



AULA 04

DIAGRAMA DE BLOCOS

PMR 3302

Sistemas Dinâmicos I



Laboratório de Sistemas Dinâmicos

Ettore Barros
Larissa Driemeier
Arturo Forner-Cordero
Rafael Traldi Moura
Rodrigo Lima Stoeterau

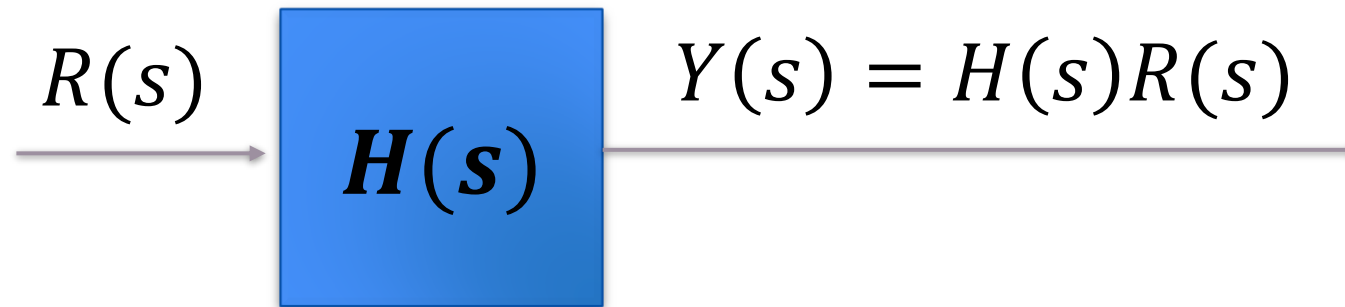
eabarros@usp.br
driemeie@usp.br
aforner@usp.br
moura.gmsie@usp.br
rodrigo.stoeterau@usp.br

NOSSA AGENDA

#	Data	Tópico
1	27/02	Introdução ao modelamento e uso do software; Introdução à programação em Octave/Matlab Conceitos Básicos de Funções de Variáveis Complexas
2	01/03	Resolução de Equações Diferenciais – Sistemas Lineares e Não Lineares
3		Transformada de Laplace e Funções de Transferência
4	06/03	Representação de sistemas dinâmicos por diagrama de blocos. Diagrama de Blocos: manipulação e aplicações.
5	07/03	Análise de Sistemas de Primeira Ordem
6	09/03	Análise de Sistemas de Segunda Ordem

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

No domínio de Laplace, portanto, $Y(s) = H(s)R(s)$



Função de transferência a relação entre a entrada e a saída do **sistema LTI** no domínio de Laplace, **considerando condições iniciais nulas**.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = H(s)$$

A função de transferência não depende da entrada.

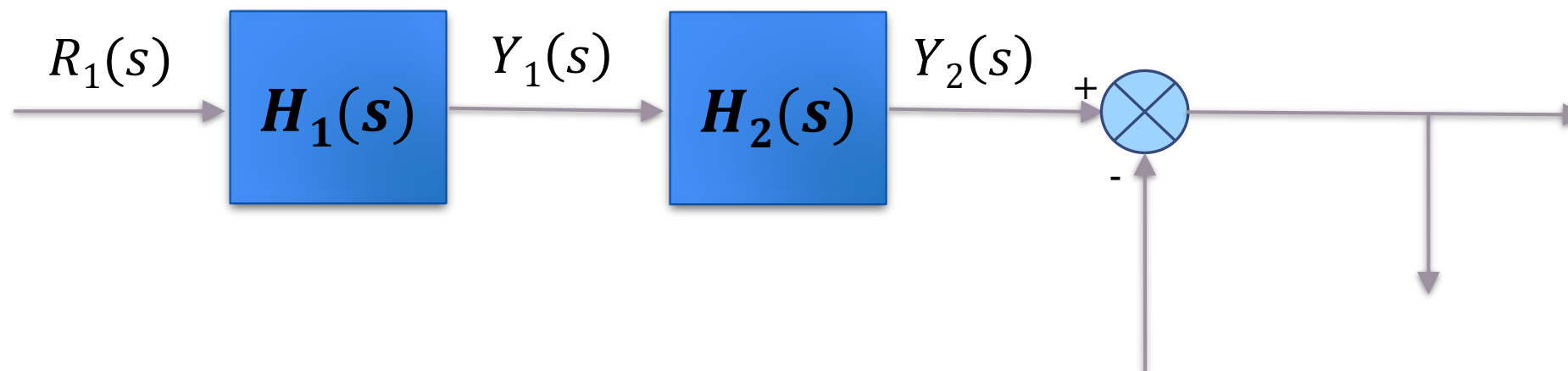
CONVOLUÇÃO TEMPORAL E RESPOSTA AO IMPULSO

- Dada uma função de transferência $H(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$ (sistema LTI com condições iniciais nulas)
- Podemos escrever a saída como: $Y(s) = H(s)R(s)$
- **Dualidade entre os domínios temporal e complexo (de Laplace): a integral de convolução**
$$y(t) = \int_0^t x(\tau)g(t - \tau)d\tau = \int_0^t g(\tau)x(t - \tau)d\tau; \text{ com } g(t) = 0 \text{ e } x(t) = 0 \forall t < 0$$
- **Resposta ao impulso:**
- Se a entrada é a função impulso: Transformada de Laplace unitária
- A resposta ao impulso é a função de transferência $Y(s) = H(s)$ que, no tempo é a integral de convolução.

DIAGRAMA DE BLOCOS

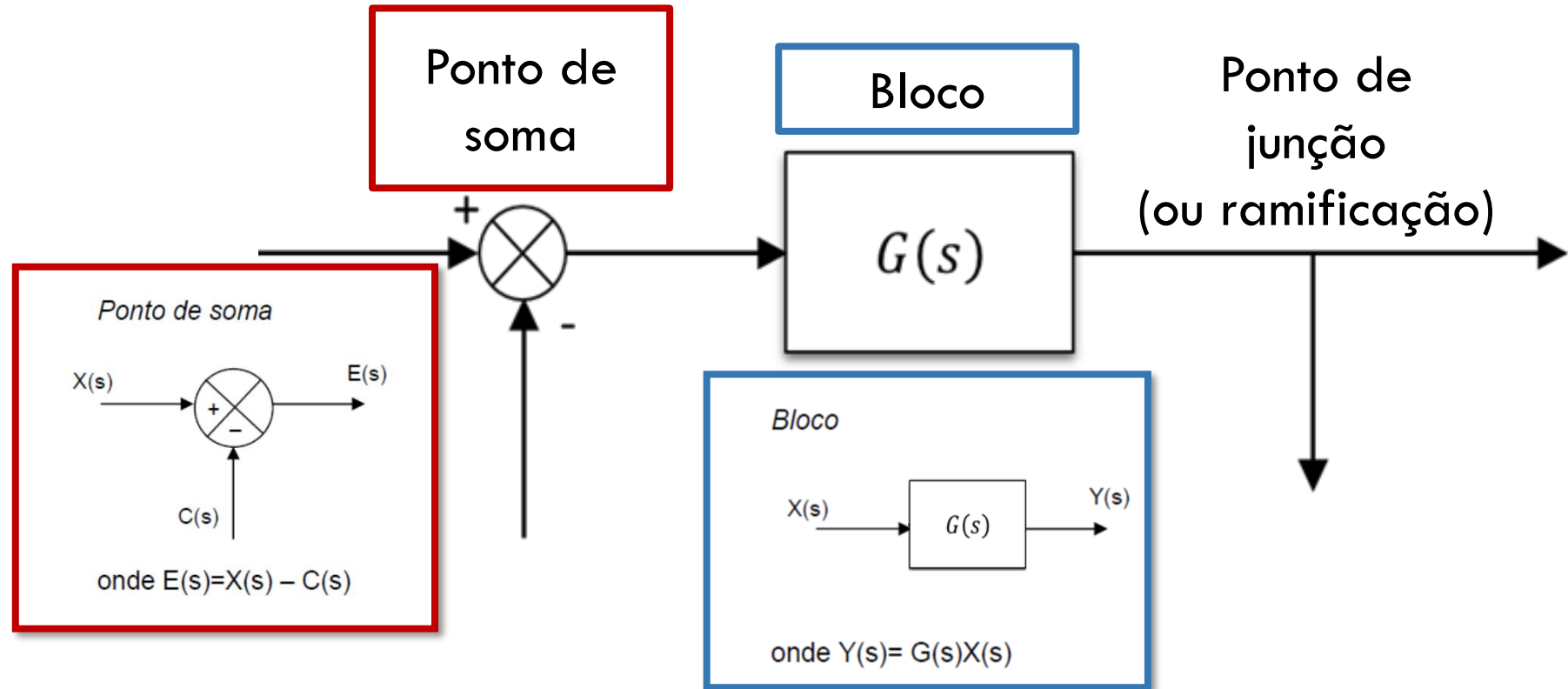


- Temos um sistema dinâmico composto de varias partes ou subsistemas.
- Podemos usar as **funções de transferência** para descrever o comportamento de cada uma das partes: BLOCOS FUNCIONAIS ou simplesmente **BLOCOS**
- Precisamos de alguma forma de relacionar os blocos: **Setas, somas e bifurcações**



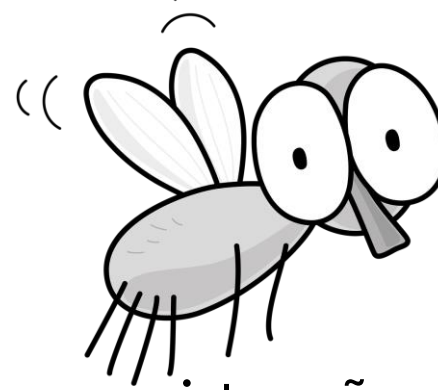
PARTE I: DIAGRAMA DE BLOCOS

- É uma representação gráfica das funções desempenhadas por cada componente e o fluxo de sinais entre eles. Descreve o interrelacionamento que existe entre os vários componentes.



Um diagrama de blocos contém informações relativas ao **comportamento dinâmico**, mas não inclui nenhuma informação sobre a construção física do sistema.

O VÔO DA MOSCA



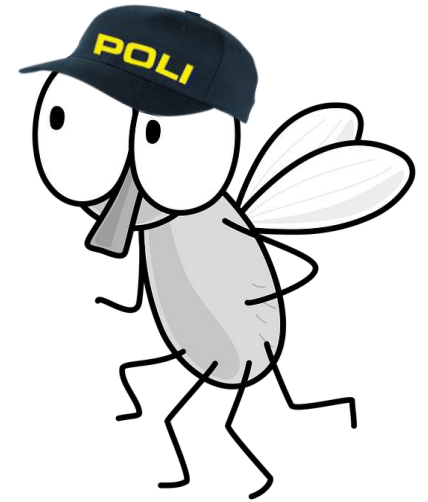
O voo, como todas as formas de locomoção, envolve uma interação complexa entre o inseto e seu ambiente.

Embora **circuitos neurais, músculos e asas constituam a planta física central do sistema motor do inseto**, o comportamento de voo não resulta de um simples conjunto de comandos **pré-alimentados ou feed-forward**.

O **sistema nervoso de um inseto é maioritariamente dedicado à processar a informação sensorial gerada quando o animal se move através de seu ambiente**.

O **cérebro do inseto processa e funde esse fluxo de informações para criar um código que pode modificar o movimento da asa em um curso por curso**. O feedback sensorial é essencial tanto para a estabilidade de curto prazo quanto para orientação e navegação de longo prazo.

