

# Introdução aos controladores mais simples

Oliveira e Barbosa

USP São Carlos

Aula 5

## Colaboradores

Elmer Alexis Gamboa Peñaloza

Rodolpho Vilela Alves Neves

Rafael Fernando Quirino Magossi

Rafael Mariano

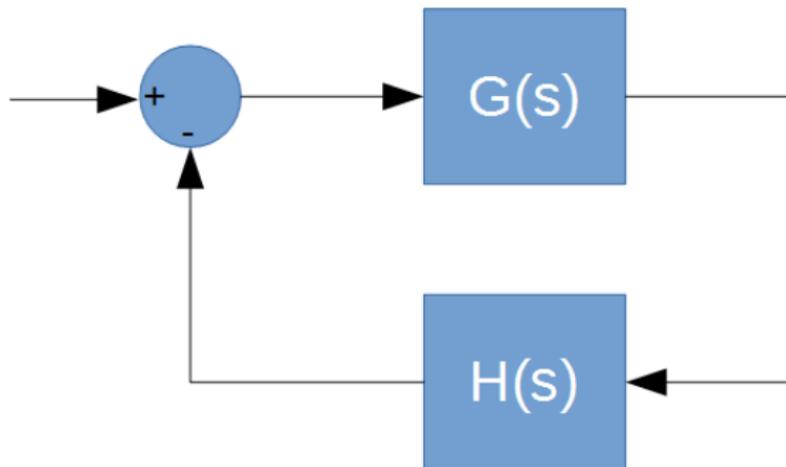
## Introdução

Esta aula é para ser ministrada de forma interativa utilizando um microcomputador por aluno ou por um grupo de 2 alunos com o aplicativo Matlab instalado. Tem por objetivo apresentar aos alunos os conceitos de controlador integral e de rejeição de perturbação tratado no Capítulo 5. No final da apresentação será proposta uma tarefa extraclasse a ser iniciada na sala de aula. Pode ser atribuída nota à tarefa realizada desde que a sua solução seja encaminhada e a aluna ou aluno tenha participado da aula. A solução pode ser enviada à professora ou professor via a plataforma Moodle de disciplinas, por exemplo.

## Sistema a malha aberta e fechada



Malha aberta



Malha fechada

## Sistema a malha fechada no Matlab

É possível criar um sistema de malha fechada no Matlab usando o comando `feedback`:

$$G_{CL} = \text{feedback}(G, H)$$

G representa a função de transferência do ramo direto e H a da realimentação.

## Sistema a malha fechada no Matlab

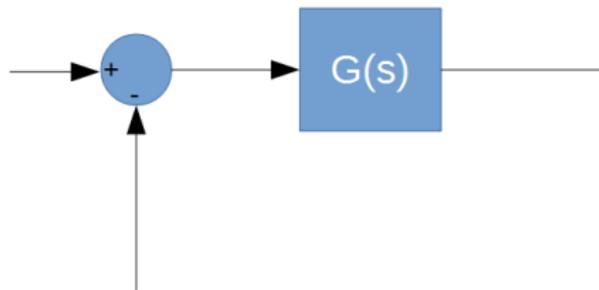
$$G(s) = \frac{1}{s+1}$$

Neste caso:

```
» s=tf('s');
```

```
» G=1/(s+1);
```

```
» GCL=feedback(G,1)
```

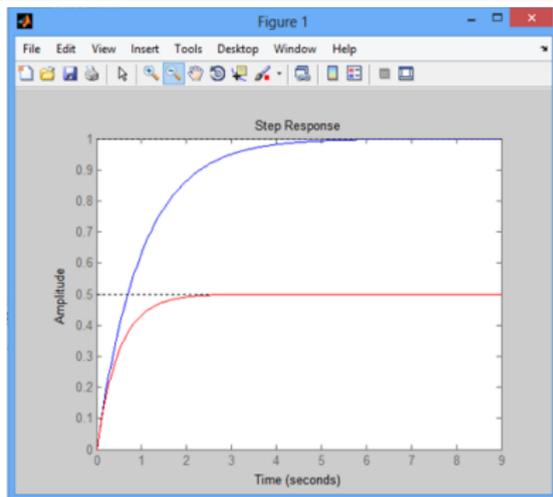


## Sistema a malha fechada no Matlab

Pode-se obter a resposta ao degrau em ambos os casos conjuntamente:

