



UFPE



CTG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE
PRÁTICA 4

ALUNO: LUCAS GABRIEL F. LIMA

ATIVIDADE 1

Utilizando o método de Ziegler-Nichols para escolha
de parâmetros do controlador PID em simulação

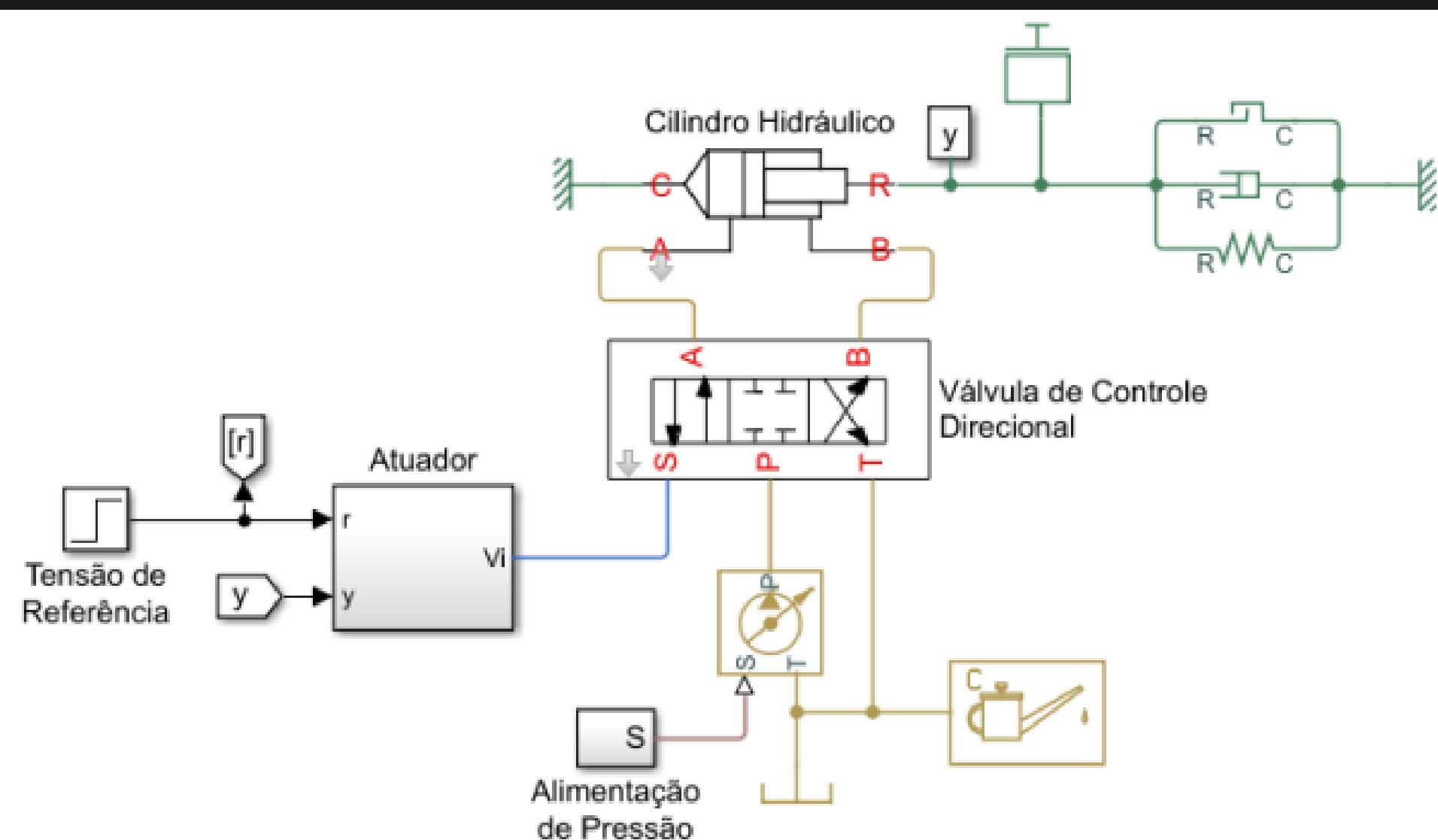
ATIVIDADE 1

SUMÁRIO

- 01** CONTEXTUALIZAÇÃO
- 04** FLUXOGRAMA
- 05** MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS MALHA ABERTA OU FECHADA?
- 07** DESCOBRINDO PARÂMETROS PARA MALHA FECHADA
- 10** RESULTADOS INICIAIS
- 13** SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

CONTEXTUALIZAÇÃO

PLANTA

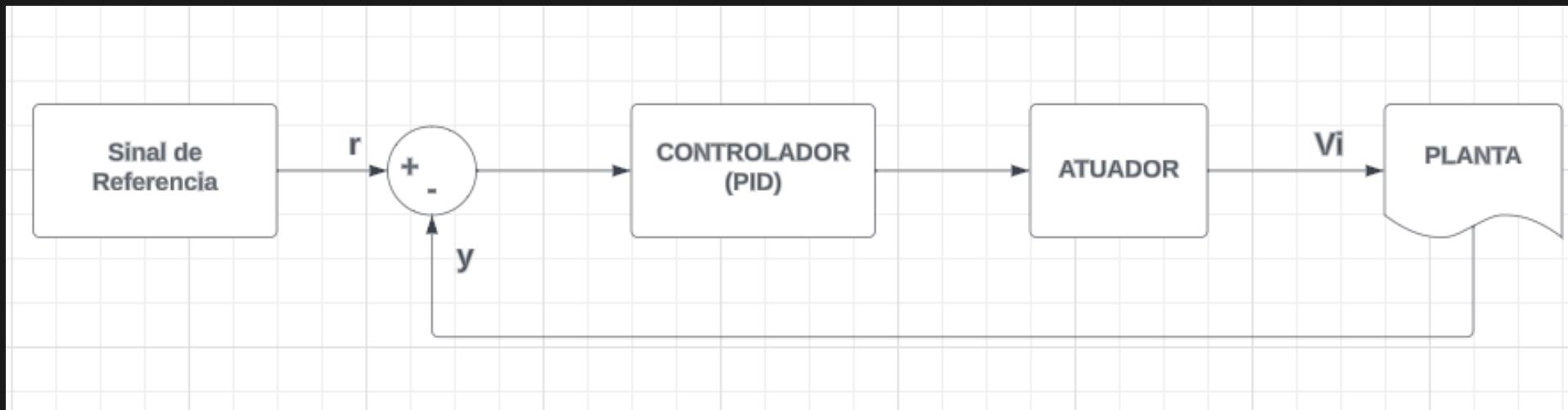


A planta se baseia no controle de deslocamento de um cilindro hidráulico tal qual a imagem ao lado.

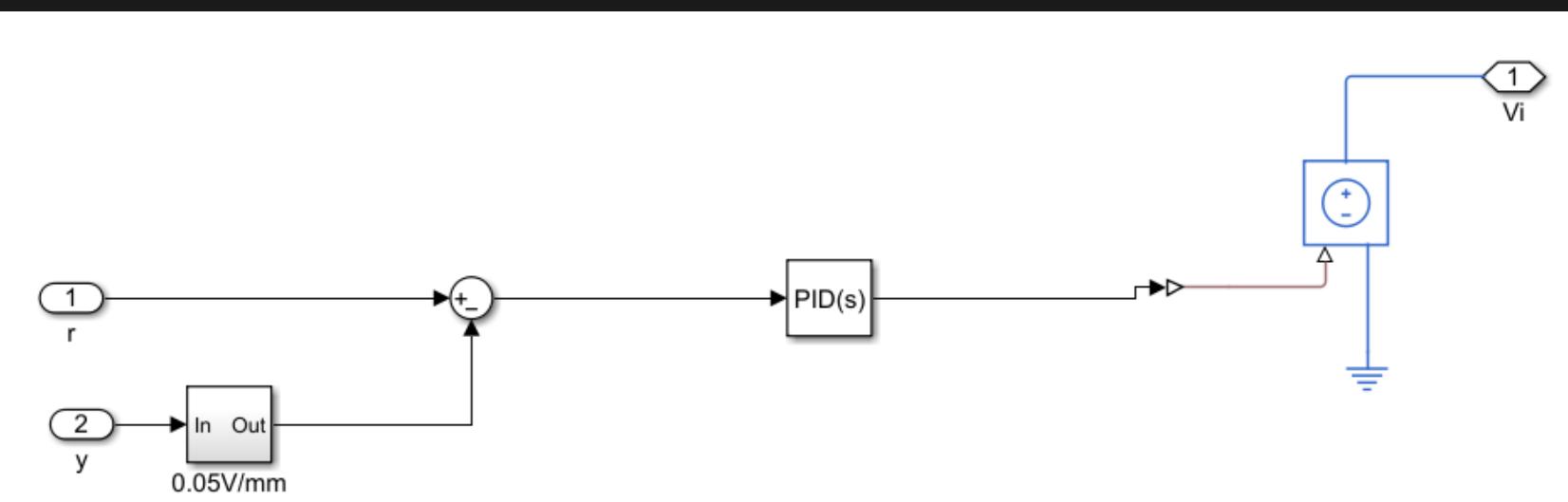
Seu controle é feito a partir de um atuador que recebe um sinal elétrico de 0 a 5v.

CONTEXTUALIZAÇÃO

DIAGRAMA DE BLOCOS



DENTRO DO BLOCO ATUADOR



O sistema funciona tal qual o diagrama ao lado, onde temos:

- **Referência (r):**

Sinal de entrada, uma tensão que varia de 0 a 5V

- **Saída (y):**

Sinal que varia de 0 a 5V baseado no deslocamento do cilindro hidráulico que varia entre 0 e 100mm

No MATLAB/Simulink, foi usado o bloco PID e um subtrator para reproduzir o diagrama de blocos visto acima. Sua saída é uma fonte controlada de tensão

CONTEXTUALIZAÇÃO

CONDIÇÕES

Máximo Sobressinal ($M_p\%$) $\leq 4\%$

Tempo de Assentamento (T_s) $< 2s$

Condições sobre a resposta dadas na contextualização do problema.



TEMPOS

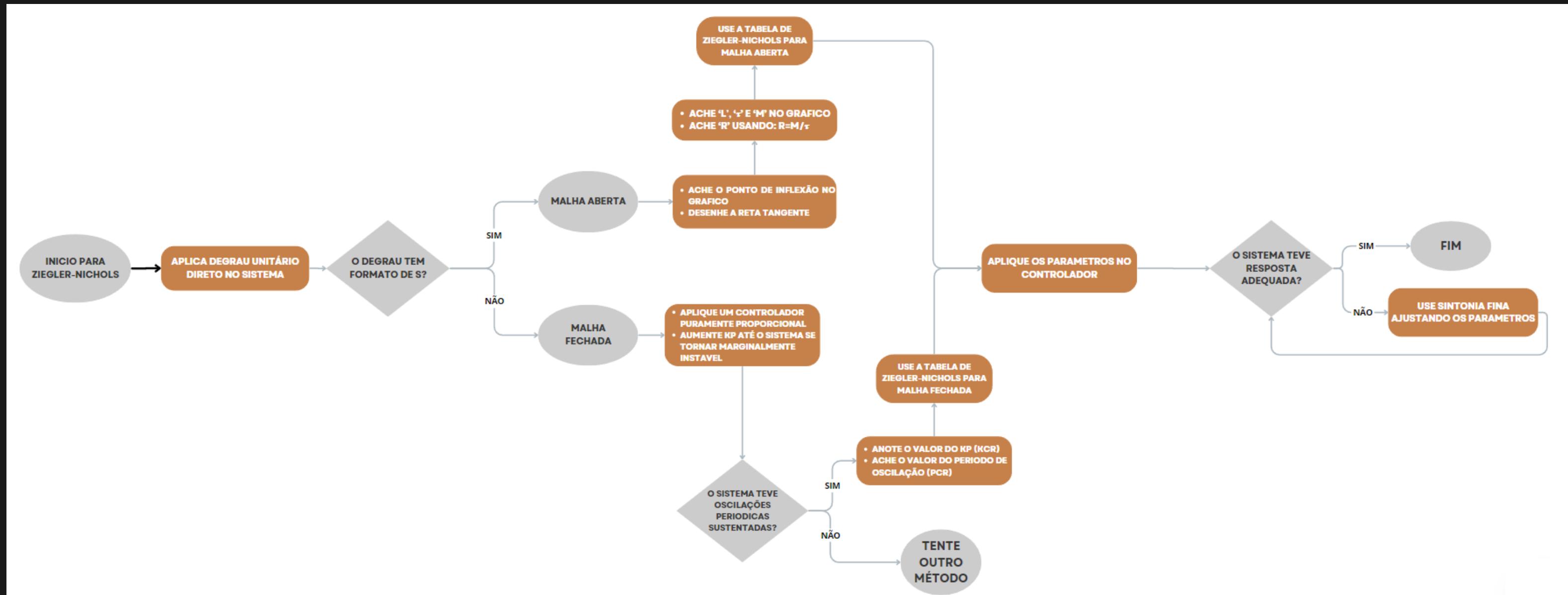
Tempo de pico (T_p)

Tempo de subida (T_r) (10% a 90%)

Tempos levados em consideração na análise, o tempo de pico é o tempo até o primeiro pico do sistema e o tempo de subida é o tempo que o sistema leva para ir de 10% a 90%.