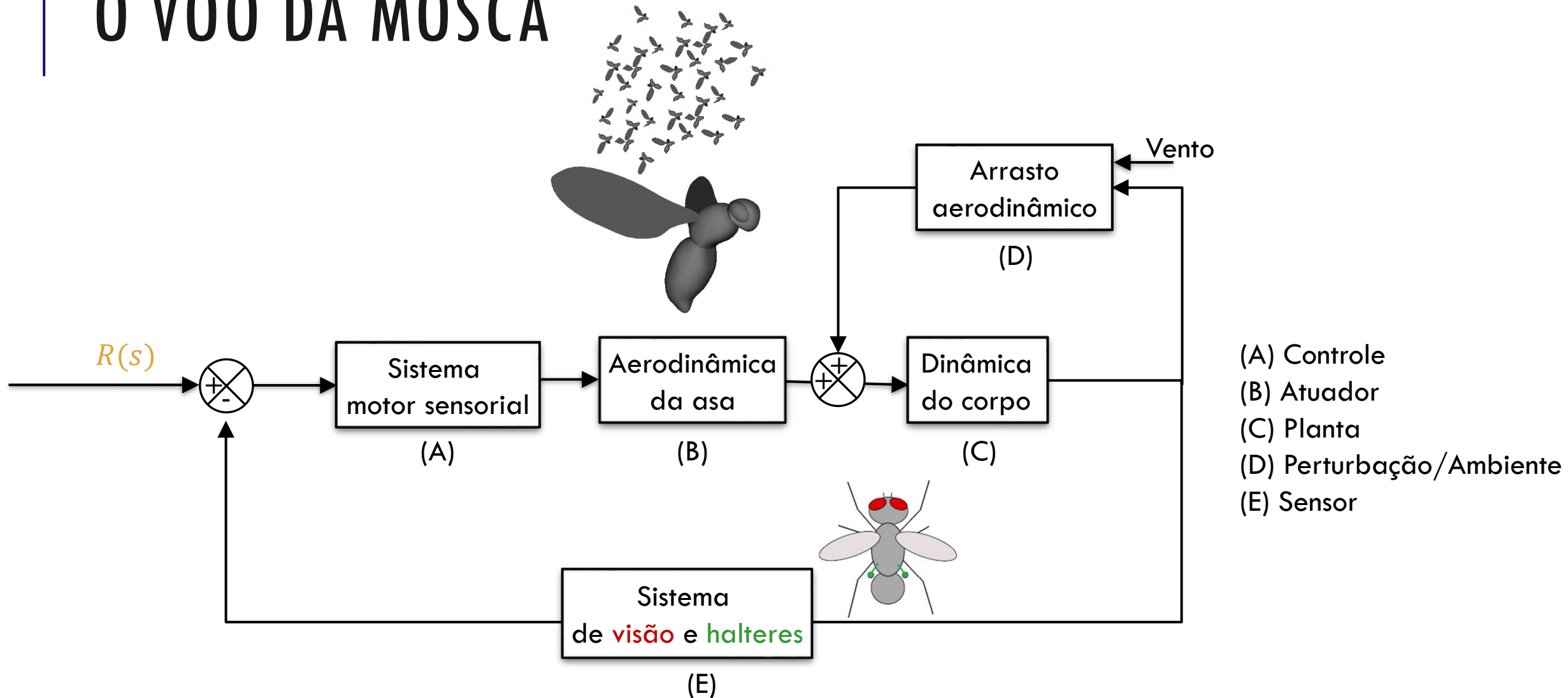
O que podemos ver é que uma clara abordagem de engenharia, como a aplicação da teoria de controle, pode ser aplicada ao voo de um inseto.



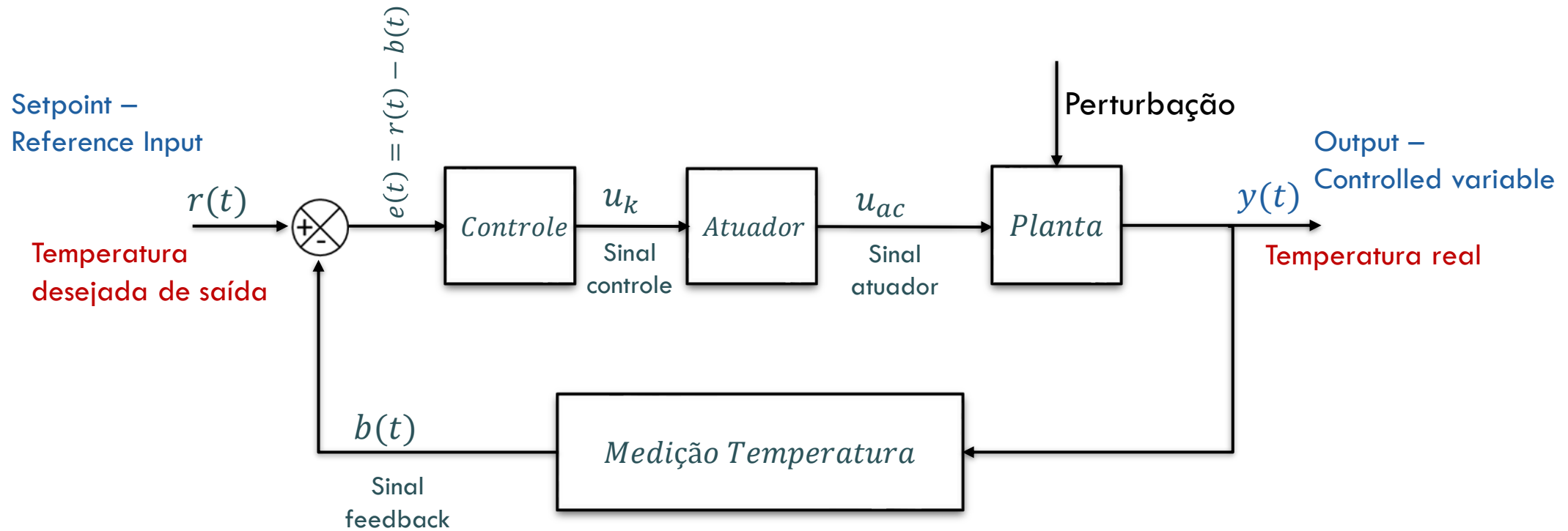
1. Planta
2. Sensor
3. Ambiente
4. Controle
5. Atuador



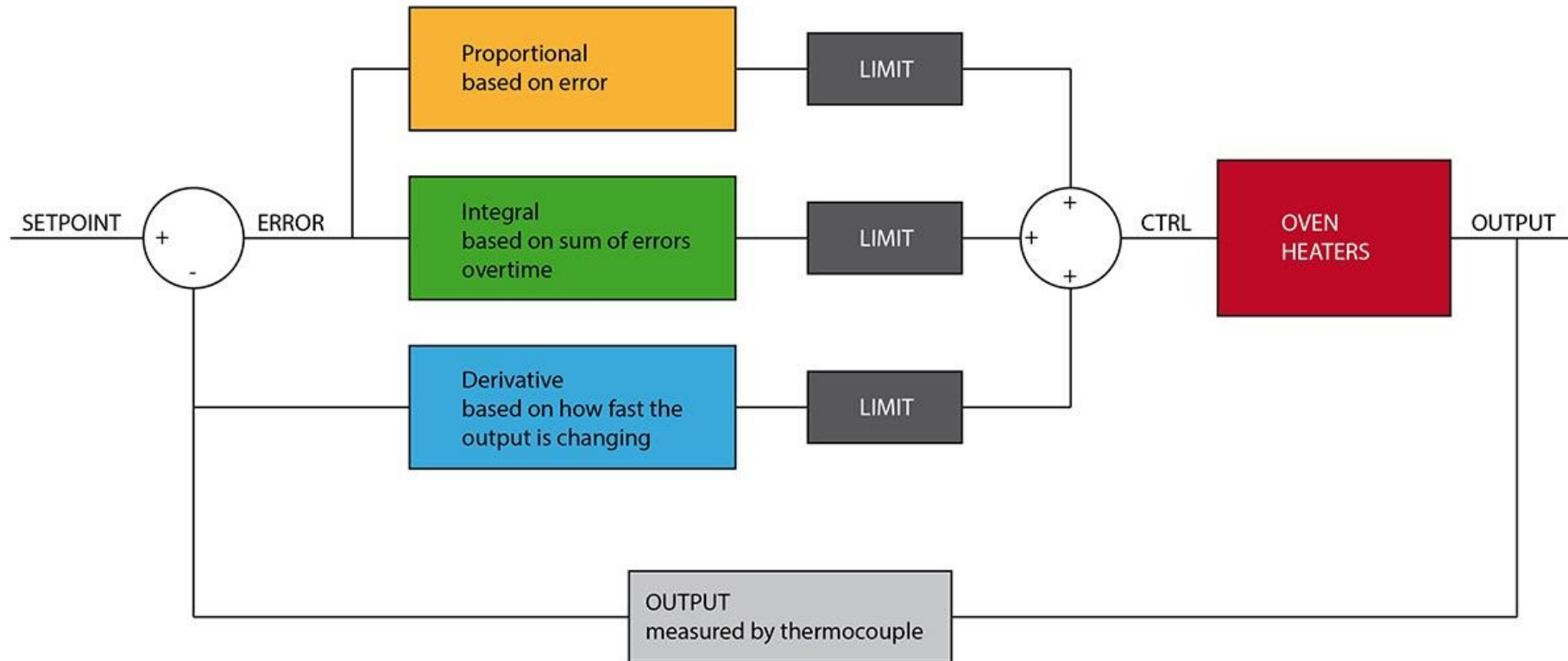
O VÔO DA MOSCA



FORNO ELÉTRICO



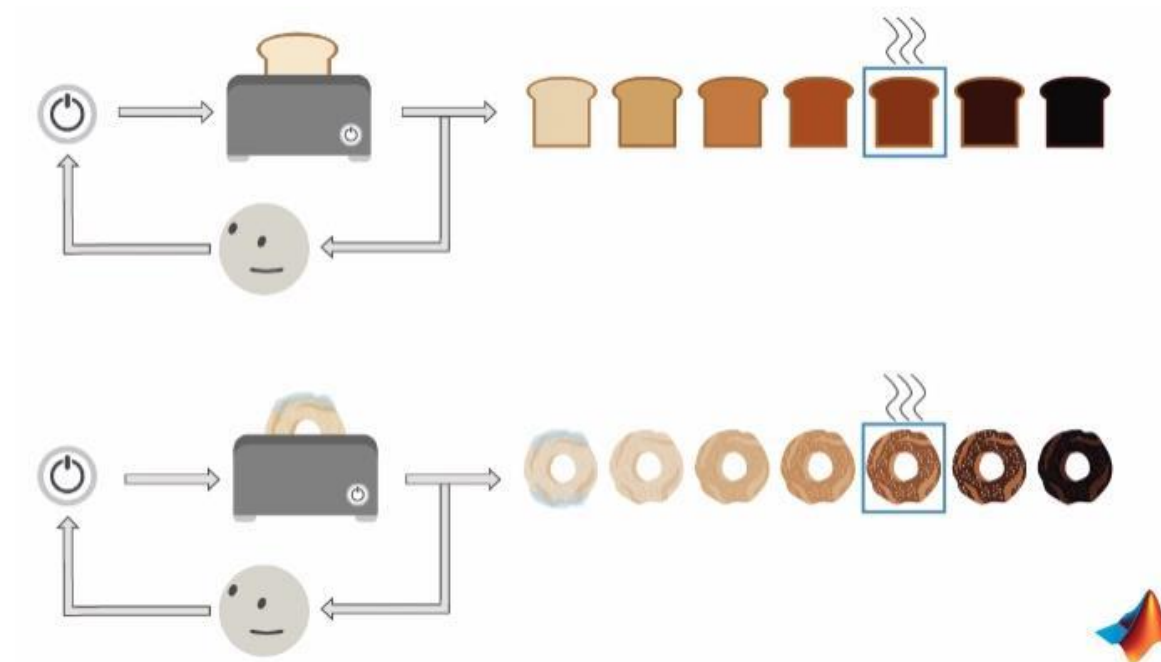
FUTURO... CONTROLE PID...