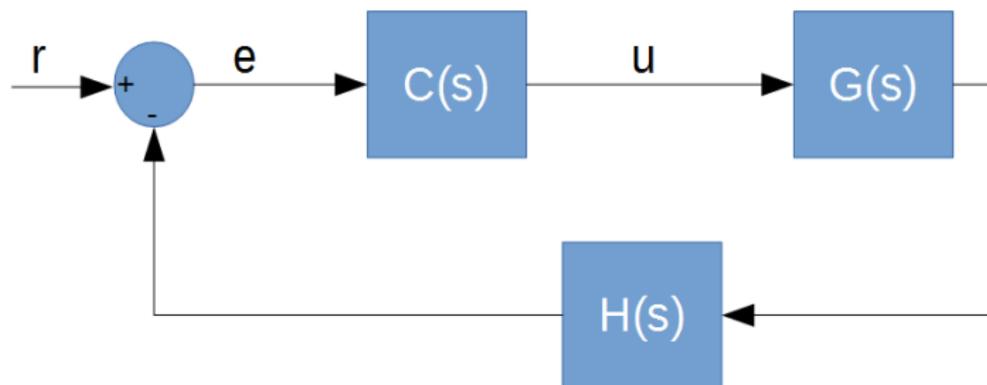
```
»step(G, GCL, 'r')
```

% em vermelho ('r') a resposta do sistema a malha fechada e em azul a do sistema a malha aberta.



Observe que o ganho do sistema diminui ao fechar a malha.

## Sistema com controlador



$r$  = referência;

$e$  = erro;

$u$  = sinal de controle

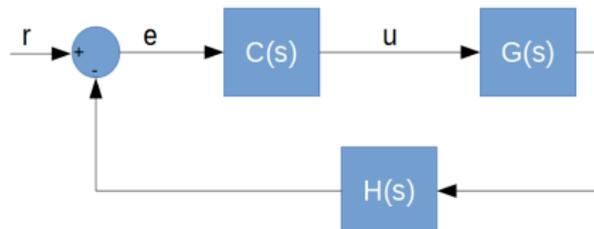
## Sistema com controlador

Para conectar um bloco com outro  
usa-se o comando:

»  $L = \text{series}(G, C)$

Neste caso,

$L(s) = G(s) * C(s)$



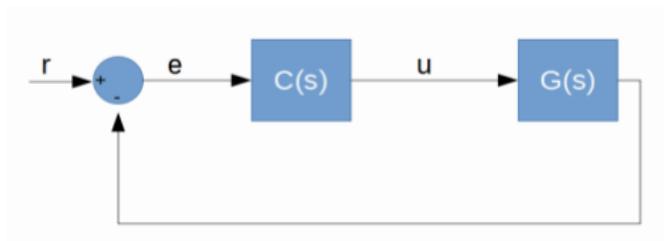
## Sistema com controlador proporcional

Sistema a malha fechada com controlador proporcional:

$$G(s) = \frac{1}{s + 1}$$

$$C(s) = K_p = 20;$$

- » `s=tf('s');`
- » `G=1/(s+1);`
- » `C=20;`
- » `T1=feedback(series(1,G),1);`
- » `T2=feedback(series(C,G),1);`

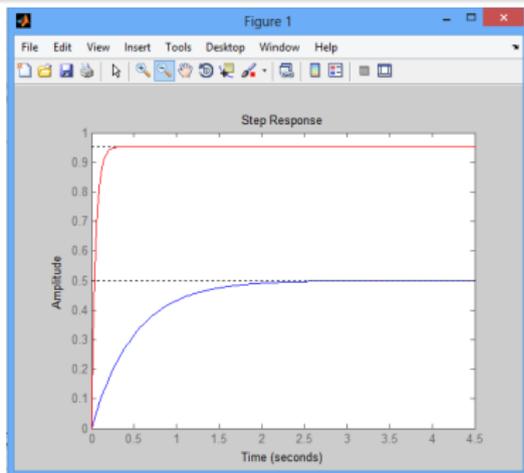


## Sistema com controlador

Pode-se obter a resposta ao degrau de ambos os casos conjuntamente.