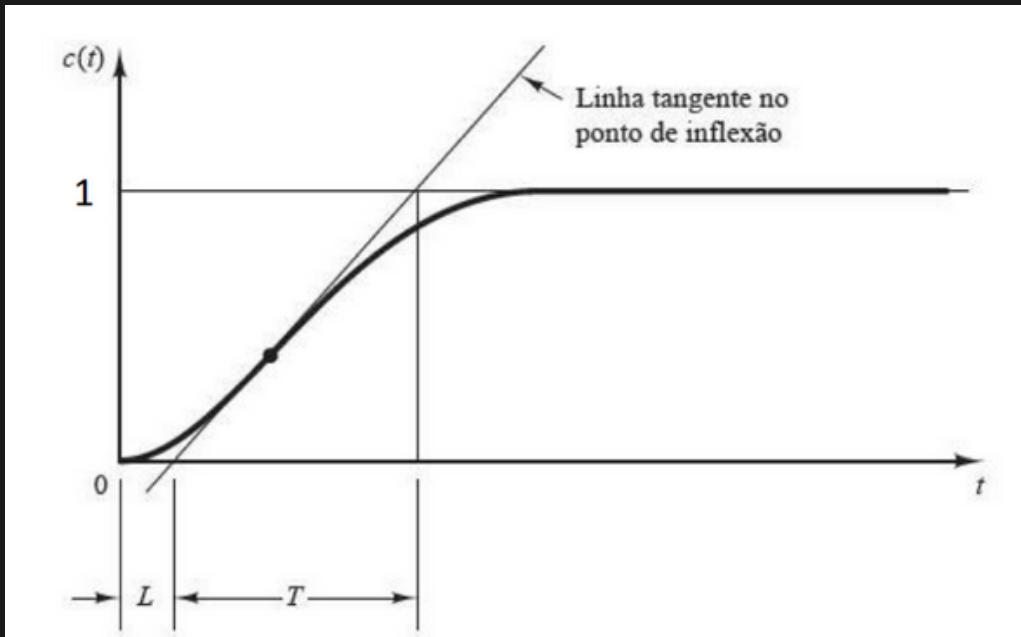
FLUXOGRAMA

FLUXOGRAM DO SISTEMA



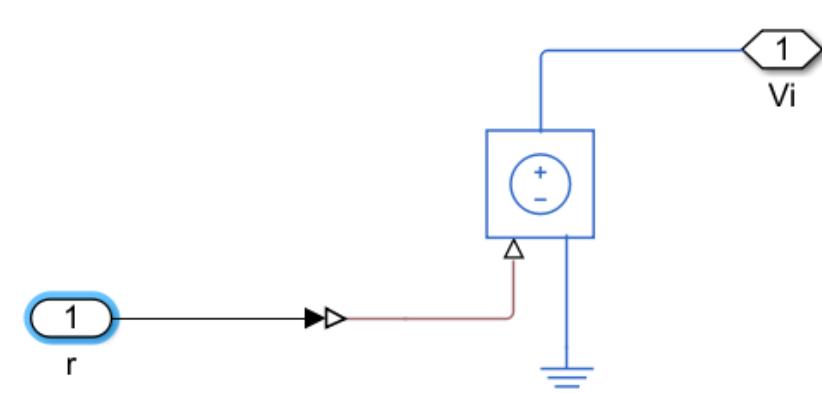
MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS: MALHA ABERTA OU FECHADA?

CURVA EM “S”



O primeiro método (método em malha aberta) só é usado quando a resposta ao degrau da planta tem formato de 's' (Superamortecida), ou seja, a planta tipo zero e sem pólos complexos dominantes.

DEGRAU NA PLANTA

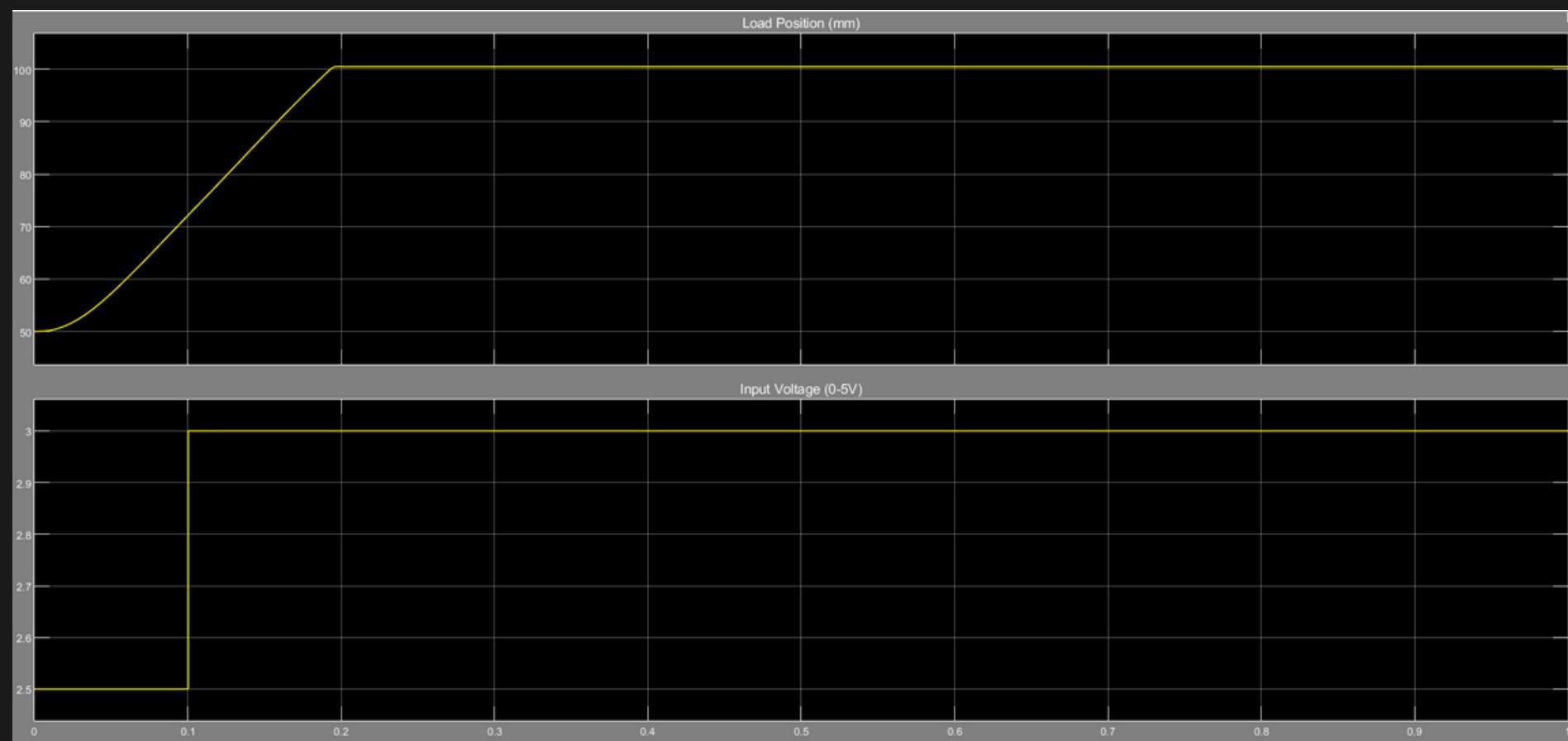


Na prática, basta aplicar o degrau diretamente na planta sem o controlador.

Na imagem ao lado tem-se o esquema no matlab onde o degrau é aplicado diretamente na planta (malha aberta)

METODO DE ZIEGLER-NICHOLS: MALHA ABERTA OU FECHADA?

RESPOSTA DA PLANTA AO DEGRAU

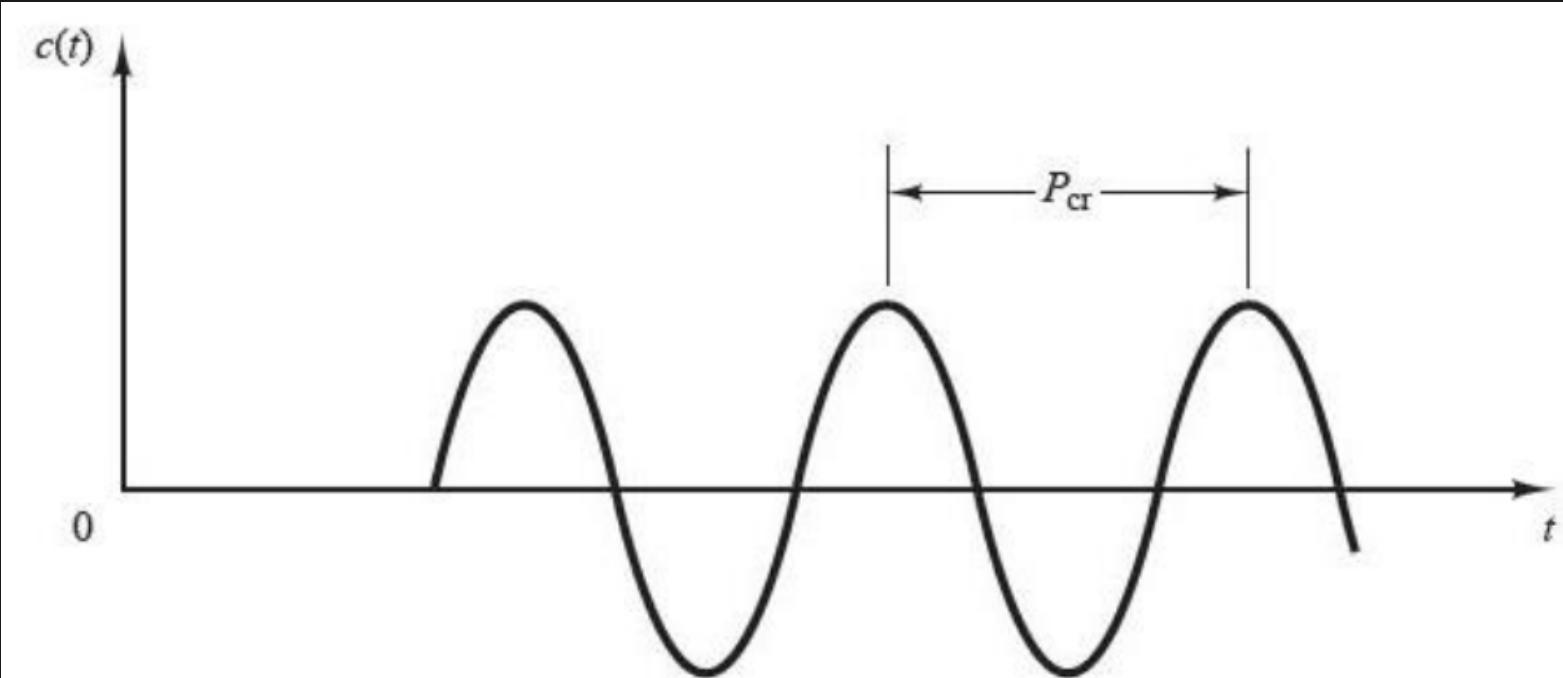


Na imagem ao lado, é possível observar uma quina no gráfico da resposta, a qual não bate com o requerido para a utilização do método em malha aberta. (existe um leve sobressinal)

Por isso, sobra o segundo método (Malha fechada)