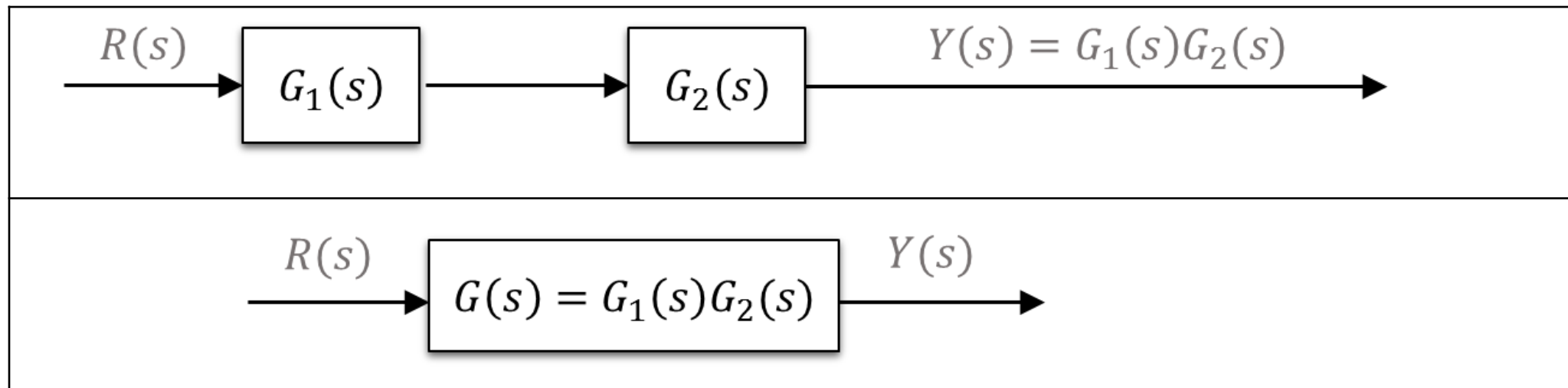
<https://www.x-toaster.com/resources/pid-tuning-for-toaster-reflow-oven/>

FEEDBACK - REALIMENTAÇÃO

- <https://www.mathworks.com/videos/understanding-control-systems-part-2-feedback-control-systems-123501.html>

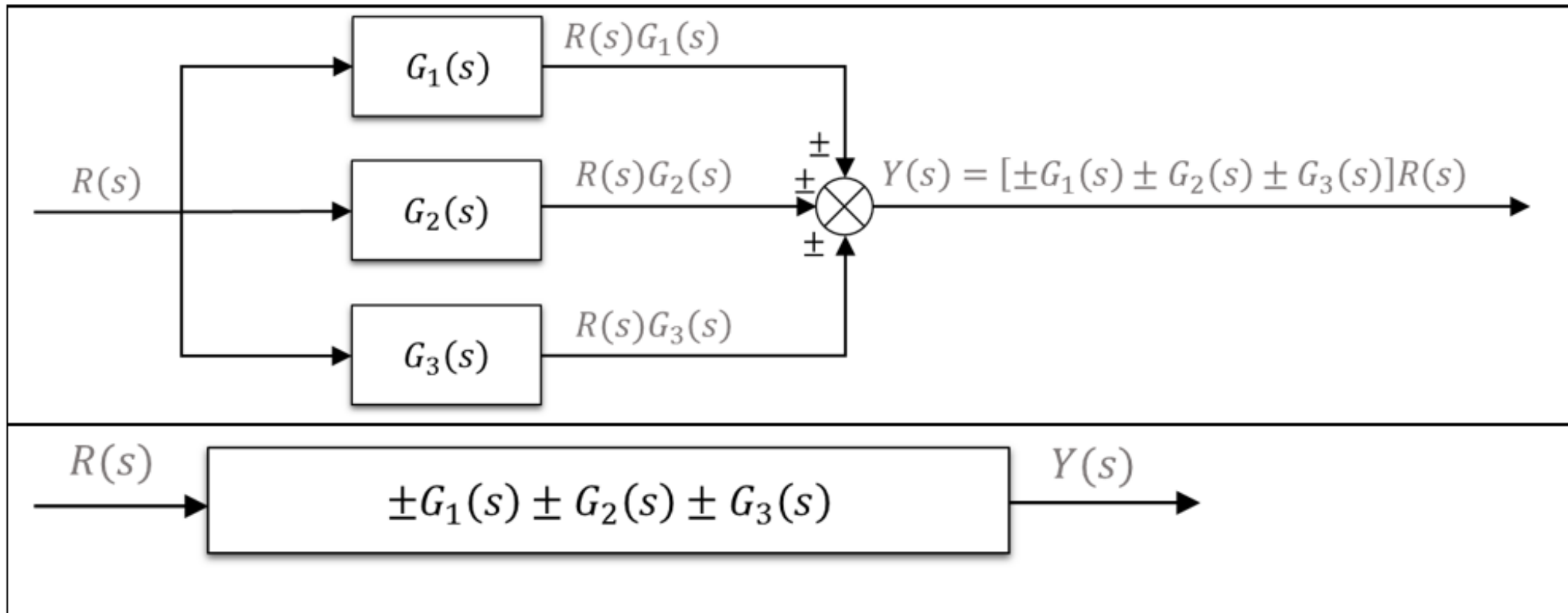


BLOCOS EM SÉRIE...



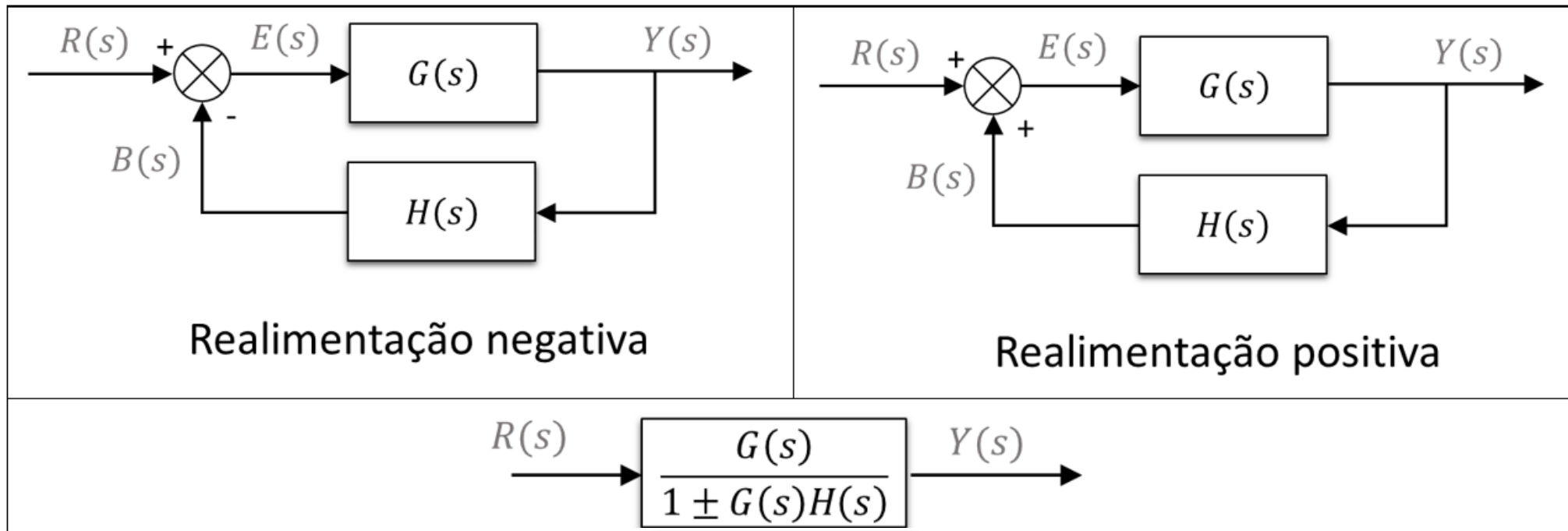
A função de transferência de uma série é o produto da função de transferência dos elementos da série

BLOCOS EM PARALELO...

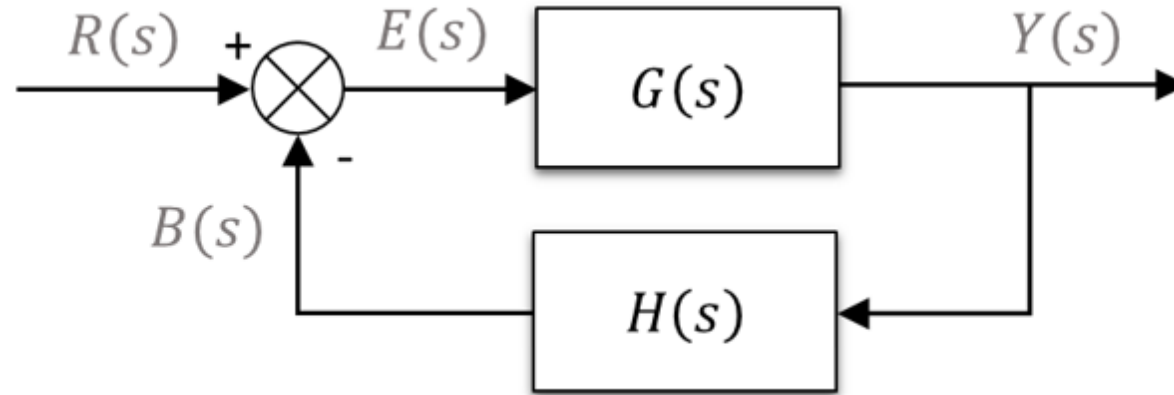


A função de transferência de blocos em paralelo é a soma da função de transferência desses blocos

SISTEMA REALIMENTADO



ALGUNS NOMES



Função de transferência em malha aberta

Função de transferência pré-alimentada

$$\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s)$$

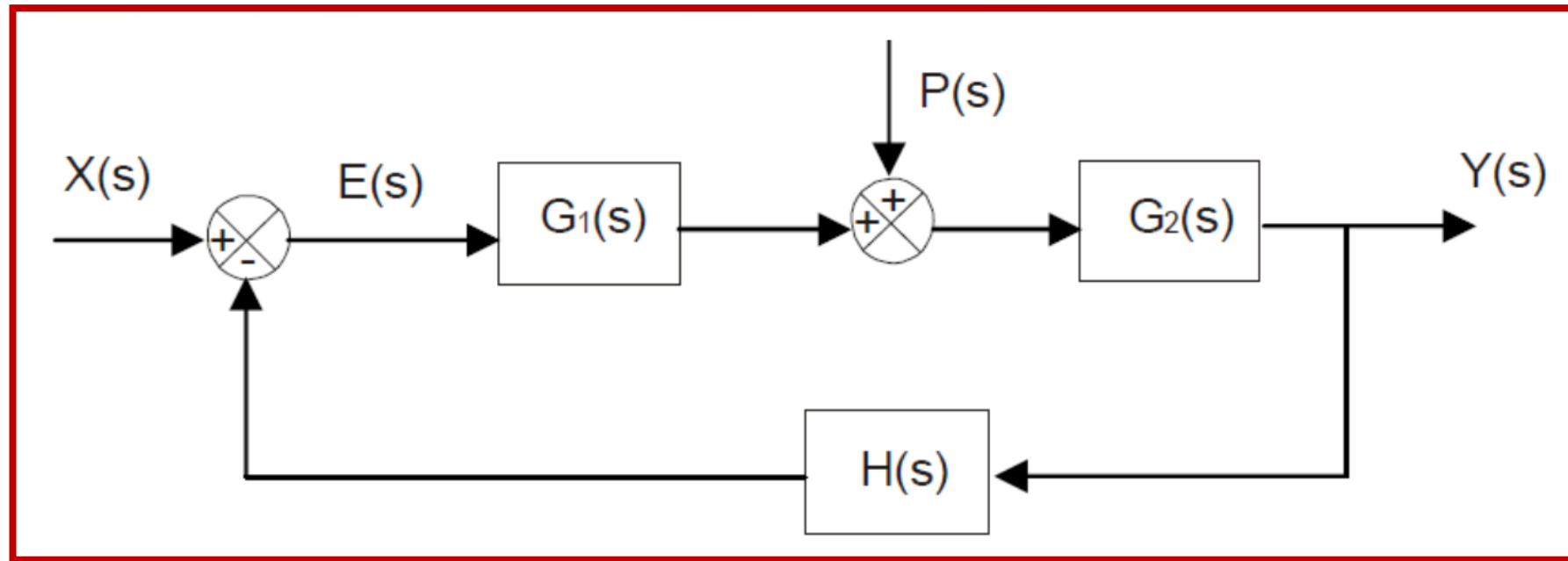
$$\frac{Y(s)}{E(s)} = G(s)$$

Função de transferência em malha fechada

$$Y(s) = G(s)E(s); E(s) = R(s) - B(s) = R(s) - H(s)Y(s); Y(s) = G(s)(R(s) - H(s)Y(s))$$

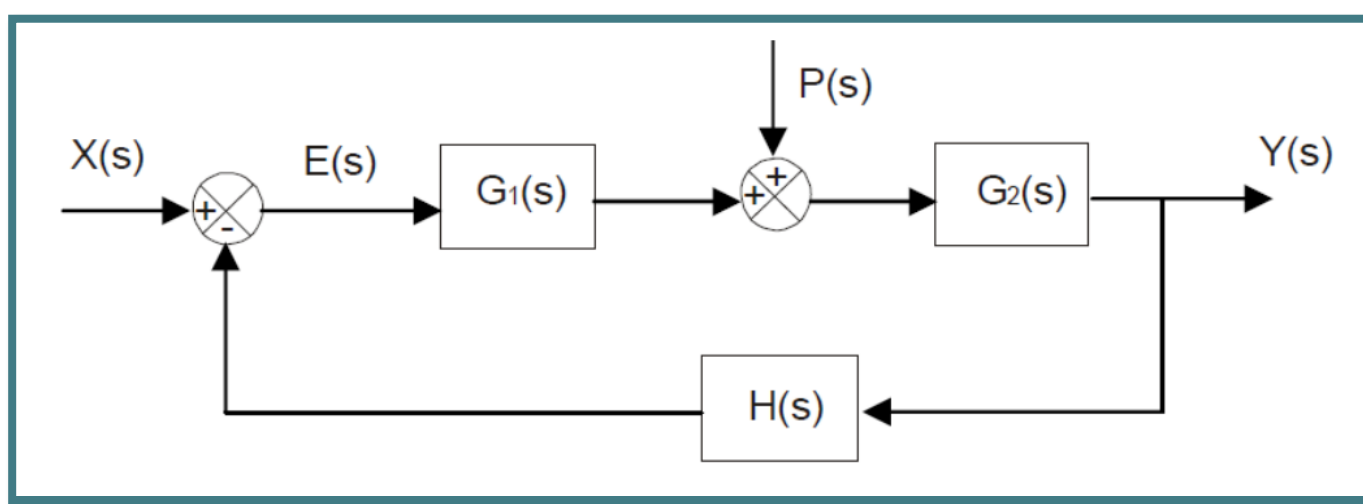
$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