»step(T1,T2,'r')

% em vermelho ('r') a resposta do sistema a malha fechada com controlador  $K_p = 20$  e em azul com  $K_p = 1$ .



Observe que foi possível reduzir o erro de regime e o tempo de resposta aumentando  $K_p$ .

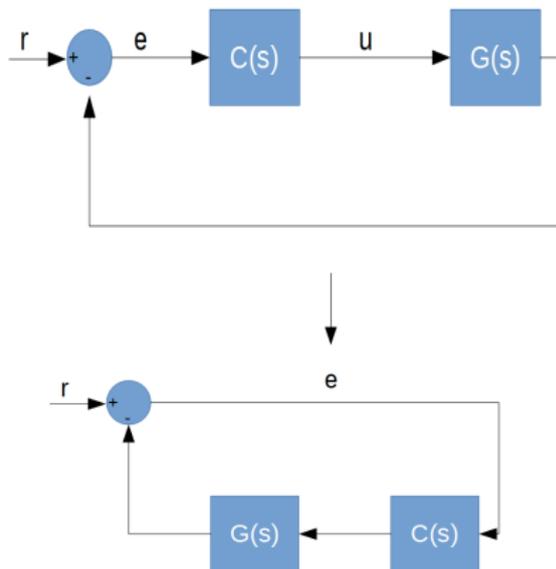
## Sinal de erro

Para verificar o sinal de erro  
manipula-se o sistema usando os  
comandos `series` e `feedback`.

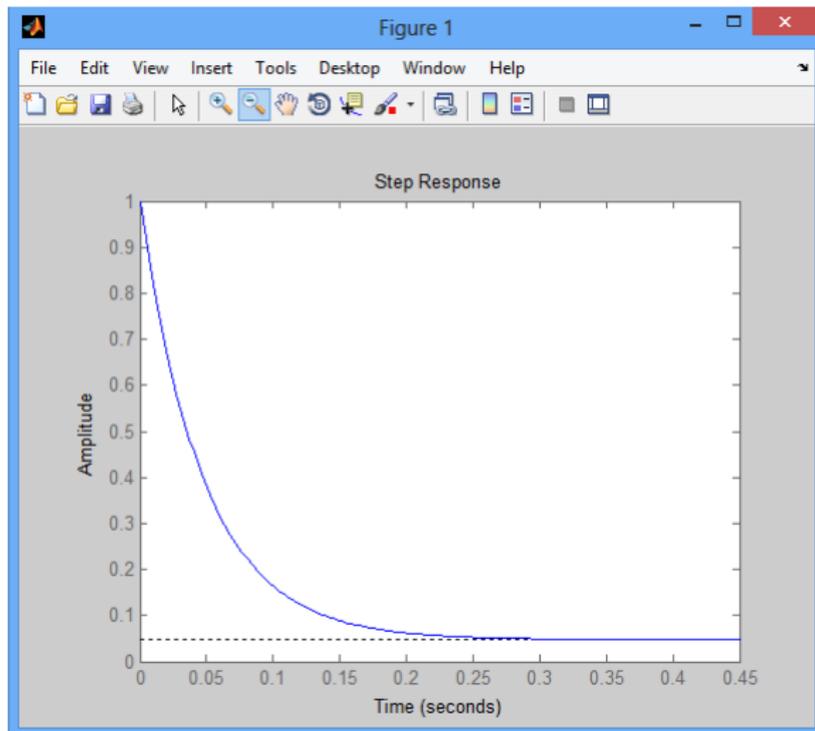
» `e=feedback(1,series(G,C))`

ou

» `e=feedback(1,G*C)`



## Sinal de erro para resposta ao degrau



O erro de regime  
tende para uma  
constante!