DESCOBRINDO PARÂMETROS PARA MALHA FECHADA

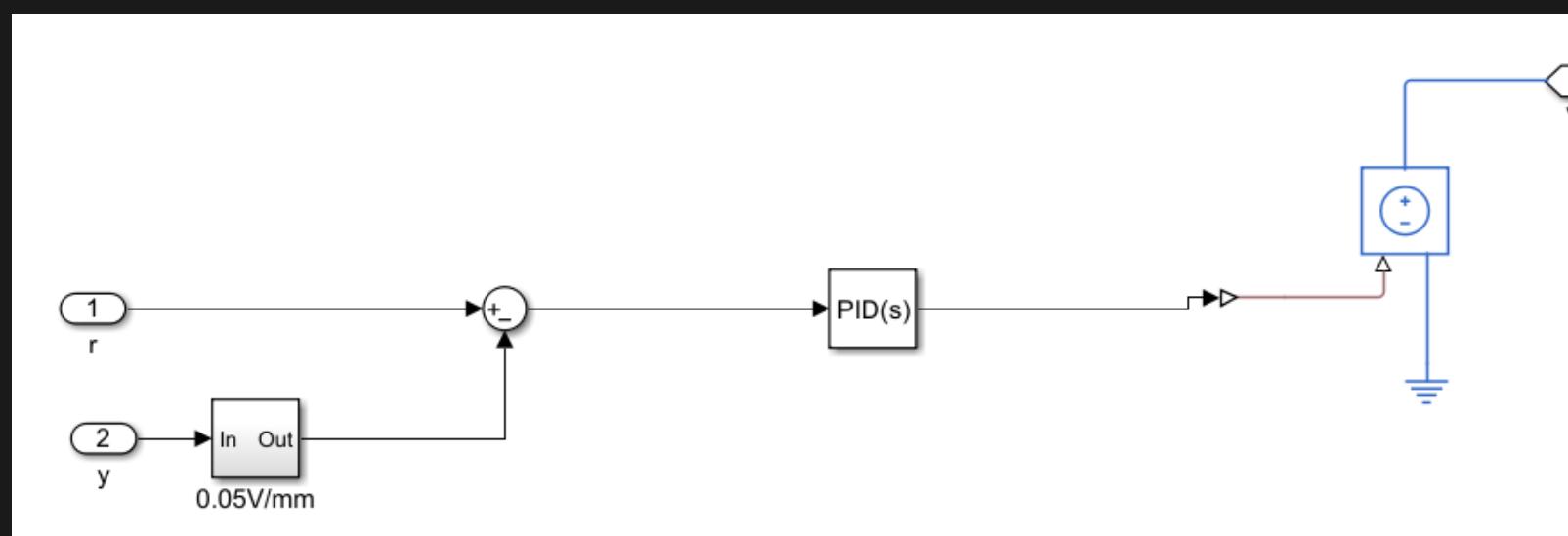
RESPOSTA OSCILATORIA NÃO AMORTECIDA



O segundo método (método em malha fechada) só é usado quando existe um valor de K_p (chamado K_{cr}) que torna o sistema marginalmente estável com resposta oscilatória não amortecida.

O período dessa oscilação é chamado de P_{cr} .

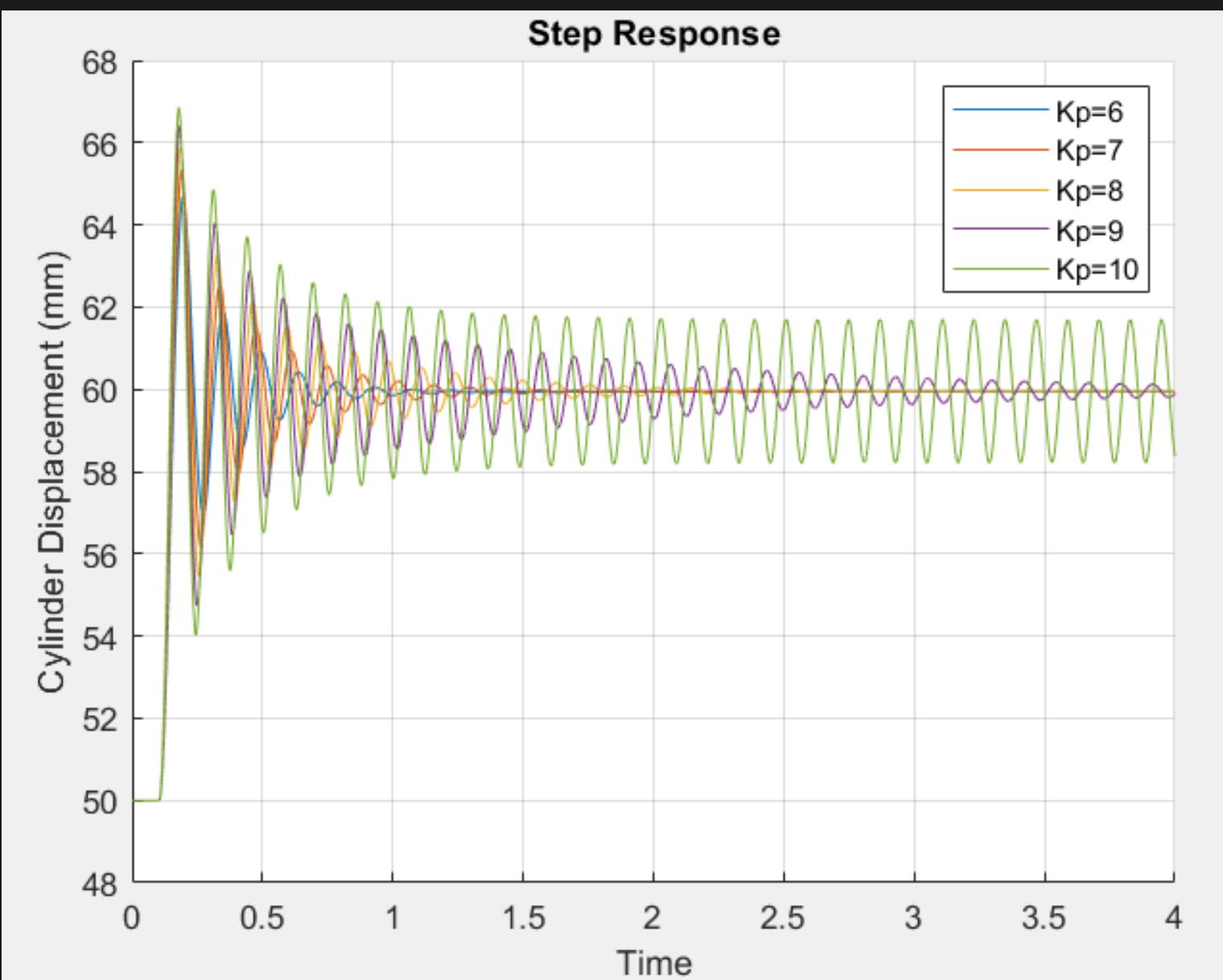
DEGRAU EM MALHA FECHADA



Na imagem ao lado tem-se o esquema no matlab onde o degrau é aplicado em malha fechada. no Bloco PID o K_i e o K_d são zerados, e K_p é aumentado até o sistema ter uma resposta tal qual descrita acima.

DESCOBRINDO PARÂMETROS PARA MALHA FECHADA

SISTEMA PARA KP= DE 5 A 10

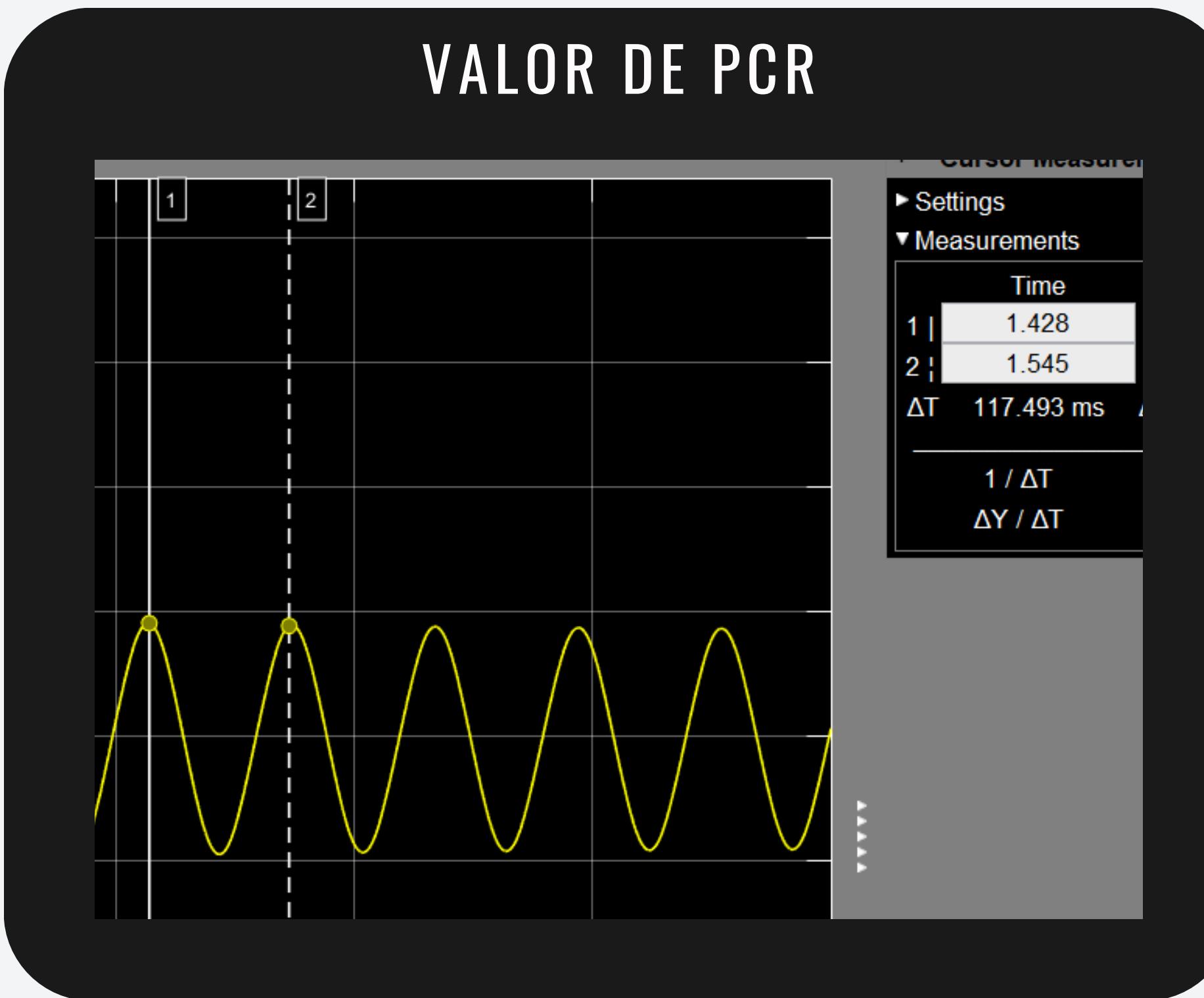


Como é possível observar na imagem ao lado, a partir de $K_p=10$ o sistema se torna marginalmente estável e com oscilações sustentadas (em $K_p=9$ a oscilação eventualmente para), logo, tem-se o valor de K_{cr} .

PARÂMETRO 1
 $K_{cr}= 10$

DESCOBRINDO PARÂMETROS PARA MALHA FECHADA

VALOR DE PCR



O valor de PCR é obtido tal qual a imagem ao lado,vendo a variação de tempo entre 2 picos da resposta oscilatória (Resposta do sistema quando $K_p = 10$)

Dessa forma tem-se o segundo e último parâmetro usado para o cálculo, o Pcr.

PARAMETRO 2

Pcr= 117,493 ms

RESULTADOS INICIAIS

TABELA DE VALORES

Tipo de Controlador	K_p	K_i	K_d
P	$0,5K_{cr}$	–	–
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{0,54K_{cr}}{P_{cr}}$	–
PID	$0,6K_{cr}$	$\frac{1,2K_{cr}}{P_{cr}}$	$\frac{0,6K_{cr}P_{cr}}{8}$

Um código em MATLAB foi escrito para calcular os parâmetros do controlador PID tal qual a tabela ao lado, usando os valores já encontrados de K_{cr} e P_{cr} .