SISTEMA REALIMENTADO COM PERTURBAÇÃO



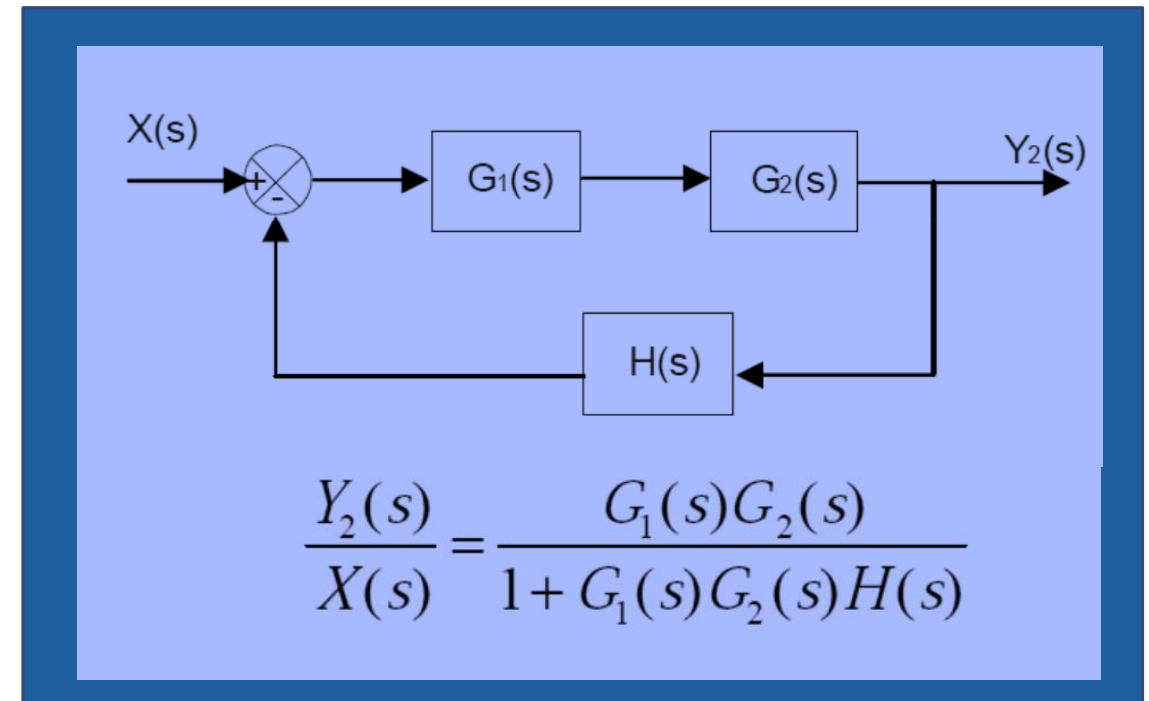
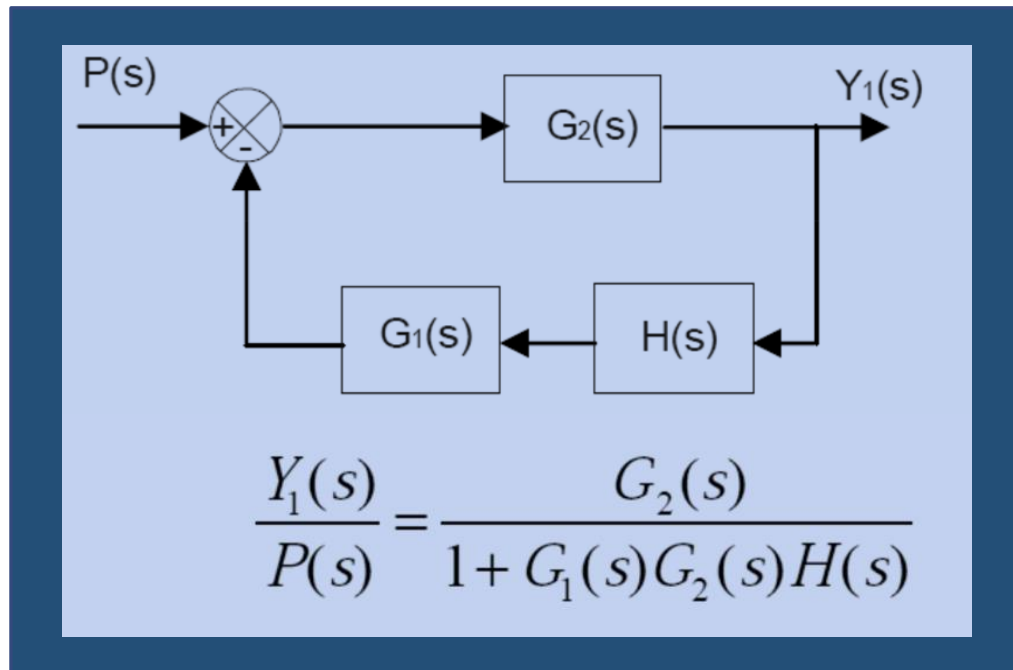
Considerando que o sistema com duas entradas $X(s)$ e $P(s)$ é linear, aplica-se o princípio da superposição:

“A saída de um sinal formado pela combinação linear de diferentes sinais, é igual à combinação dos sinais de saída gerados por cada sinal separadamente”



Efeito da perturbação:
 $P(s) \rightarrow X(s) = 0$

Efeito da entrada:
 $X(s) \rightarrow P(s) = 0$



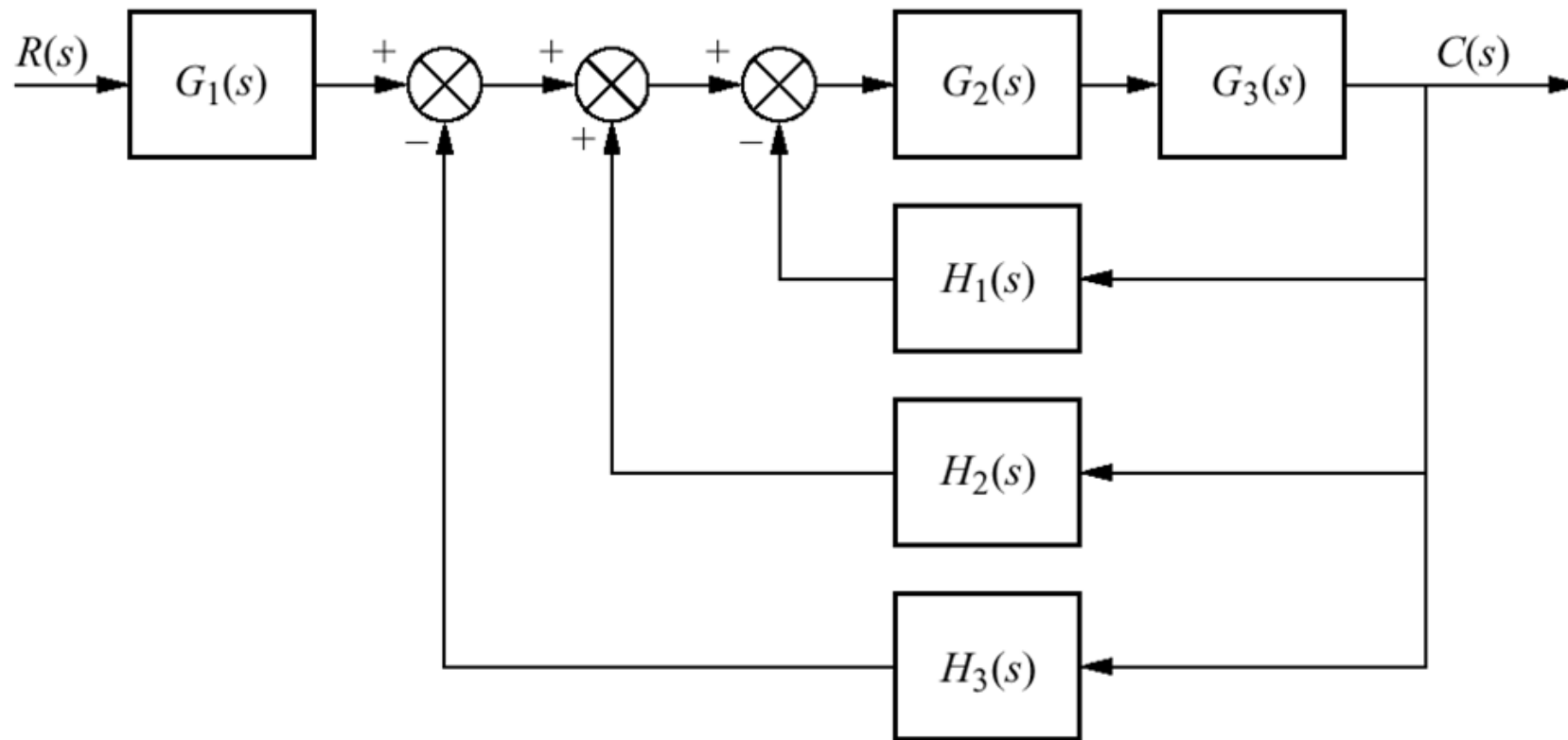
Resposta devido à aplicação simultânea das duas entradas

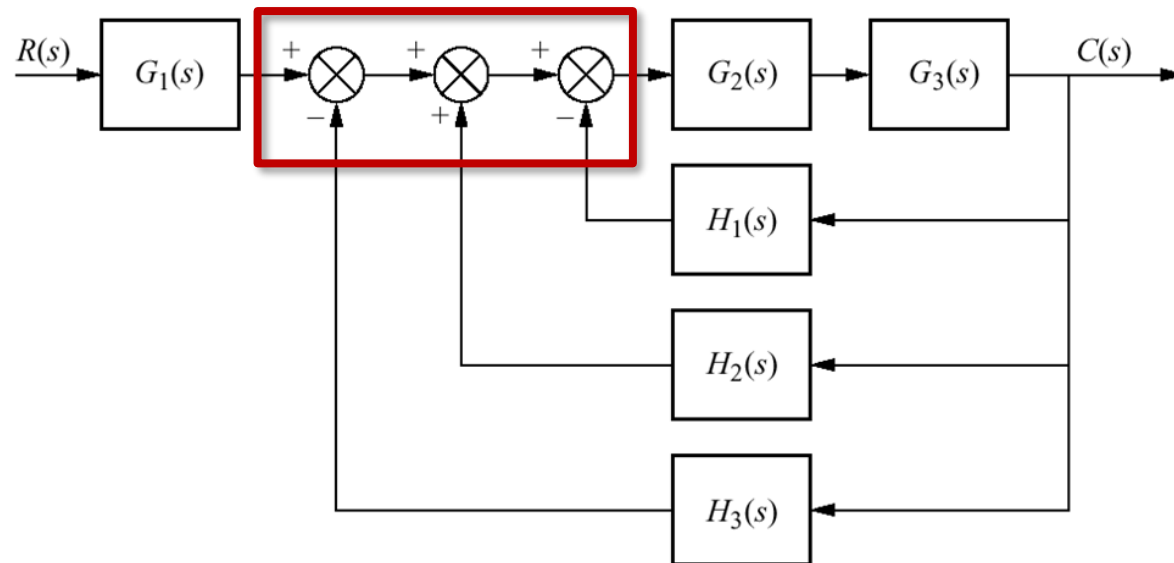
$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} P(s) + \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} X(s)$$

$$Y(s) = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} [G_1(s)X(s) + P(s)]$$

