan-plate* com atraso, usando as funções aproximadas obtidas no item (5) e compare as resposta obtidas. **ATENÇÃO: Será disponibilizado um vídeo no Sigaa com orientações sobre como programar a inclusão do atraso no sistema.**
- (7) Compare a resposta temporal dos modelos definidos nos itens (2) e (3) para uma entrada degrau. Para tal, utilize apenas a aproximação de quinta ordem. As repostas diferem entre si, em qual(is) aspecto(s)?
- (8) Considerando que o sistema possui atraso de 0.15 segundos, projete controladores do tipo P e PI usando o método da curva de reação do processo de Ziegler-Nichols (Tabela 8.6), e um dos seguintes métodos a escolha de cada dupla: Método de CHR (Tabela 8.9), Método de Cohen-Coon (Tabela 8.11) e Método 3C

(Tabela 8.12) (Garcia, 2017; Astrom and Hagglund, 1995).

- (9) Desenhe o diagrama de controle. Lembre-se, o sinal de controle é aplicado no sistema não linear (conjunto de equações diferenciais), o qual é o nosso sistema real.
- (10) Programe e simule a resposta do sistema não linear em malha fechada (para cada controlador obtido no item (8)) para as seguintes condições:
  - a) Sequência de degraus definida por:

$$r = [0 \ 1 \ 0 \ -1 \ 0.5 \ 1 \ -0.5 \ 0].$$

Note, cada dupla deverá fazer a conversão da amplitude do degrau de acordo com o ponto de operação escolhido. O vetor  $r$  apenas indica como deverá ser a sequência de degraus.

- b) Rejeição a perturbação. Considere o sistema em um processo de regulação do ponto de operação, e que a massa da placa seja alterada pela relação:

$$m(t) = \begin{cases} m & \text{if } 0 \leq t \leq 2 \\ m + 0.20m & \text{if } 2 < t \leq 12 \\ m & \text{if } t > 12 \end{cases}$$

Note que a duração de cada degrau assim como a duração do teste de rejeição a perturbação devem ser definidos pela dupla, uma vez que cada ponto de operação possui uma constante de tempo distinta.

**ATENÇÃO: Será disponibilizado um vídeo no Sigaa com orientações sobre como programar a malha fechada de controle usando a biblioteca *Python Control Systems*.**

- 
- (11) Avalie a resposta da malha fechada e retire quando possível as informações do transitório introduzidos no guia de prática 04, para tal use a resposta temporal do sistema obtida no primeiro degrau do item (9[a]).
- (12) Avalie a performance da malha fechada usando os índices de desempenho  $IAE$ ,  $ITAE$  e  $RMSE$ .
- (13) Comente cada linha de comando do código para entrega do mesmo junto ao relatório.

## REFERÊNCIAS

- Astrom, K. and Hagglund, T. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. ISA, 2<sup>nd</sup> edition. 343 p.
- Garcia, C. (2017). *Controle de Processos Industriais - Estratégias Convencionais*. Blucher, 1 edition. 599 p.