VALORES ENCONTRADOS

$$K_p = 6$$

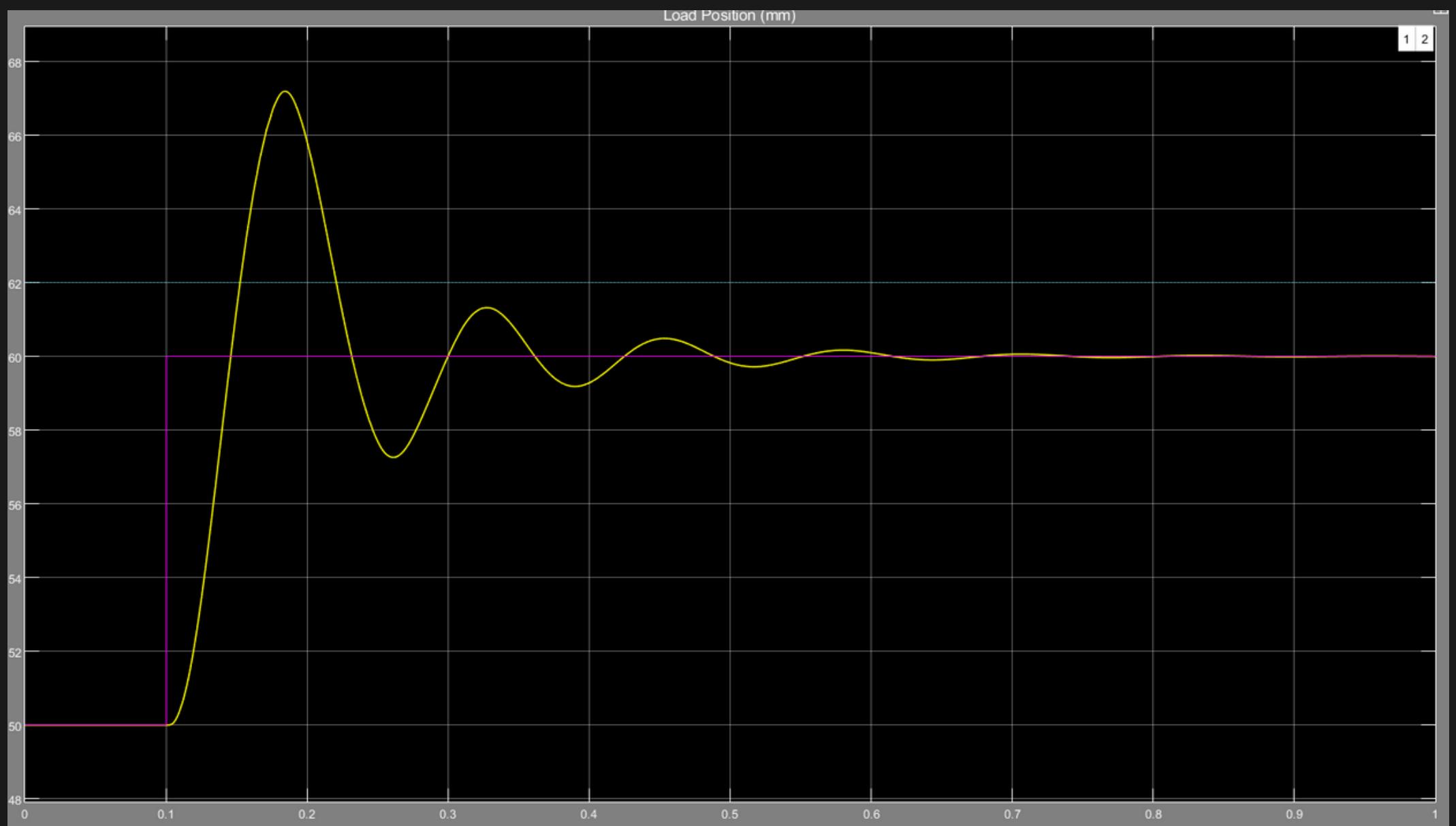
$$K_i = 102,1337$$

$$K_d = 0,0881$$

Ao lado, tem-se os valores de K_p , K_i e K_d dados pelo método.

RESULTADOS INICIAS

RESPOSTA DO SISTEMA AO DEGRAU



VALORES

$M_p\% = 71.90 \%$

$T_s = 0.433 \text{ s}$

$T_r = 0.028 \text{ s}$

RESULTADOS INICIAS



No slide anterior, tem-se o Degrau (em roxo), o valor máximo de pico (linha azul pontilhada) e a resposta do sistema (em amarelo)

O tempo de assentamento está abaixo do limite, mas o seu sobressinal se encontra muito acima do desejado, por tanto, uma sintonia fina dos valores encontrados será necessária.

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

AJUTE DO KP

6 -----> 1.1

O Kp é o ganho proporcional, dado que a resposta teve alto valor de sobressinal, e o Kp também aumenta seu valor, ele foi diminuído.

AJUTE DO KI

102,13 -----> 0,4

O Ki é o ganho Integral, também está relacionado ao valor do sobressinal, ainda mais que o Kp, por isso seu valor foi drasticamente reduzido. É válido notar, que reduções nele e no Kp aumentam o tempo de assentamento.

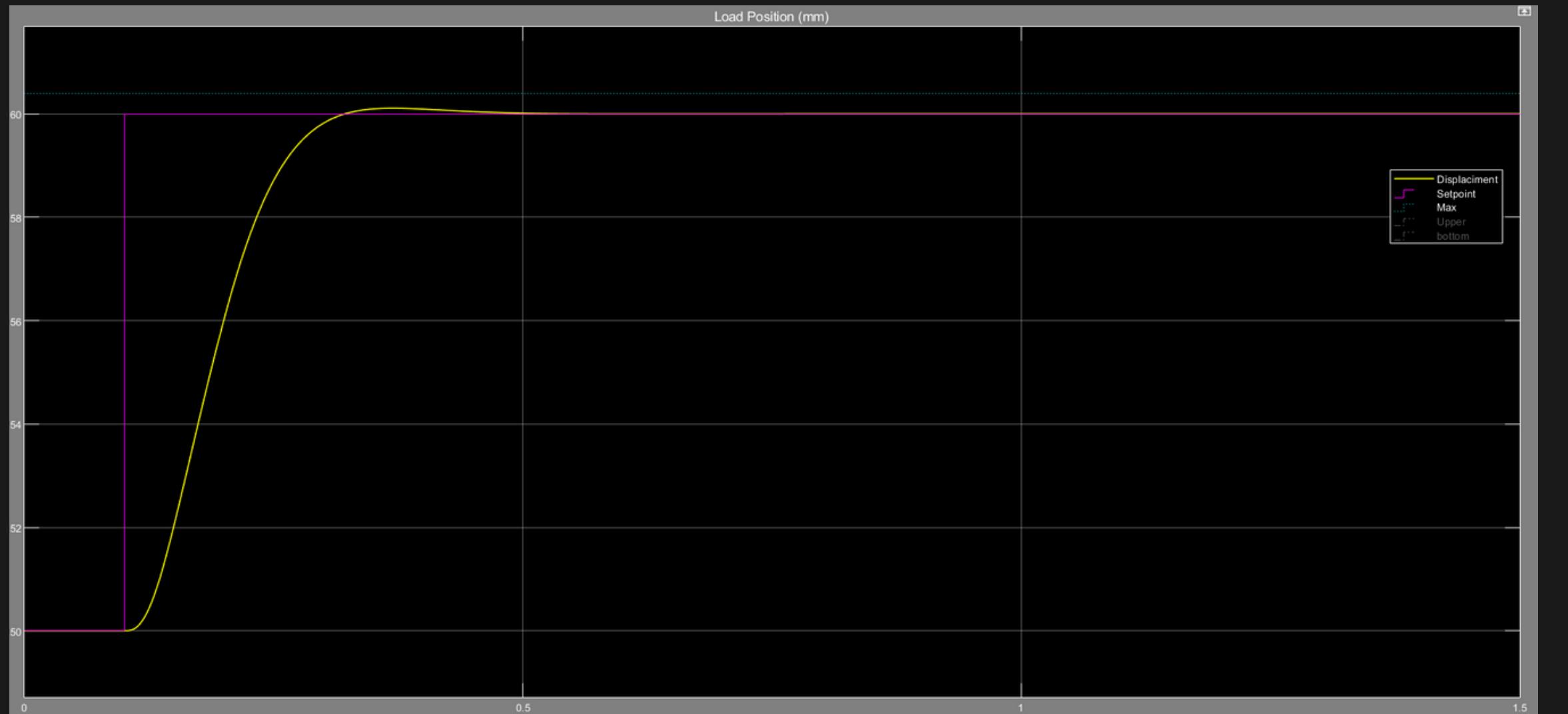
AJUTE DO KD

0,088 -----> 0

O Kd é o ganho derivativo , seu aumento amortece o sistema (até certo ponto), mas dado que diminuir Kp e Ki resolveram o problema, seu uso não foi necessário.

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

RESPOSTA DO SISTEMA AO DEGRAU



VALORES

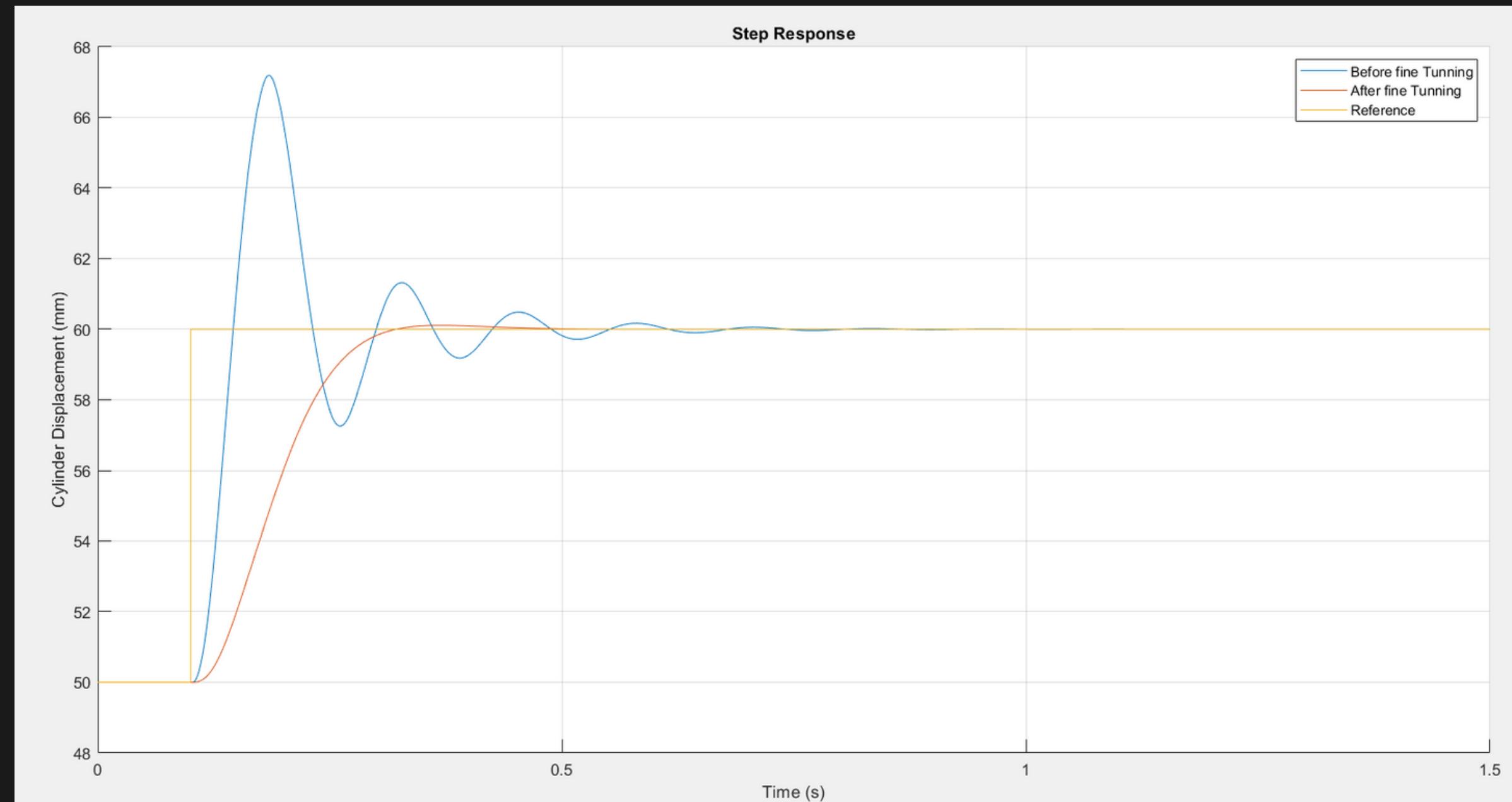
$M_p\% = 1.104\%$

$T_s = 0.199 \text{ s}$

$T_r = 0.123 \text{ s}$

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

ANTES E DEPOIS DA SINTONIA FINA



ATIVIDADE 2

A segunda atividade se baseia no controle de temperatura de uma casa, utilizando Ziegler-Nichols e controle On/Off