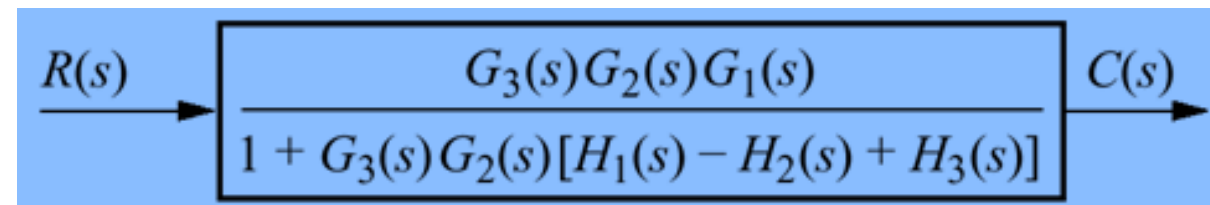
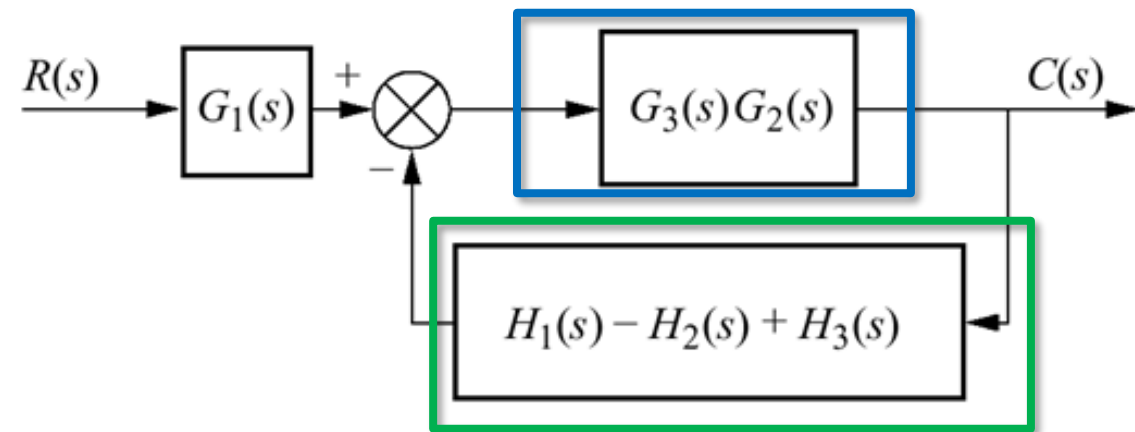
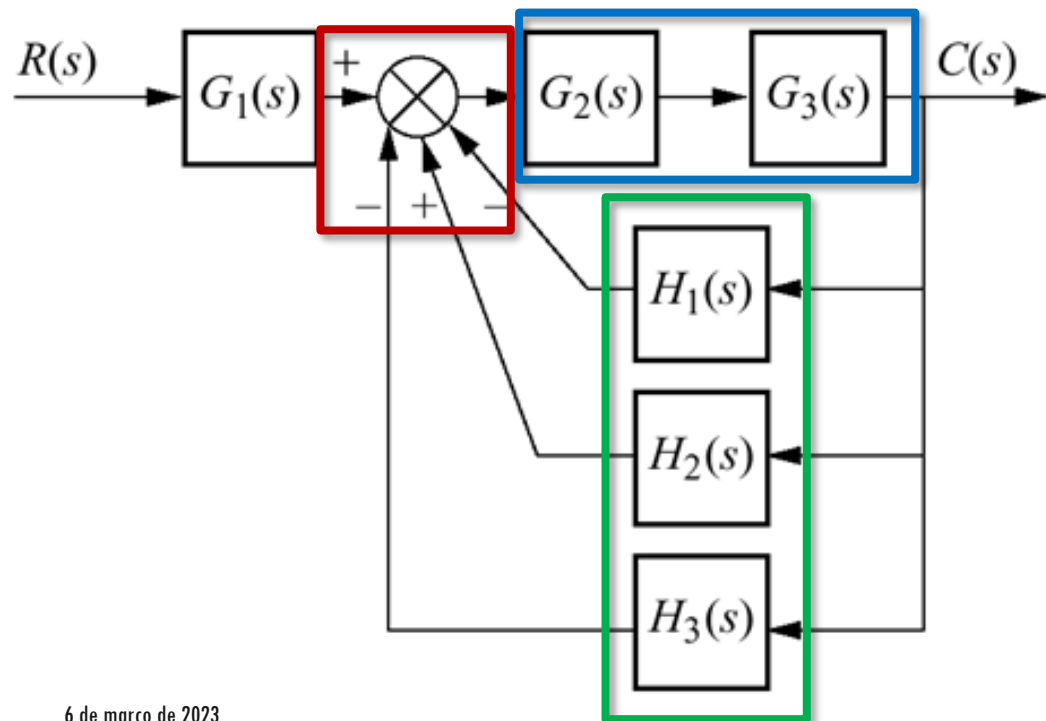
SIMPLIFICAÇÃO DE DIAGRAMA DE BLOCOS

1. Reduzir o seguinte diagrama de blocos para um único bloco



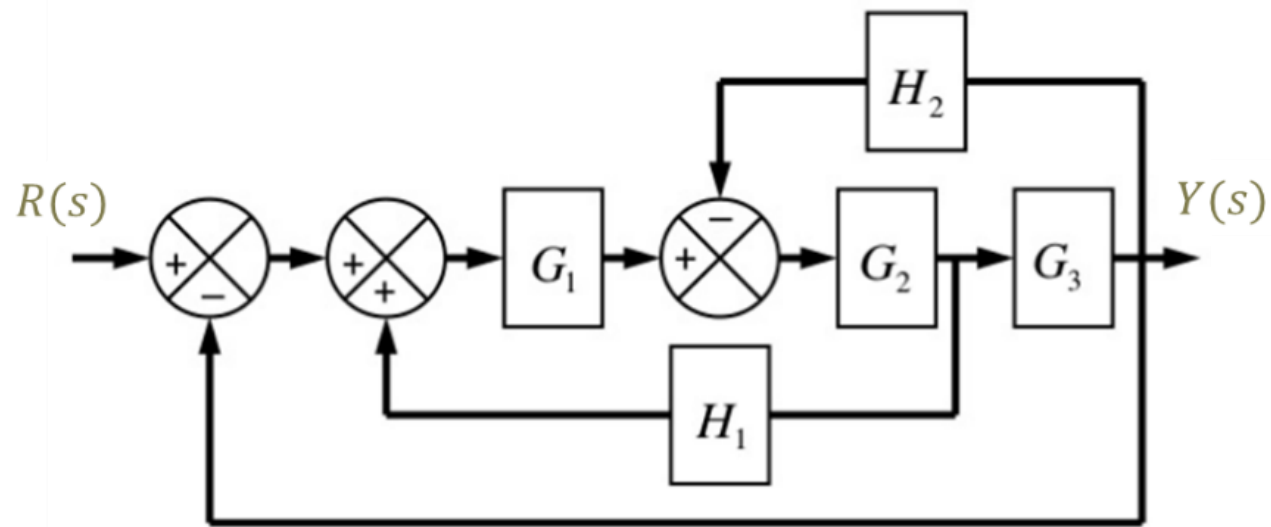


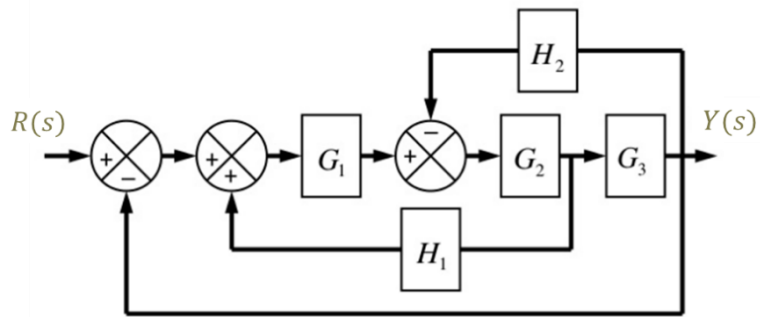
Série (azul) e paralelo (verde)



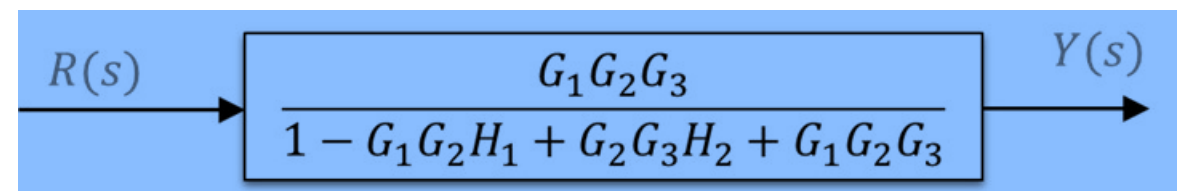
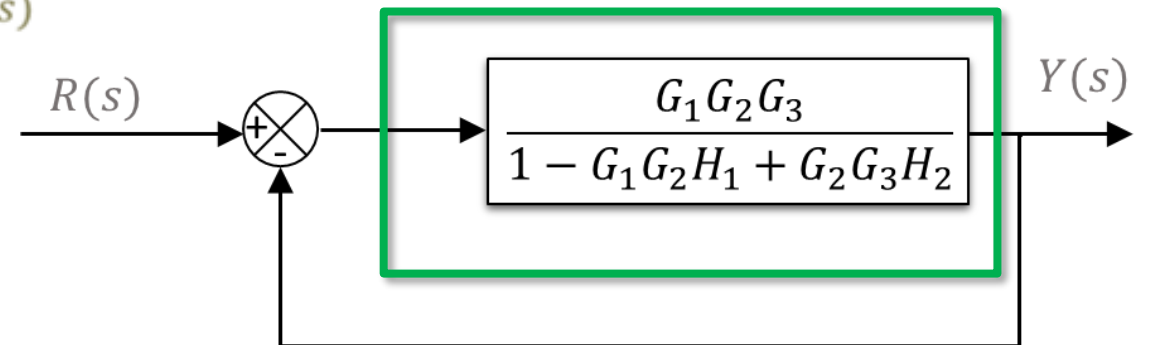
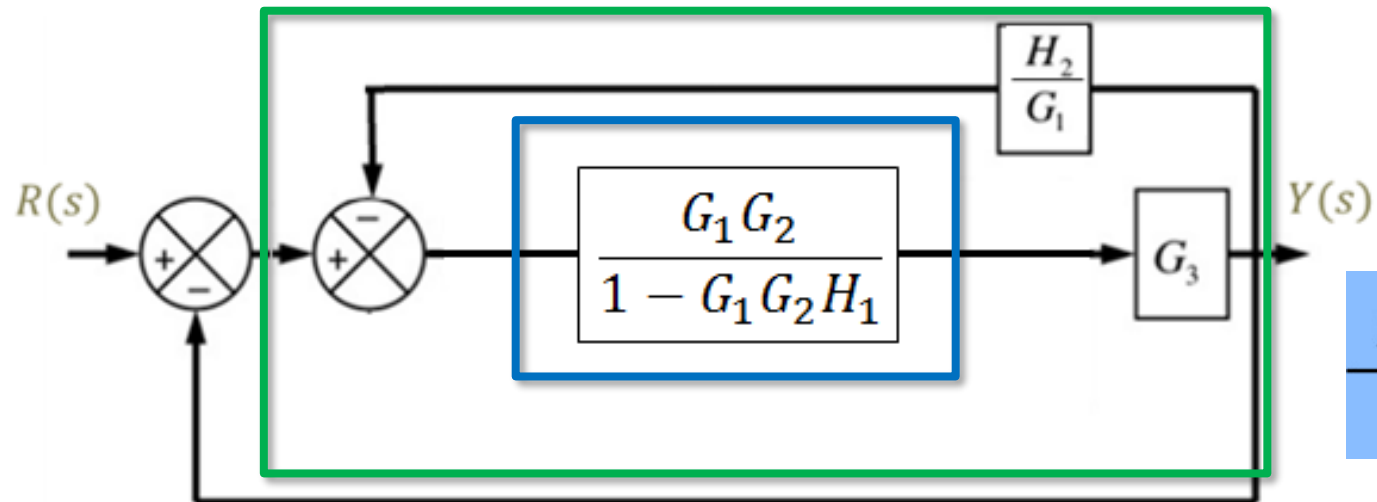
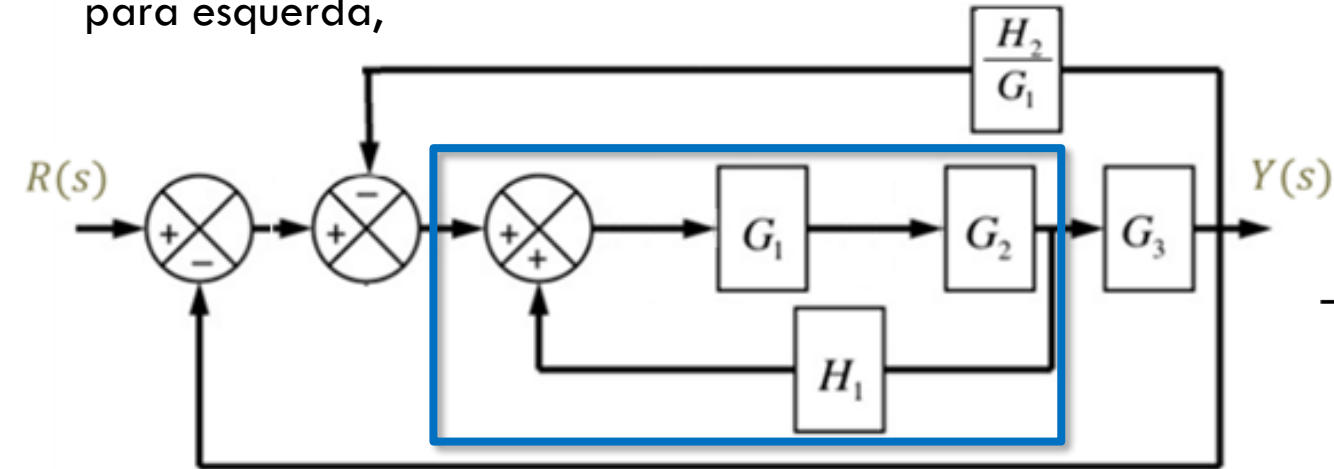
CONT...