## Tarefa!

Considere o sistema:

$$G(s) = \frac{s + 4}{(s + 1)(s + 2)(s + 3)}$$

Pede-se:

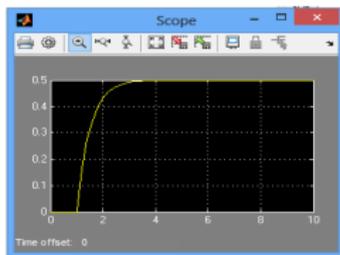
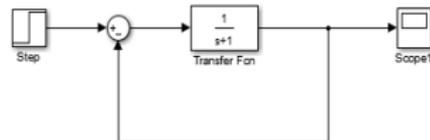
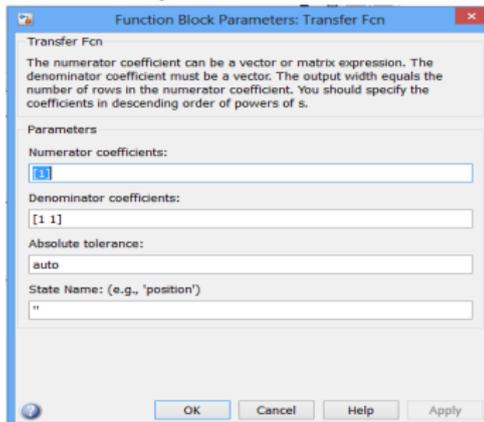
- 1 A resposta ao degrau para o sistema de malha aberta.
- 2 A resposta ao degrau para o sistema à malha fechada com  $H(s) = 1$  (realimentação unitária).
- 3 Adicione um controlador proporcional e tente aproximar o erro de regime de zero.
- 4 Plotar a resposta do sinal de erro.

## Uso do Simulink

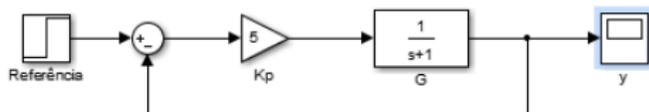
É possível usar o Simulink para criar sistemas de controle realimentados

Considere:

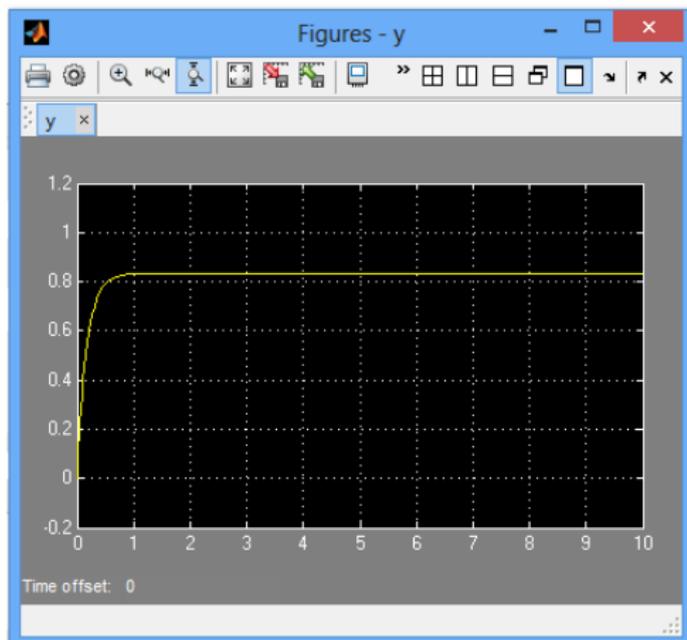
$$G(s) = \frac{1}{(s + 1)}$$

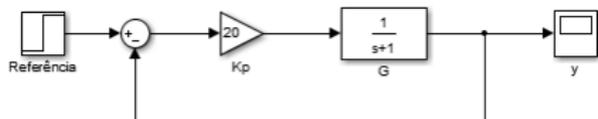


## Exemplo

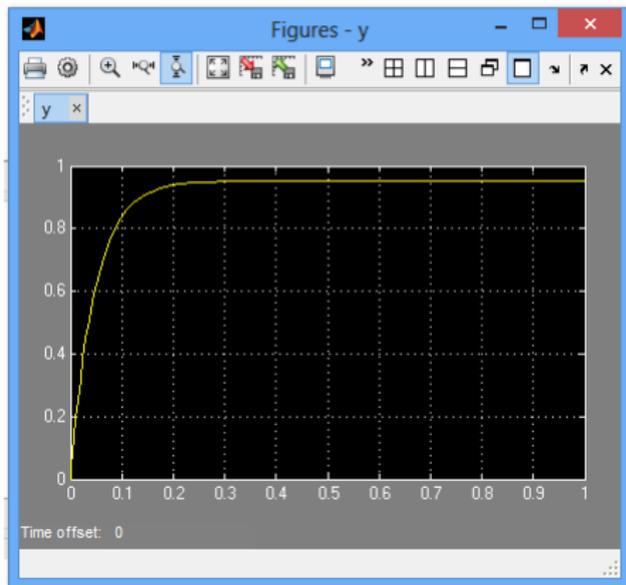


Adicionar um controlador proporcional  $K_p$  e fazer o erro de regime se aproximar de zero: o erro de regime e o tempo de resposta são reduzidos. A resposta do sistema é mais rápida.



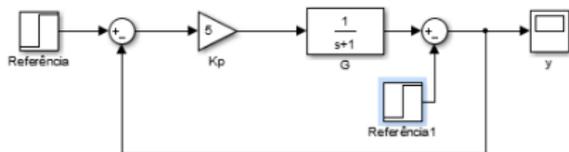
Exemplo: aumentando ainda mais  $K_p$ 

O erro de regime se aproxima de zero! E será nulo quando  $K_p \rightarrow \infty$   
Este é um problema de interesse prático.



## Controlador proporcional

Com o ganho alto o sistema rejeita a perturbação. Mas, imagine se o ganho for baixo e o sistema for perturbado.



Source Block Parameters: Referência1

Step

Output a step.

Parameters

Step time:

Initial value:

Final value:

Sample time:

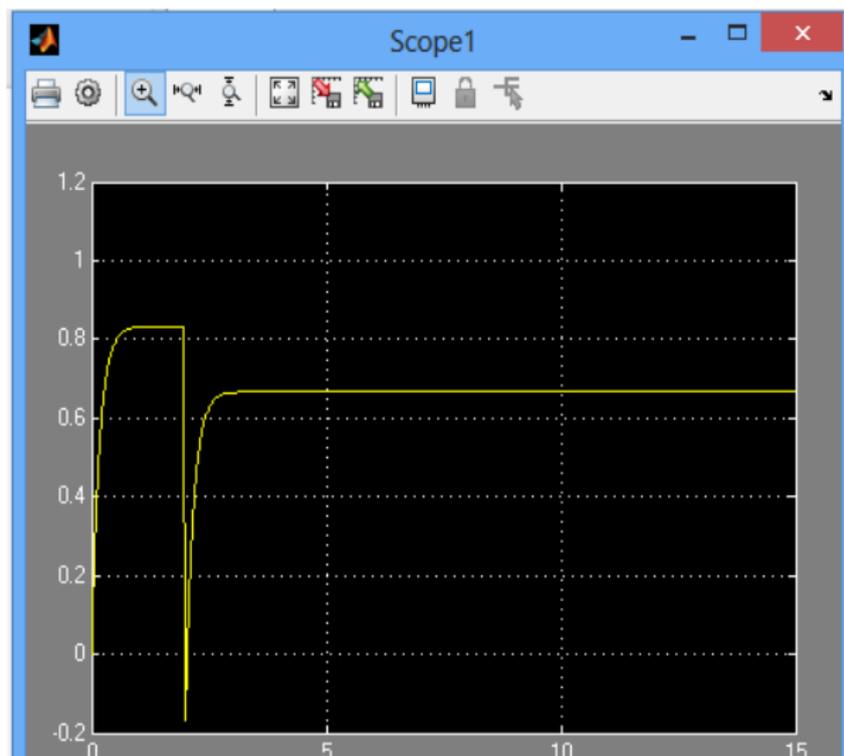
Interpret vector parameters as 1-D

Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

## Inserindo uma perturbação

O controlador proporcional não consegue rejeitar perturbação.