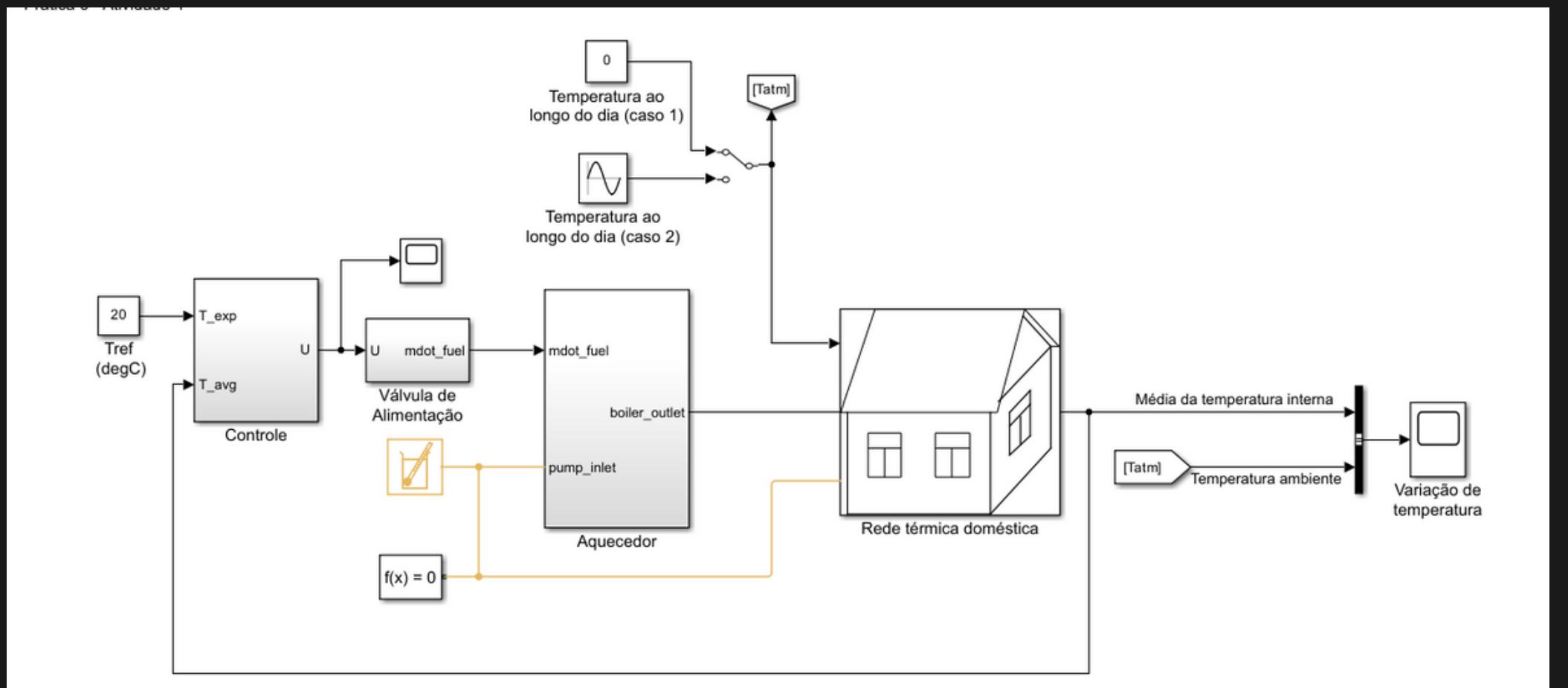
ATIVIDADE 2

SUMARIO

- 01** CONTEXTUALIZAÇÃO
- 04** QUAL MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS UTILIZAR?
- 05** DESCOBRINDO PARÂMETROS
- 08** RESULTADOS INICIAS
- 10** SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS
- 14** CONTROLE ON/OFF
- 16** COMPARAÇÃO DOS CONTROLADORES

CONTEXTUALIZAÇÃO

PROBLEMA

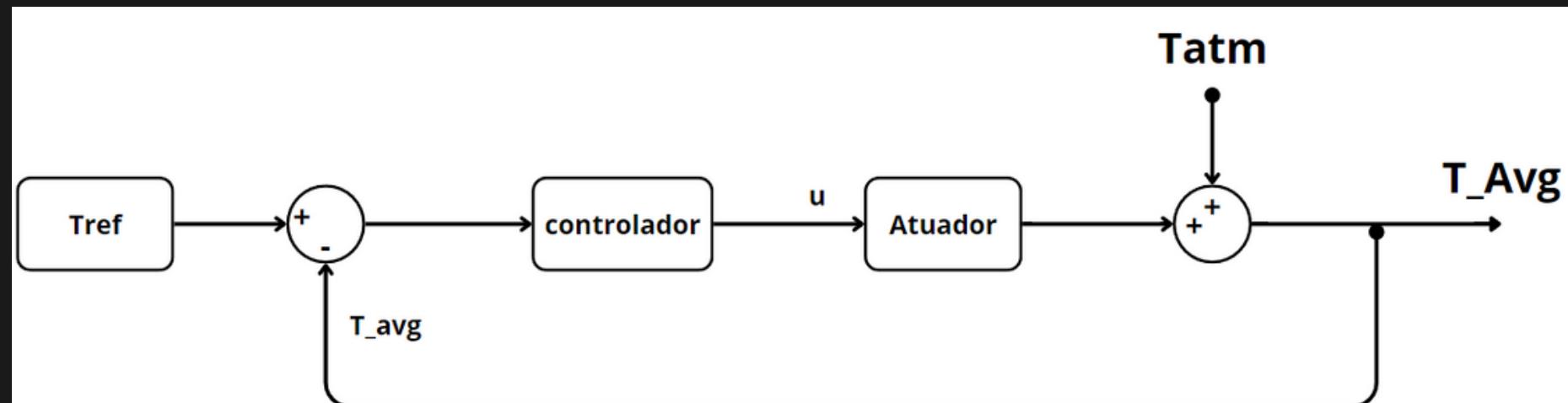


O controle a ser feito é o controle de temperatura interna de uma residência, existindo 2 casos do distúrbio:

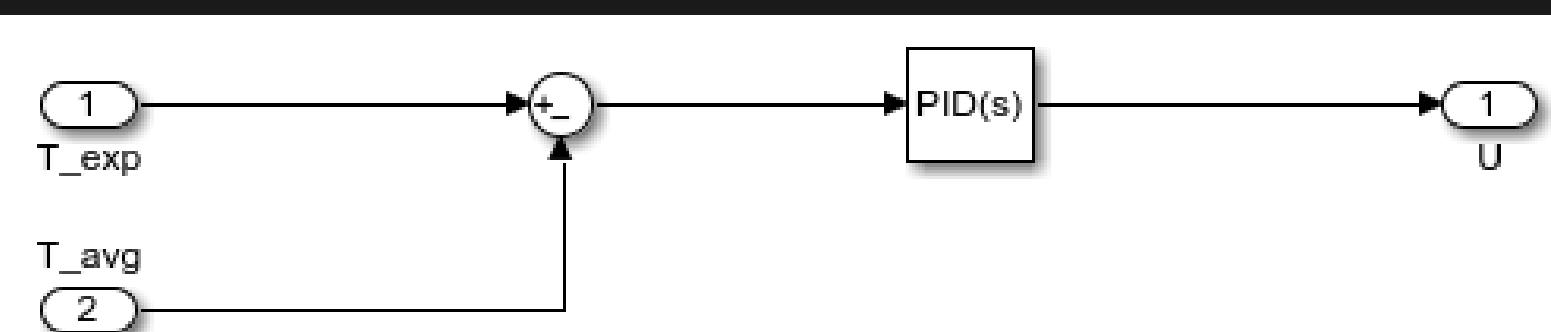
- Caso 1:
Disturbio nulo, temperatura foda da casa é contante e igual a 0
- Caso 2:
Disturbio é uma onda senoidal que varia

CONTEXTUALIZAÇÃO

DIAGRAMA DE BLOCOS



DENTRO DO BLOCO DE CONTROLE



O sistema funciona tal qual o diagrama ao lado, onde temos:

- Tref: Temperatura de referencia, setpoint
- T_Avg: Temperatura media da casa.
- Tatm: Temperatura externa da casa

No MATLAB/Simulink, foi usado o bloco PID e um subtrator para reproduzir o diagrama de blocos visto acima. Sua saída é uma fonte controlada de tensão

CONTEXTUALIZAÇÃO

CONDIÇÕES

Maximo Sobressinal (M_p) < 2 °C

Temperatura media em mais de 18 °C antes de 1h : (CASO 1)
 $T_{18} < 1h$ (3600s)

Variação da Temperatura media da casa
(Erro) < 2 °C (CASO 2)

Condições sobre
a resposta,
dados na
contextualização
do problema



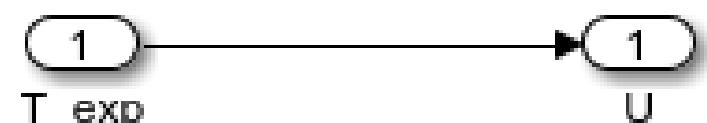
T_{18} = Tempo ate 18 °C

Tempo de subida (Tr) (10% a 90%)

Tempos levados em
Consideração na Analise

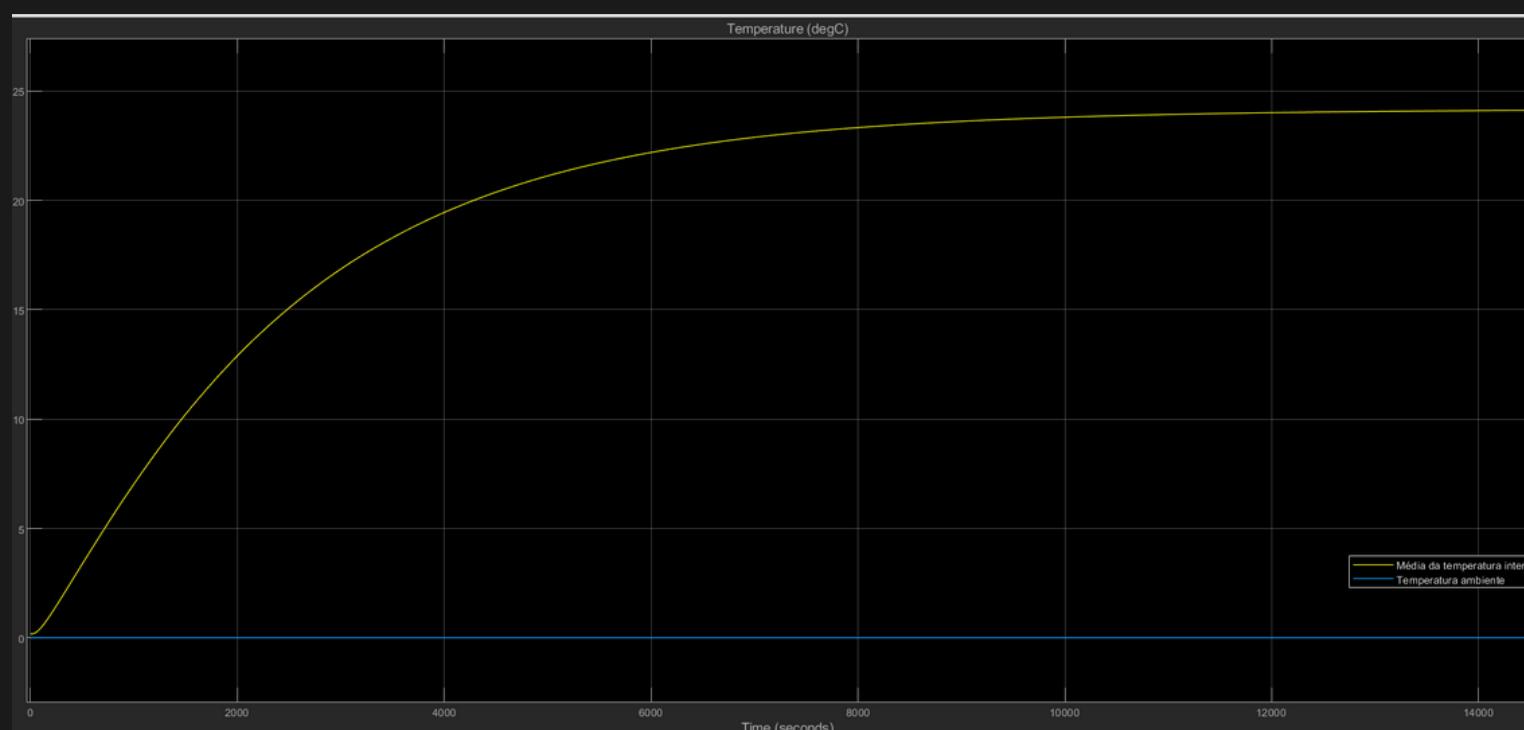
QUAL MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS UTILIZAR?