2. Reduzir o seguinte diagrama de blocos para um único bloco

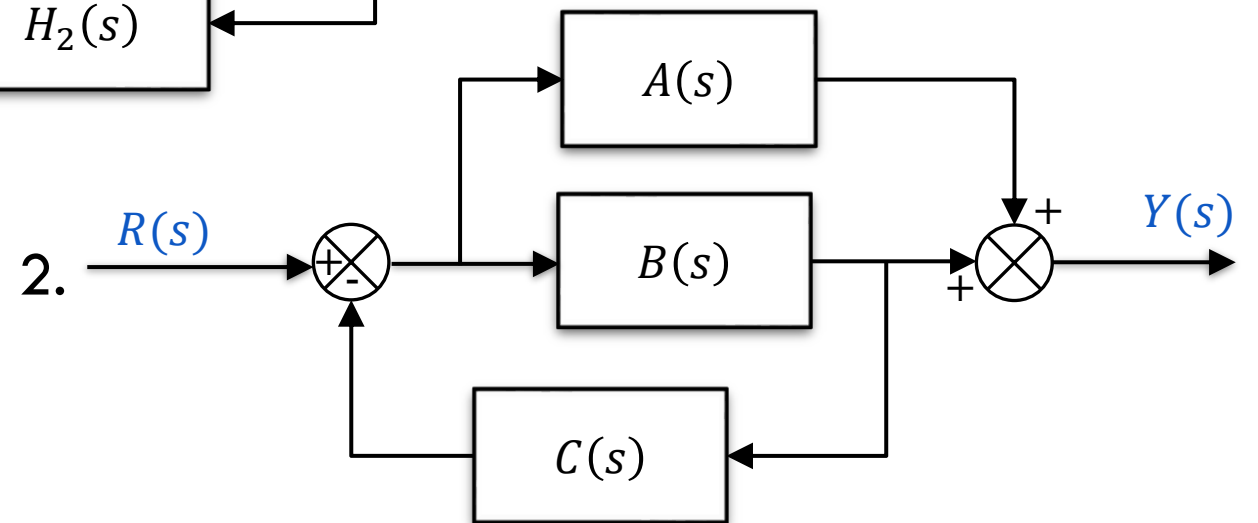
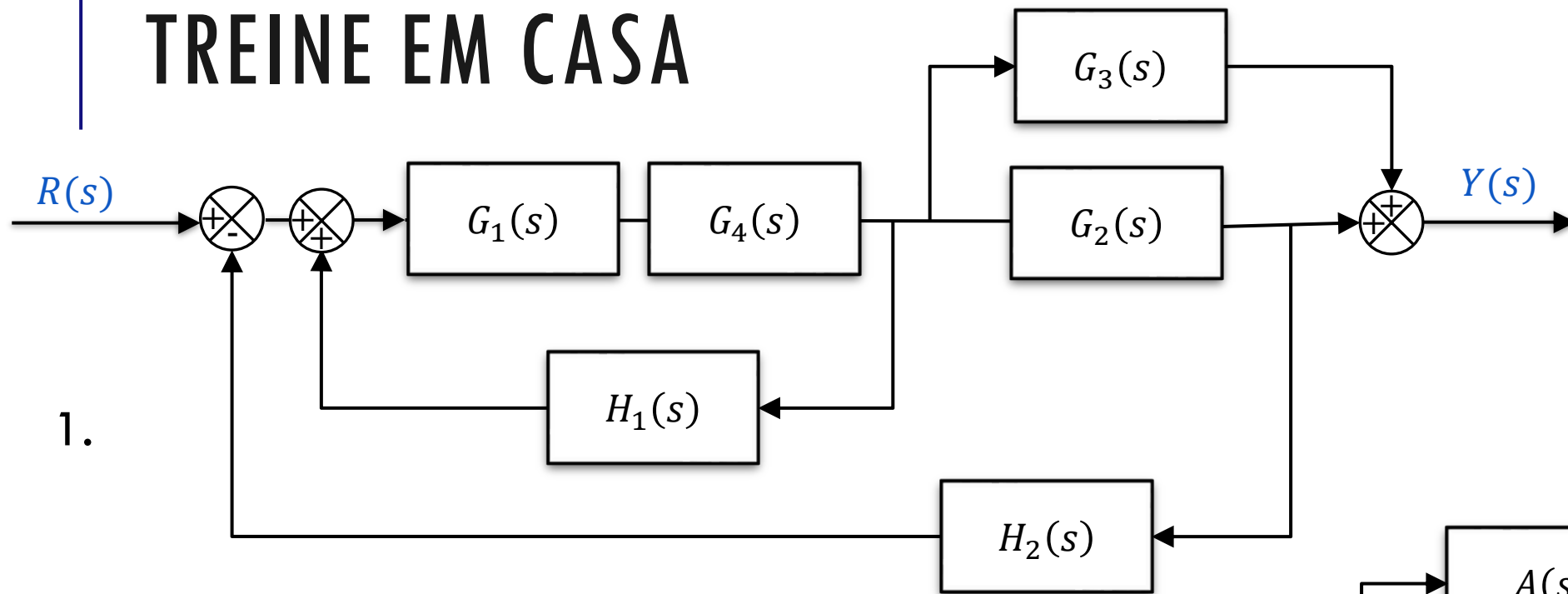




Move-se o ponto de soma do laço com H_2 para esquerda,

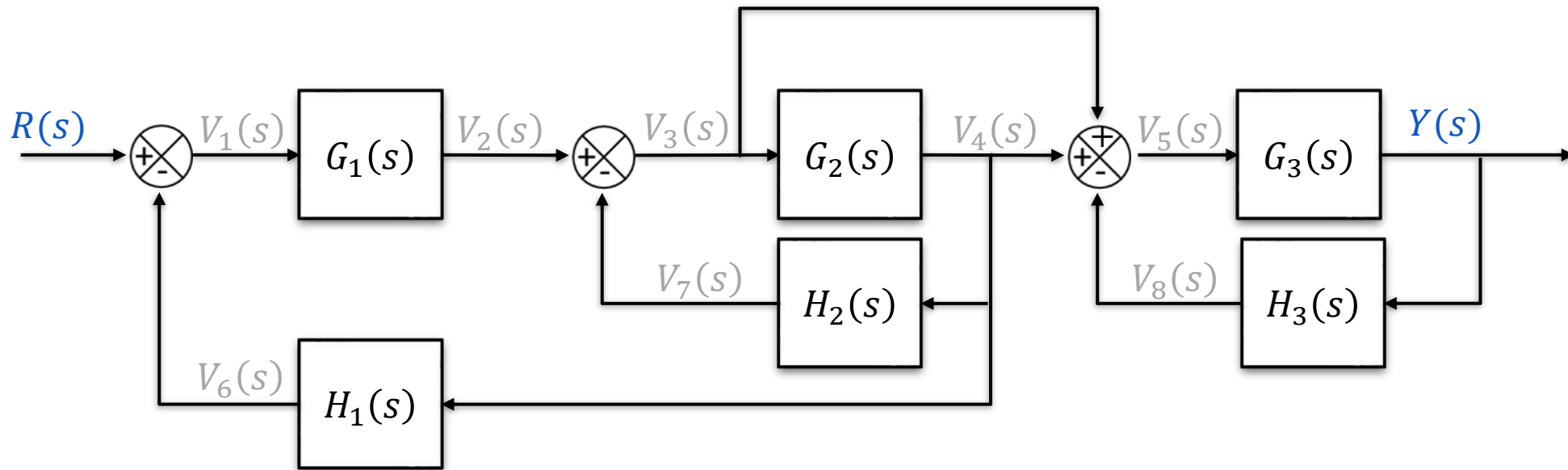


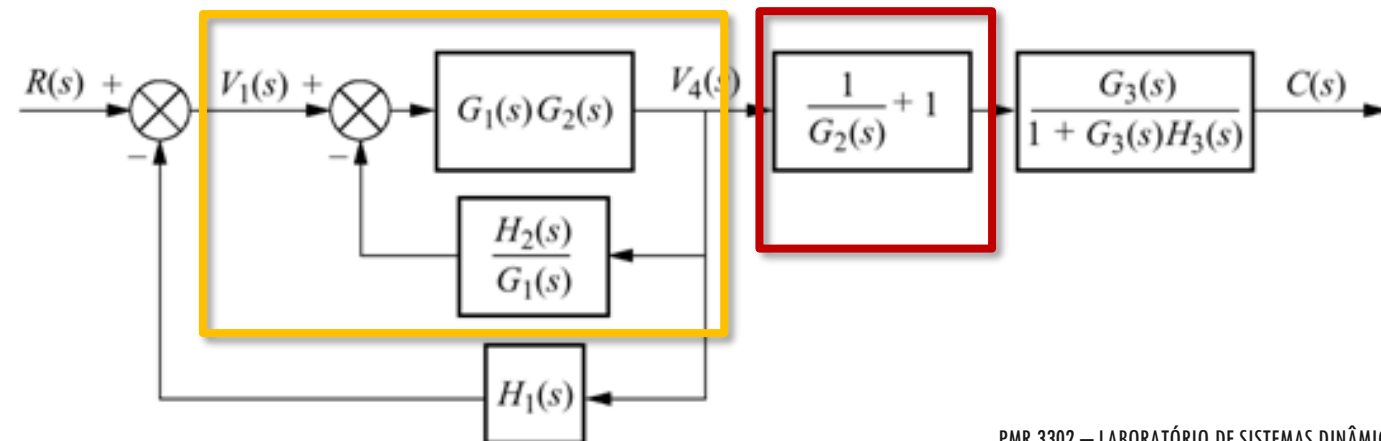
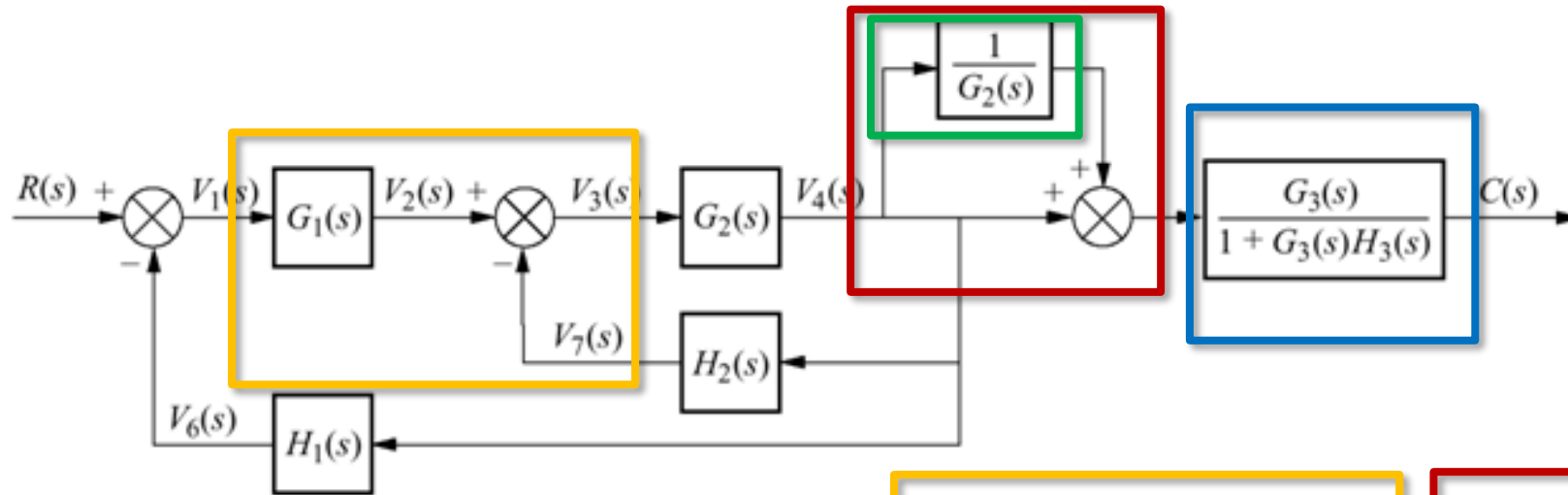
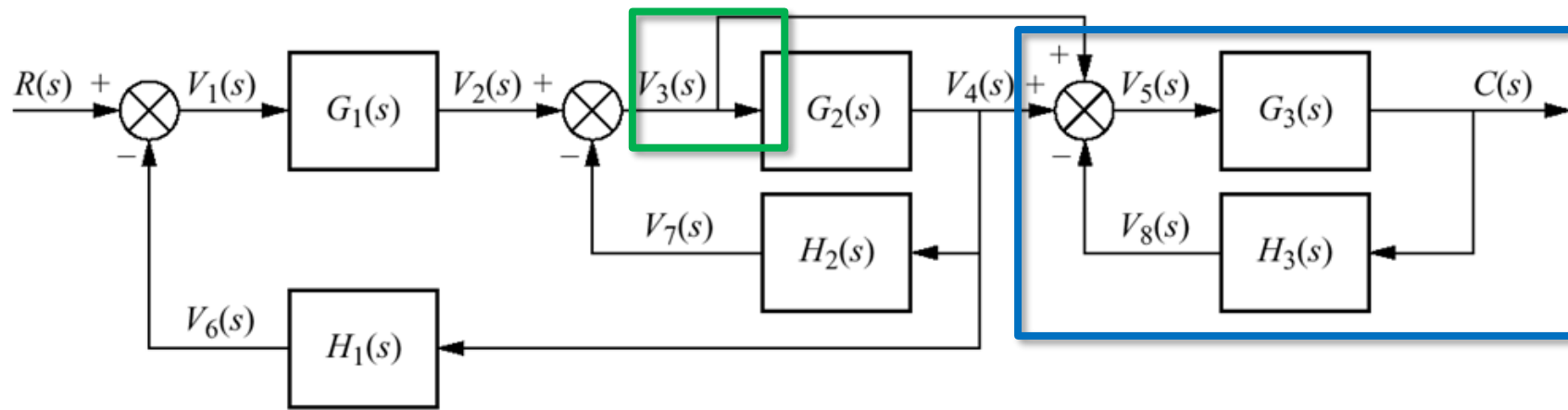
TREINE EM CASA