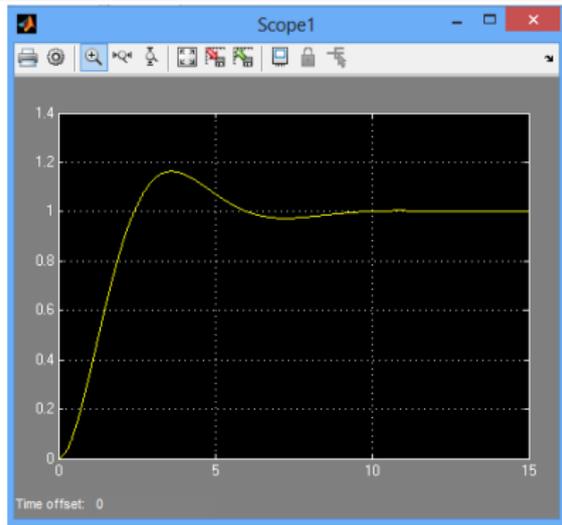
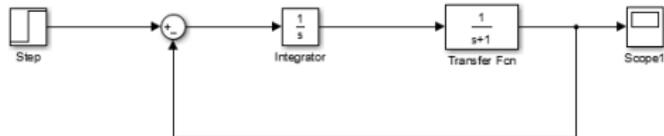
## Usando um controlador integral

Vamos mudar o controlador para um controlador integral:

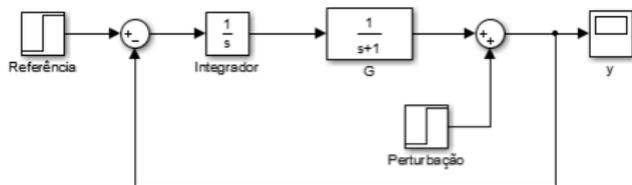
$$C(s) = \frac{K_i}{s} = \frac{1}{s}$$

## Usando um controlador integral

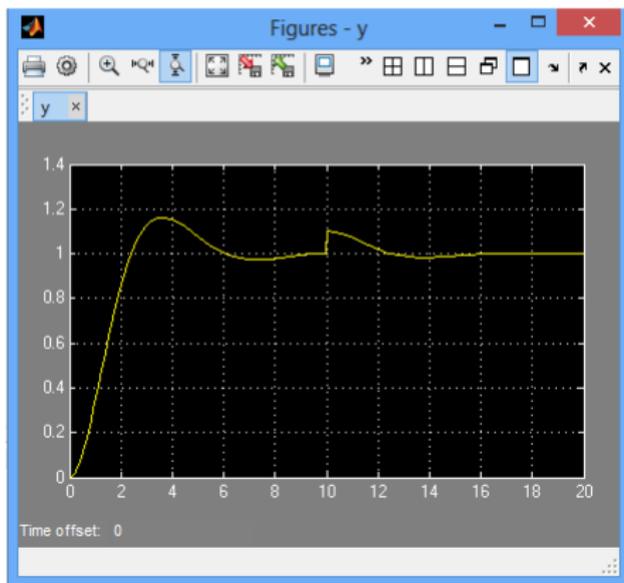
Apenas com um integrador pode-se fazer o erro de regime nulo!  
E a perturbação? O seu efeito na resposta pode ser reduzido?



## Usando um controlador integral



O controlador integral corrige o erro de regime devido ao efeito da perturbação para perturbação do tipo degrau.



## Tarefa para nota

A solução da tarefa deve conter o que foi estudado, o que foi feito e analisado.

## Tarefa

$$G(s) = \frac{s + 4}{(s + 1)(s + 2)(s + 3)}$$

- 1 Feche a malha com  $H(s) = 1$  (realimentação unitária).
- 2 Obtenha a resposta em malha aberta e fechada.
- 3 Adicione um controlador proporcional e tente aproximar o erro de regime à zero.
- 4 Adicione uma perturbação no sistema.
- 5 Troque o controlador proporcional por um integral.

## Mais tarefa para nota: rltool

$$G(s) = \frac{s + 4}{(s + 1)(s + 2)(s + 3)}$$

Usando rltool

- 1 Adicione um controlador proporcional.
- 2 Troque o controlador proporcional por um controlador proporcional + integral. Nesse caso, como especificação de desempenho, além do erro de regime nulo adote um tempo de reposta do sistema de malha fechada de 50% do sistema de malha aberta.