DEGRAU NA PLANTA



Tal qual feito anteriormente, foi colocado um degrau no sistema sem controlador e observou-se sua saída

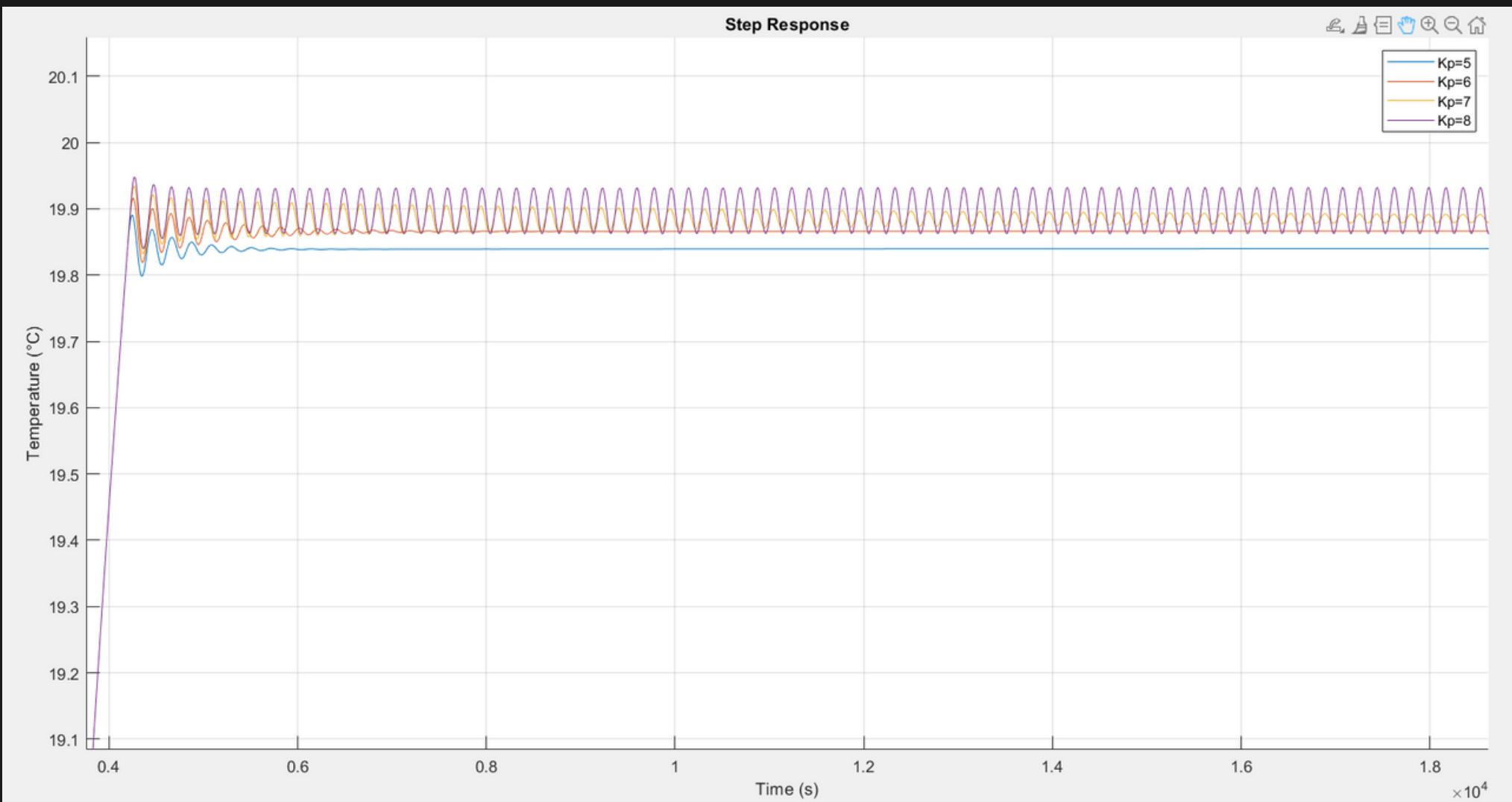
RESPOSTA DA PLANTA AO DEGRAU



Na imagem ao lado, é possível observar o formato em s, logo o método em malha aberta é aplicável. Ainda sim, por familiaridade, dou preferência ao segundo método.
(método da Malha fechada)

DESCOBRIENDO OS PARÂMETROS

SISTEMA PARA KP= DE 5 A 8



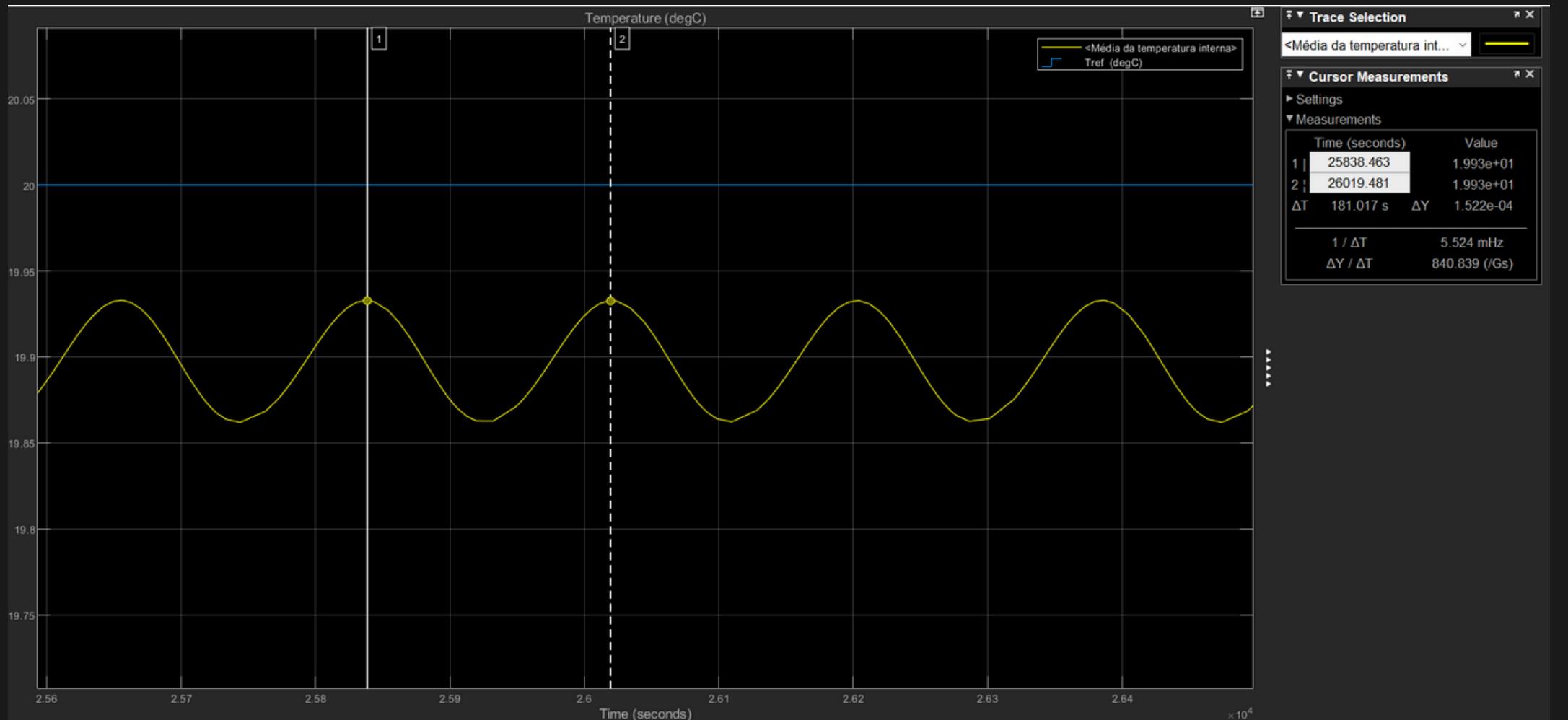
Como é possível observar na imagem ao lado, a partir de $K_p=8$ o sistema se torna marginalmente estável e com oscilações sustentadas , logo, tem-se o valor de K_{cr} .

Para $K_p=7$ oscilações ja existem, mas eventualmente declinam.

PARÂMETRO 1
 $K_{cr}= 8$

DESCOBRIENDO OS PARÂMETROS

VALOR DE PCR



O valor de PCR é obtido tal qual a imagem ao lado,vendo a variação de tempo entre 2 picos da resposta oscilatória (Resposta do sistema quando $K_{cr} = 8$)

Dessa forma tem-se o segundo e ultimo parâmetro usado para o calculo, o Pcr

PARÂMETRO 2

Pcr= 181,017 s

DESCOBRINDO OS PARÂMETROS

TABELA DE VALORES

Tipo de Controlador	K_p	K_i	K_d
P	$0,5K_{cr}$	–	–
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{0,54K_{cr}}{P_{cr}}$	–
PID	$0,6K_{cr}$	$\frac{1,2K_{cr}}{P_{cr}}$	$\frac{0,6K_{cr}P_{cr}}{8}$

Um código em MATLAB foi escrito para calcular os parâmetros do controlador PID tal qual a tabela ao lado, usando os valores já encontrados de Kcr e Pcr

VALORES ENCONTRADOS

$$K_p = 4,8$$

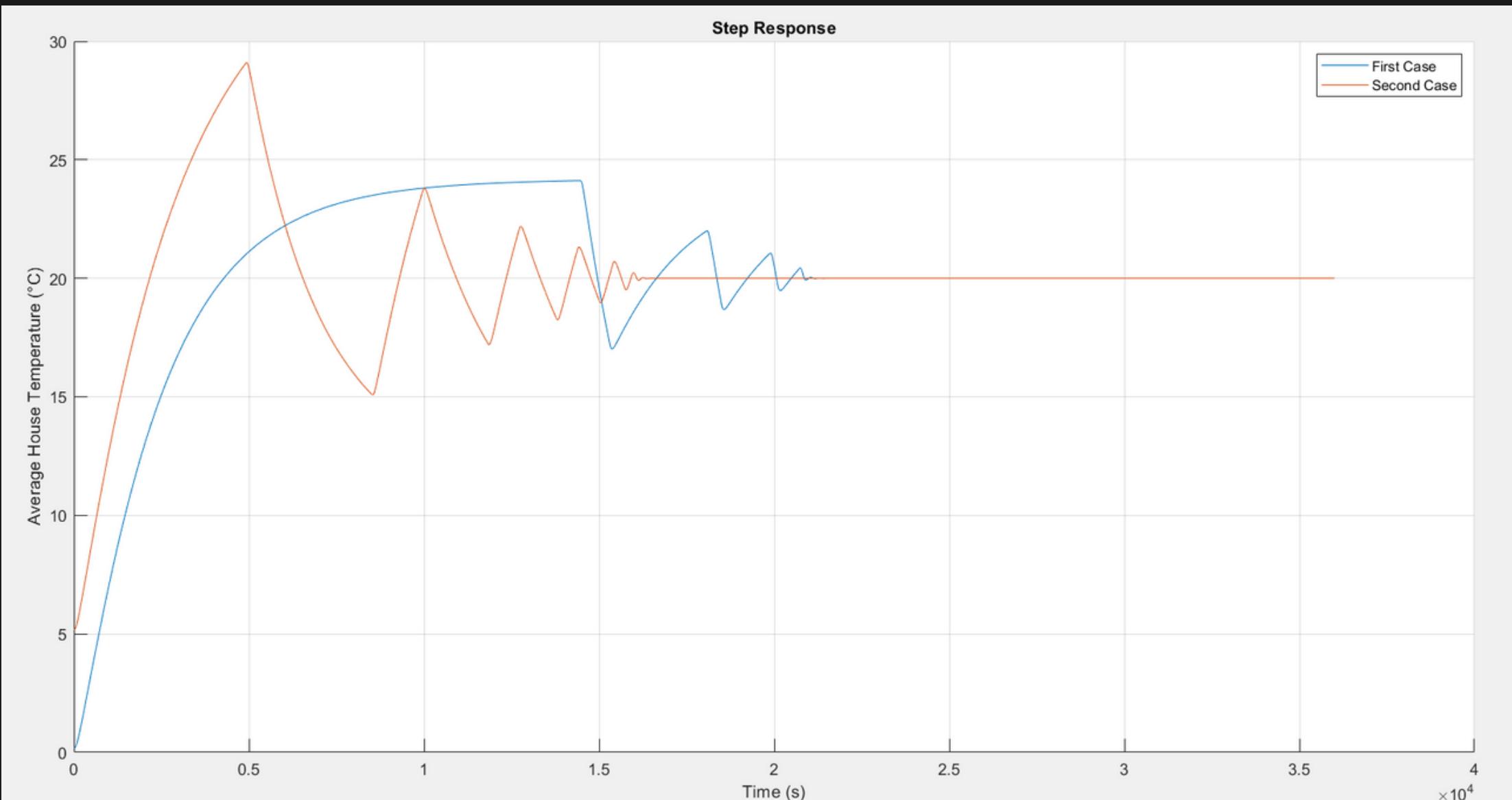
$$K_i = 0,053$$

$$K_d = 108,61$$

Ao lado, tem-se os valores de K_p , K_i e K_d dados pelo método

RESULTADOS INICIAS

RESPOSTA DOS CASOS 1 E 2



VALORES

CASO 1

$M_p = 4,122 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

$T_8 = \text{ ks}$

Erro = 0

CASO 2

$M_p = 9,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

$T_8 = \text{ ks}$

Erro = 0.1 $^{\circ}\text{C}$

RESULTADOS INICIAS



No slide anterior, tem-se o degrau para ambos os casos, onde é possível notar que:

- o sobressinal maximo foi excedido
- tempo de chegada aos 18°C (T_{18}) está acima do limite
- sintonia fina dos valores encontrados será necessária.