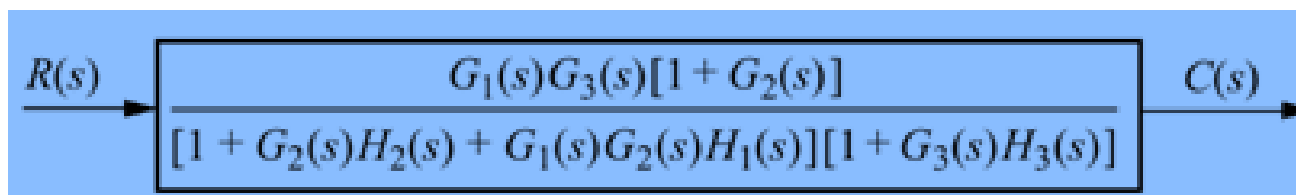
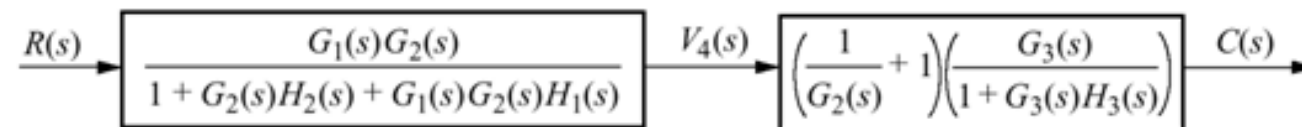
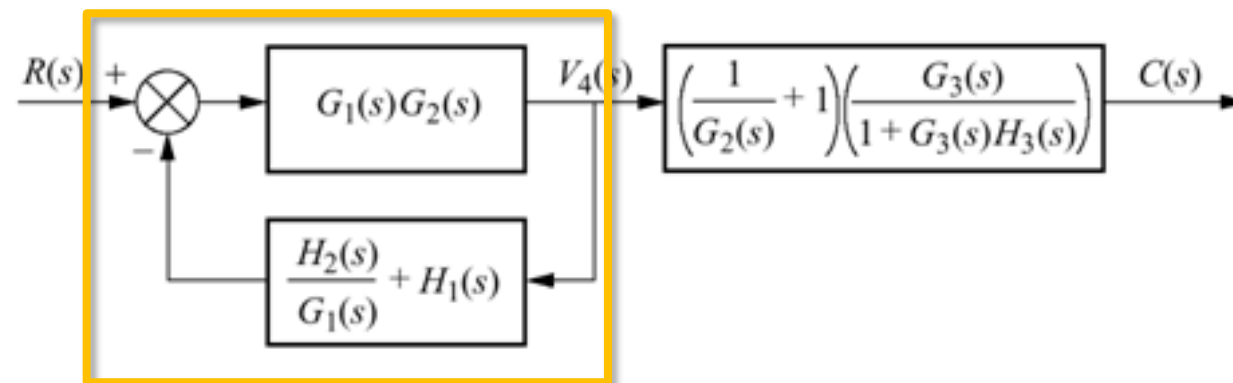
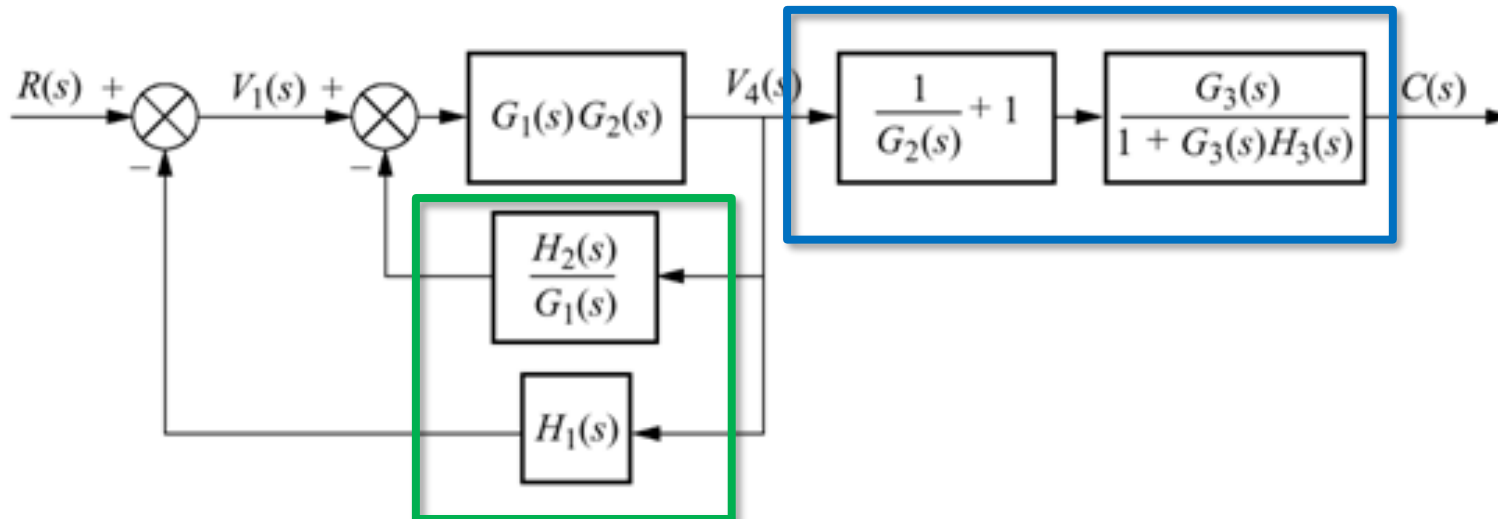


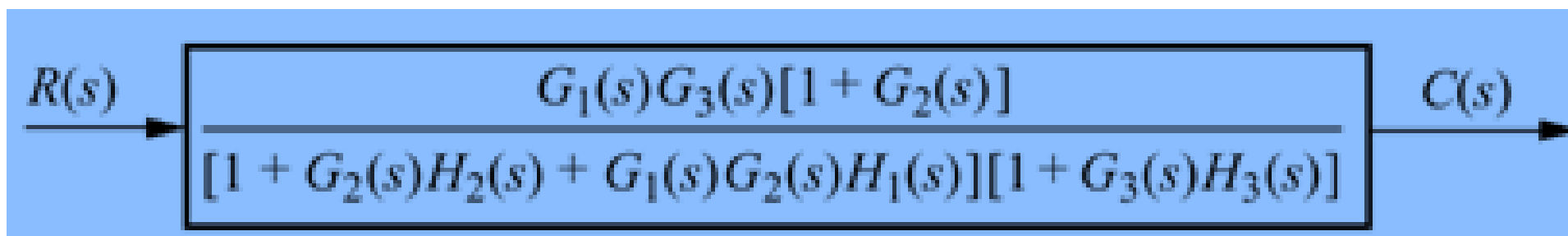
CONT...

3. Reduzir o seguinte diagrama de blocos para um único bloco









Mas, o que
é isso???



OCTAVE...

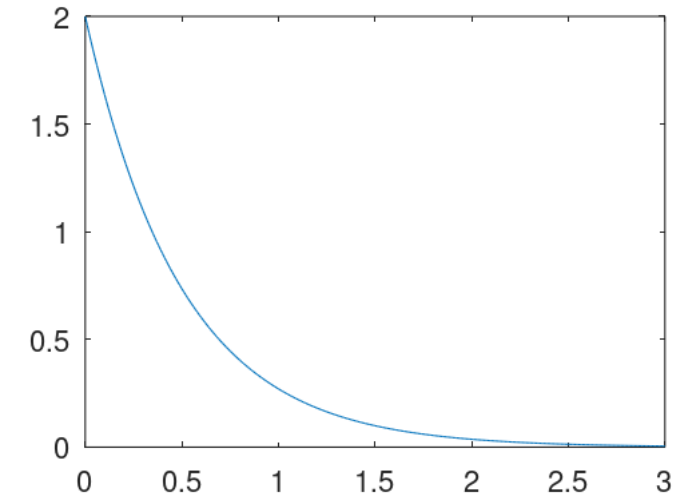
Um método numérico para encontrar a resposta para uma entrada específica através dos comandos,

- `step`
- `impulse`

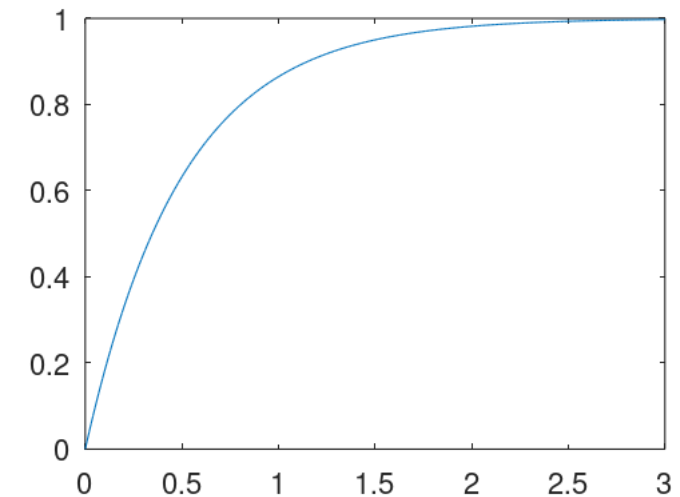
$$H(s) = \frac{2}{s+2}$$

```
num = 2; den = [1 2];
t = 0:3/300:3; % 3 s de simulacao
sys=tf(num,den)
y = impulse(sys,t);
plot(t,y)
%Faltam coisas...
%
y = step(sys,t);
plot(t,y)
%
```