É valido notar que devido a perturbação Senoidal, o erro para o caso 2 não é nulo

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

AJUTE DO KP

4,8--> 12

O Kp aumenta a derivada inicial do sistema, aumenta-lo ajudou a resposta a chegar em 18°C dentro do tempo desejado

AJUTE DO KI

0,053 ----> 0

O Ki é o ganho Integral, também está relacionado ao valor do sobressinal(ainda mais que o Kp)por isso seu valor zerado. A planta é tipo zero, logo sem o Ki ela terá um erro constante, mas dado que é o controle de temperatura de uma casa, um erro pequeno não faz tanta diferença

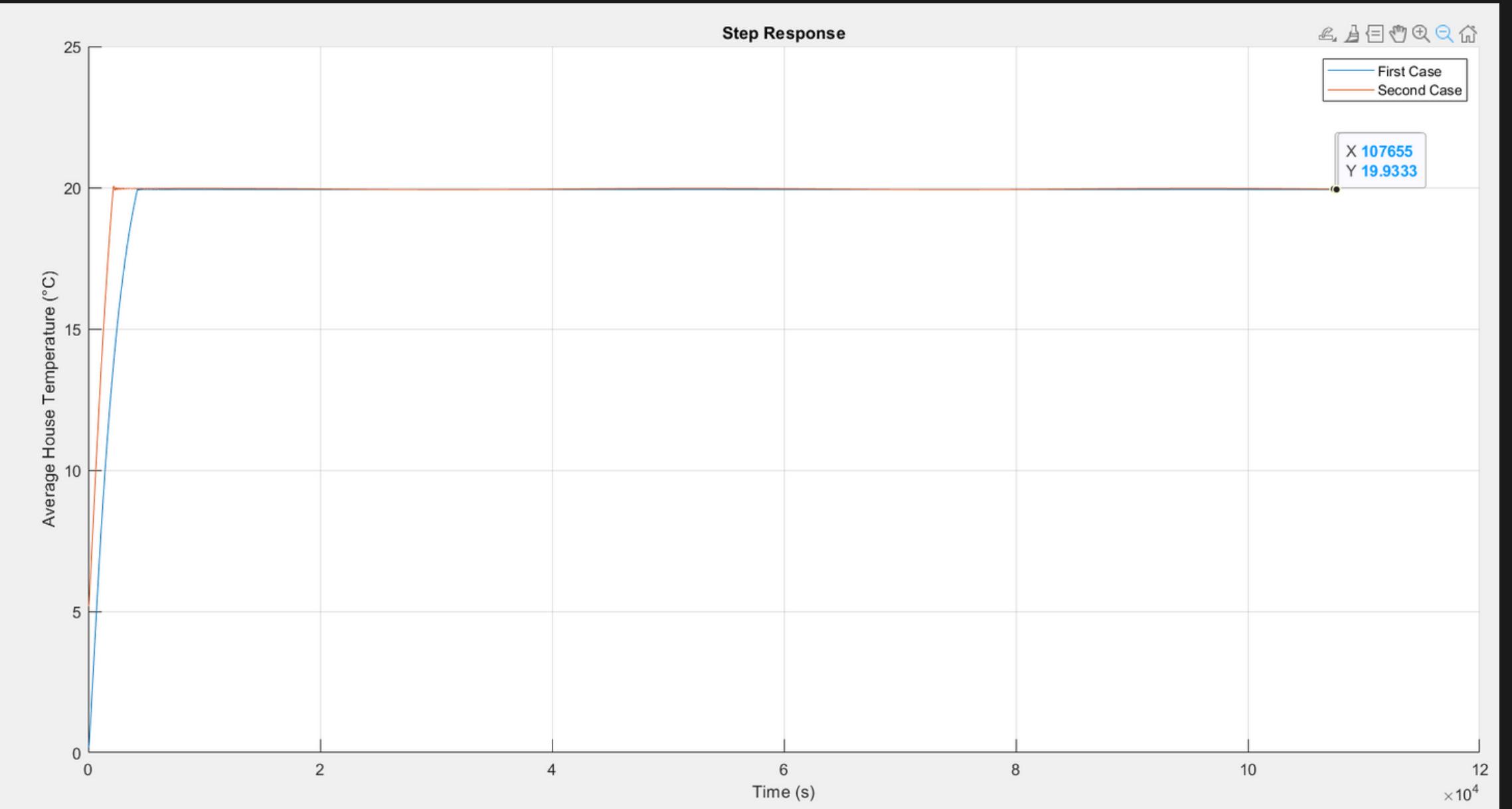
AJUTE DO KD

108,61 ----> 110

O Kd aumenta o amortecimento do sistema, diminuindo o sobressinal excessivo do sistema. Por estar já estar alto, mudou pouco

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

RESPOSTA DO SISTEMA AO DEGRAU



VALORES
CASO 1

$$M_p = 0^\circ\text{C}$$

$$T_s = 4,039 \text{ ks}$$

$$\text{Erro} = 0.07$$

CASO 2

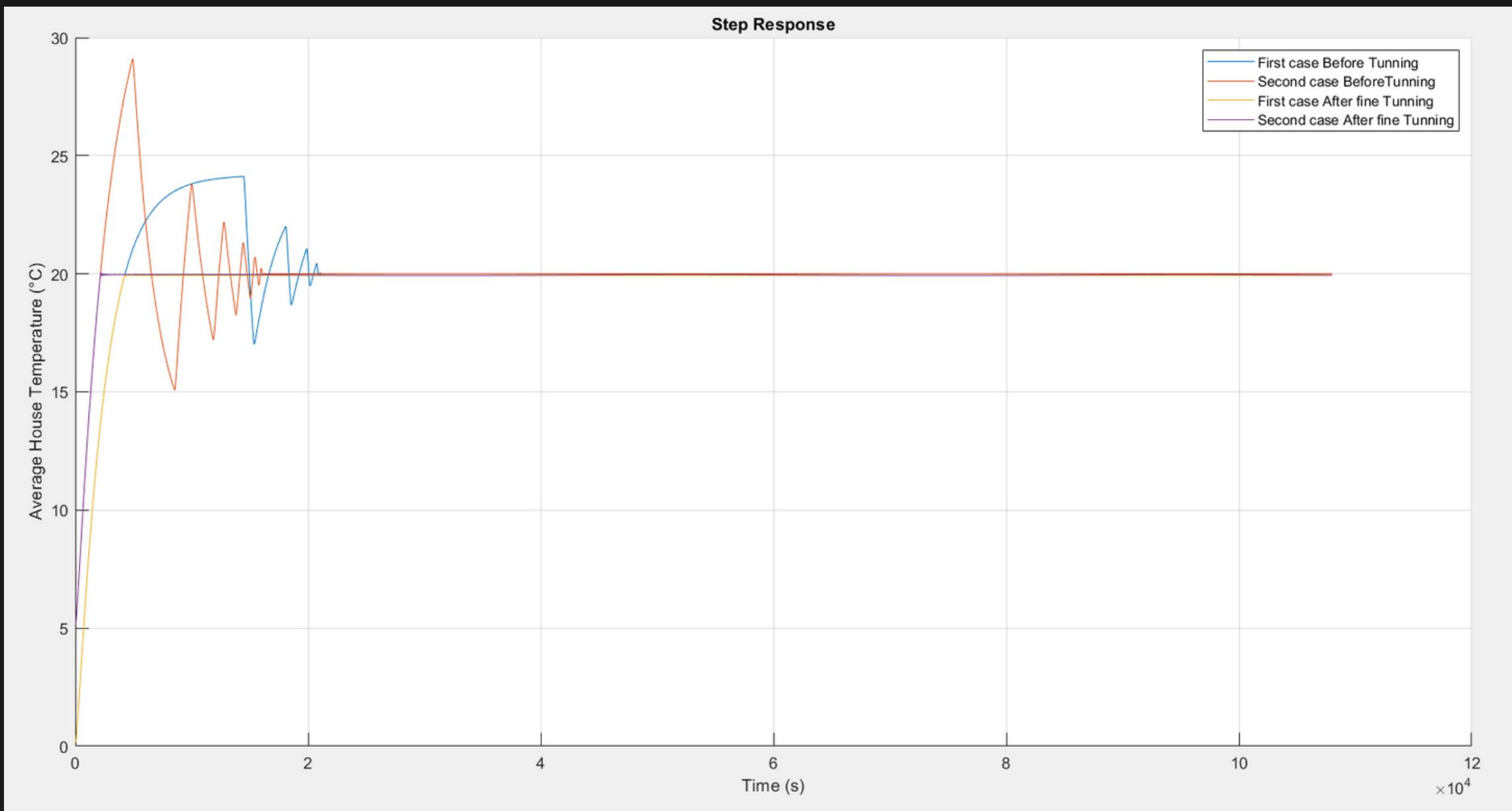
$$M_p = 0,06^\circ\text{C}$$

$$T_s = 2,07 \text{ ks}$$

$$\text{Erro} = 0.03^\circ\text{C}$$

SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS

ANTES E DEPOIS DA SINTONIA FINA



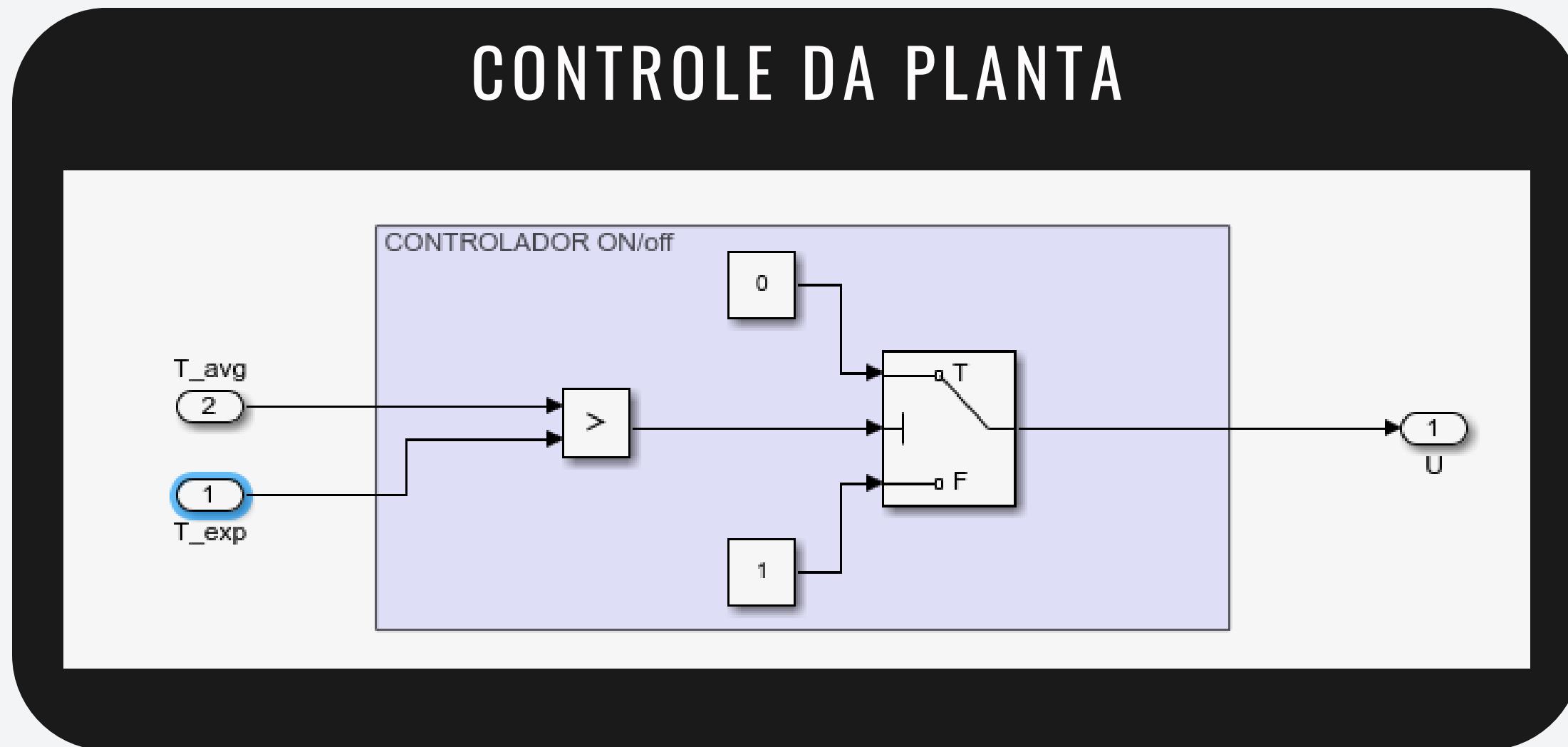
SINTONIA FINA E RESULTADOS FINAIS



Foi escolhido um controlador PD ao invés do PID pois o enunciado parecia dar mais valor a baixa variação de temperatura do que o erro nulo.

Tendo em vista que adicionar o Integrador aumentava o sobressinal sem necessariamente melhorar muito os tempos, controlador PD foi a melhor opção

CONTROLE ON/OFF:



O controle on/off é baseado em um simples liga e desliga

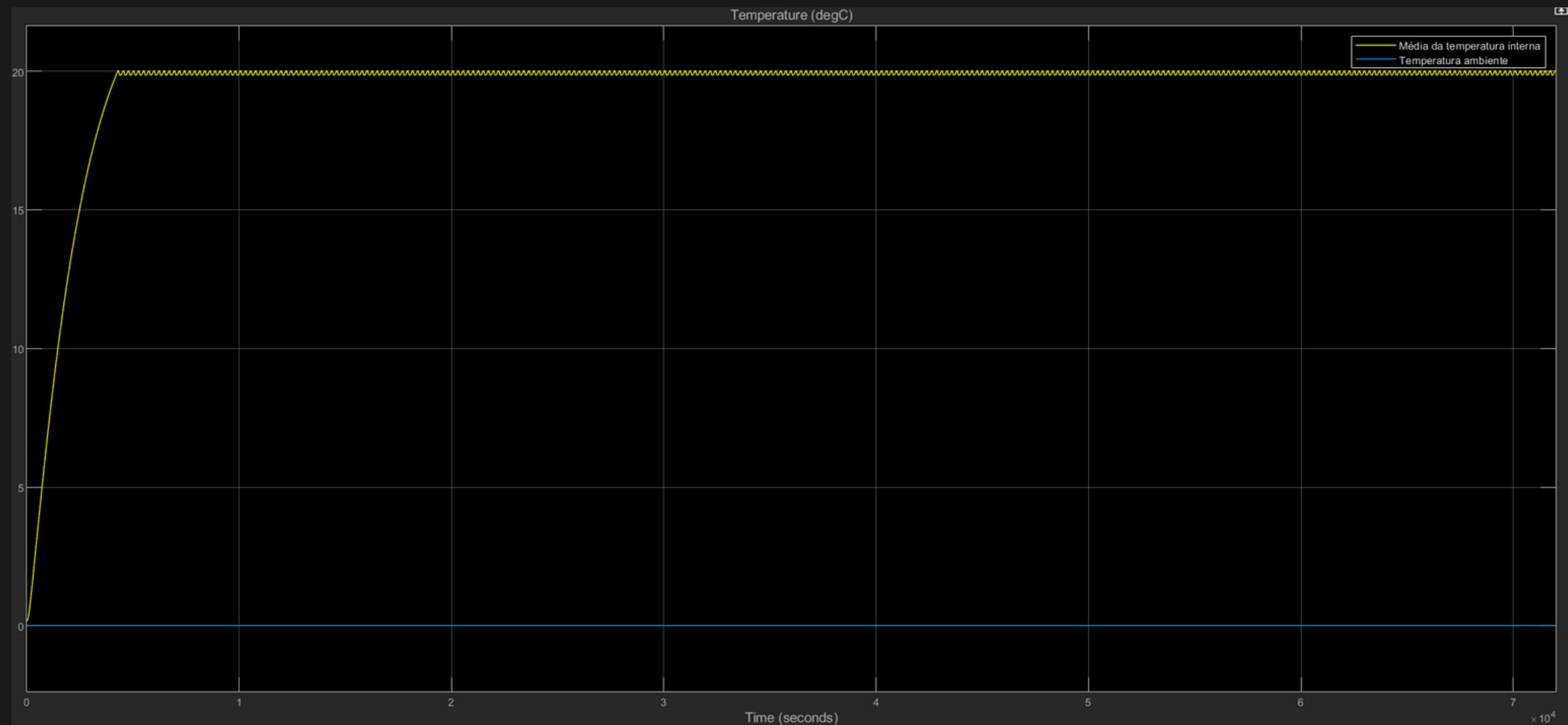
Para tal controle, foi usado um comparador entre a temperatura atual (T_{avg}) e a temperatura de Referência (T_{exp}).

MÉTODO:

Se a temperatura atual for superior a de referência o controlador desliga, se for maior, o mesmo é ligado no máximo.

CONTROLE ON/OFF

RESPOSTA DO SISTEMA NO CASO 1



VALORES

$M_p\% = 0.030$

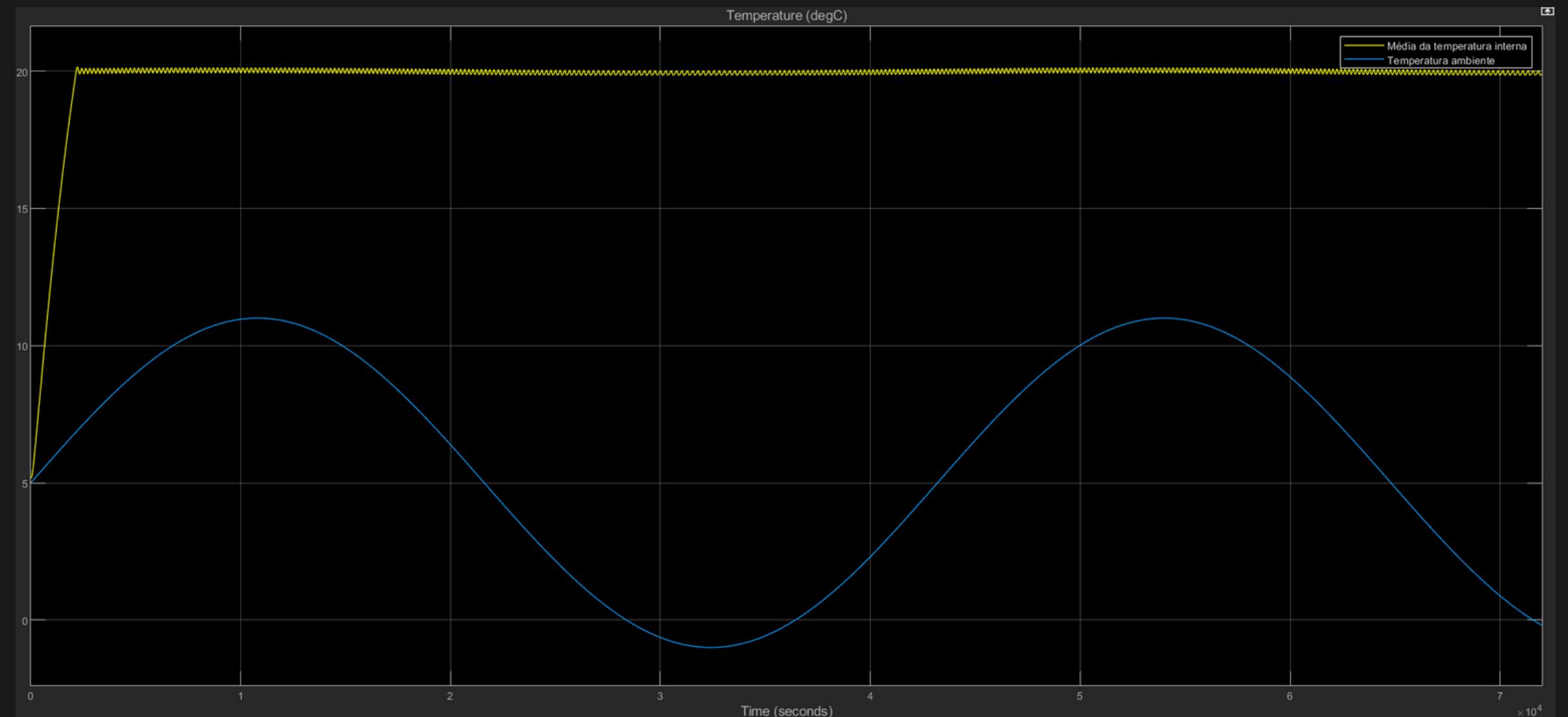
$T_s = 4083,1 \text{ s}$

$T_p = 40303,8 \text{ s}$

$T_r = 3074,0 \text{ s}$

CONTROLE ON/OFF

RESPOSTA DO SISTEMA NO CASO 2



VALORES

$$Mp\% = 1.199$$

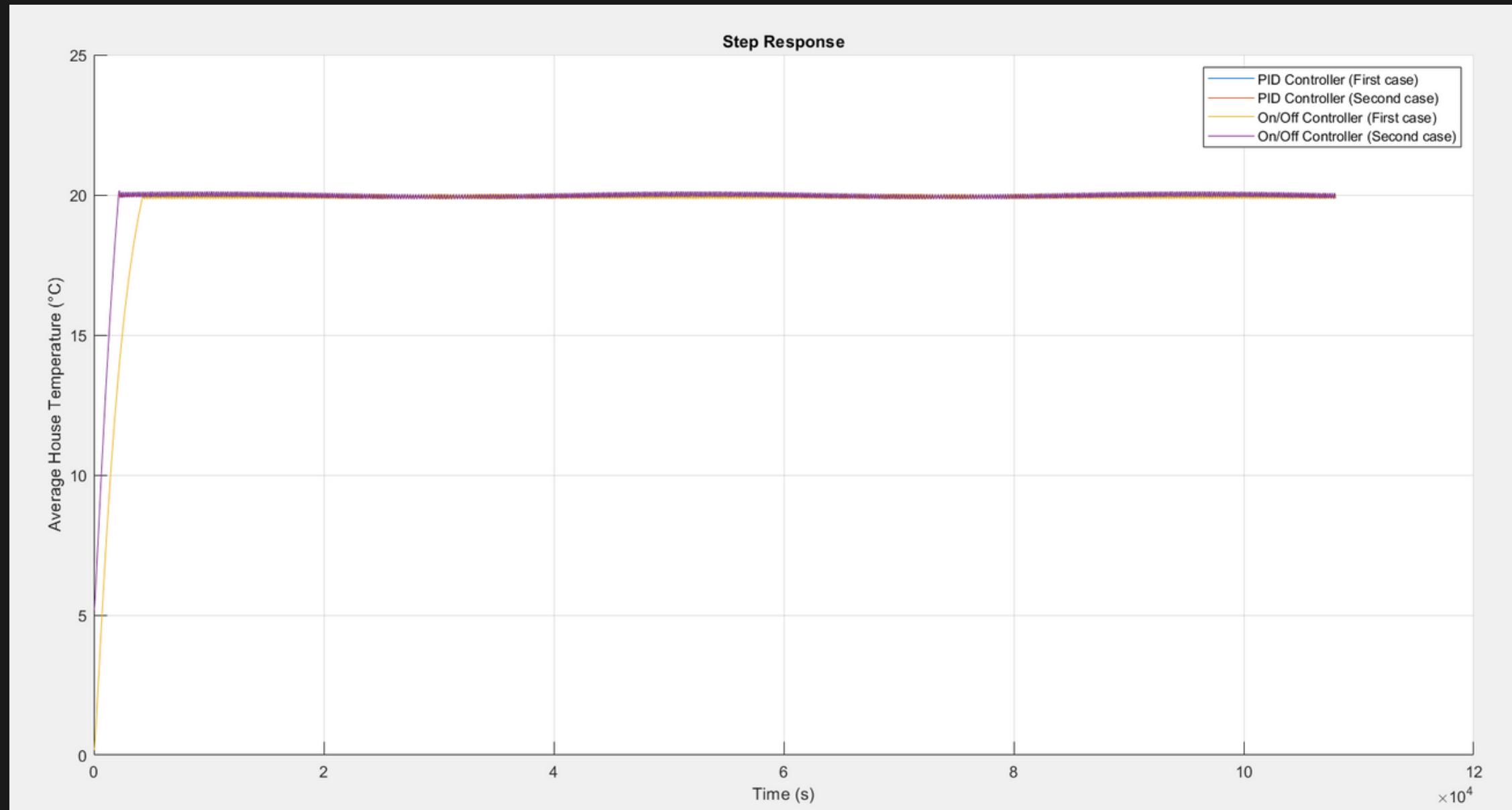
$$Ts = 2070,6 \text{ s}$$

$$Tp = 2216,6 \text{ s}$$

$$Tr = 1784,7 \text{ s}$$

COMPARAÇÃO DOS CONTROLADORES

COMPARAÇÃO ENTRE PID E ON/OFF



COMPARAÇÃO DOS CONTROLADORES



Os controladores tiveram respostas relativamente similares, as grandes diferenças são:

- On/Off costuma ser bem mais rápido sem precisar de fine tuning.
- On/Off não converge em um único valor, e tem custo de desgaste.

PERGUNTAS?

Constató:

Lucasgabrielf00@gmail.com

*Material de estudos para disciplina
Laboratório de Engenharia de Controle*