Resposta ao impulso

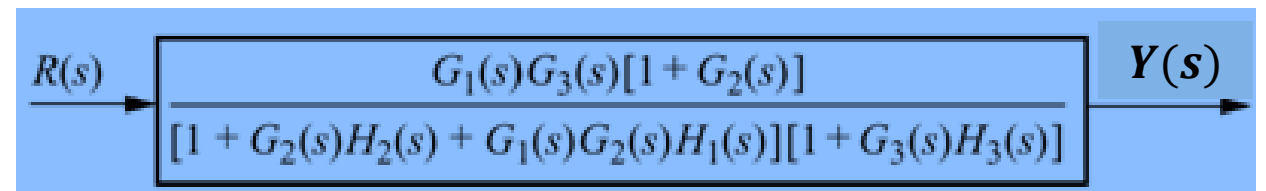
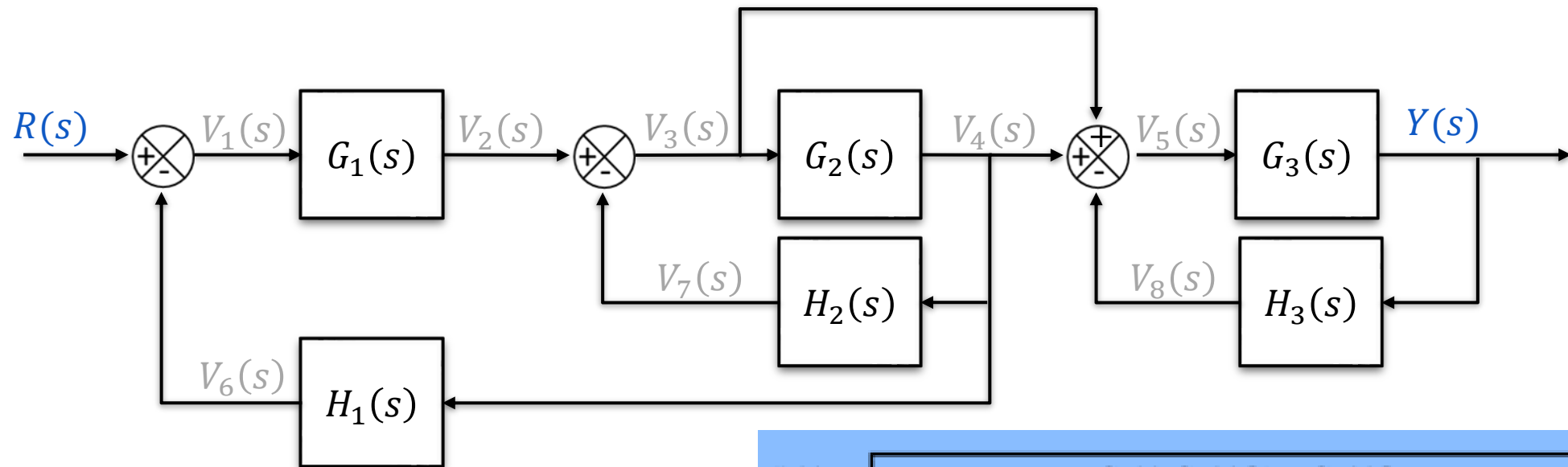


Resposta ao degrau



E AGORA...

E qual a resposta do sistema a uma função impulso, para as funções de transferência abaixo?



$$G_1(s) = \frac{1}{s+1} \quad G_2(s) = \frac{1}{s+2} \quad G_3(s) = \frac{1}{s+3} \quad H_1(s) = 4 \quad H_2(s) = 8 \quad H_3(s) = 12$$

```

syms Y t s
G1num = 1; G1den = [1 1];
G1=tf(G1num, G1den)
G2num = 1; G2den = [1 2];
G2=tf(G2num, G2den)
G3num = 1; G3den = [1 1];
G3=tf(G3num, G3den)

H1num = 4; H1den = 1;
H1=tf(H1num, H1den)
H2num = 8; H2den = 1;
H2=tf(H2num, H2den)
H3num = 12; H3den = 1;
H3=tf(H3num, H3den)

G=(G1*G3*(1+G2))/((1+G2*H2+G1*G2*H1)*(1+G3*H3))
t = 0:3/300:3; % 3 s de simulacao
%resposta ao impulso
y = impulse(G,t);
plot(t,y)
title('Resposta ao impulso')

figure
y = step(G,t);
plot(t,y)
title('Resposta ao degrau')

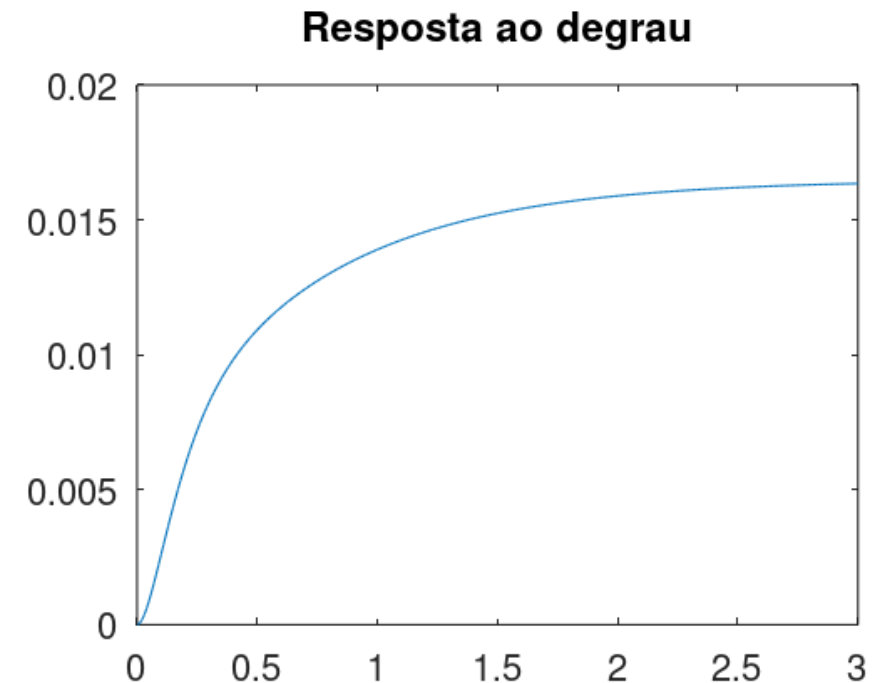
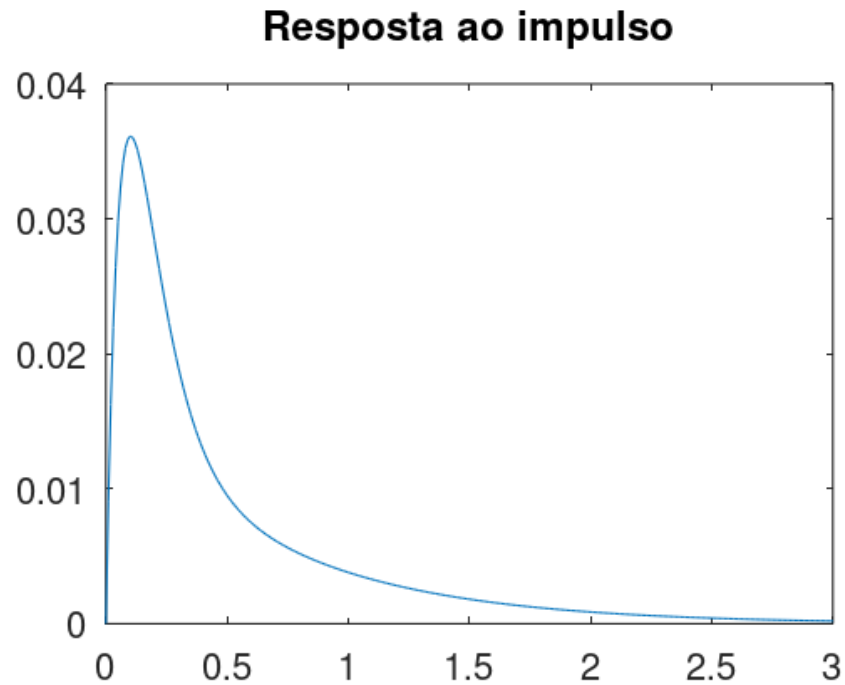
```

- Transfer function 'G' from input 'u1' to output ...

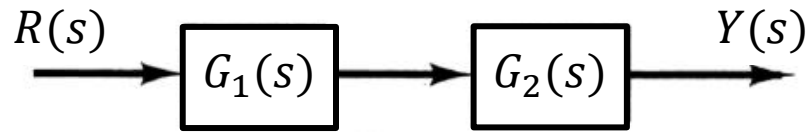
$$s^5 + 9 s^4 + 31 s^3 + 51 s^2 + 40 s + 12$$

y1: -----

$$s^7 + 30 s^6 + 314 s^5 + 1448 s^4 + 3425 s^3 + 4346 s^2 + 2812 s + 728$$

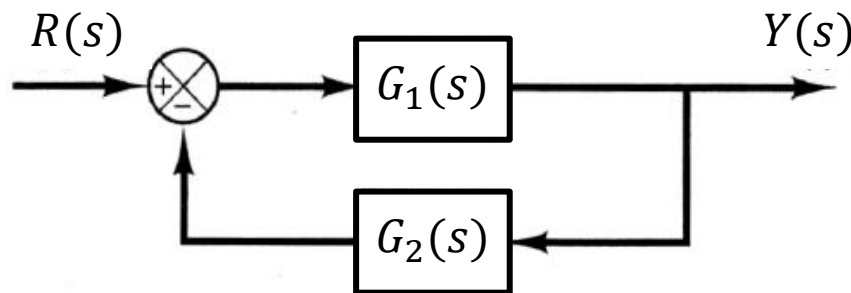
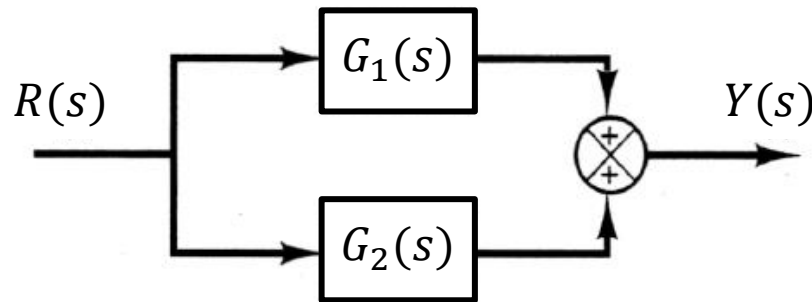


CASCATA, PARALELO E COM REALIMENTAÇÃO USANDO MATLAB/OCTAVE



$$G_1(s) = \frac{num1}{den1}$$

$$G_2(s) = \frac{num2}{den2}$$



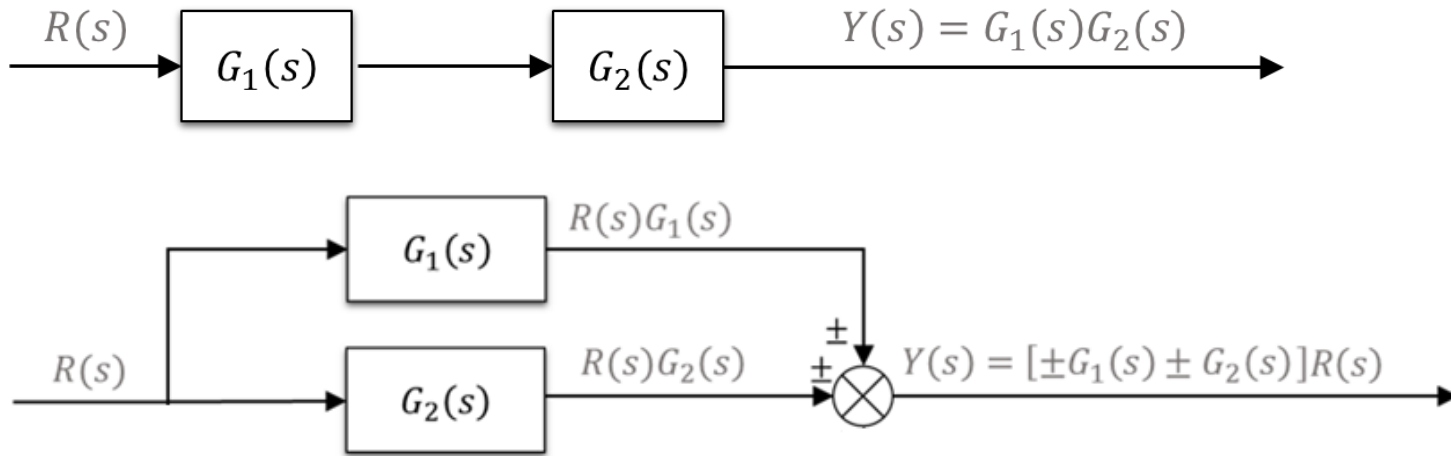
Matlab ou Octave

```
[num, den] = series(num1,den1,num2,den2)
```

```
[num, den] = parallel(num1,den1,num2,den2)
```

```
[num, den] = feedback(num1,den1,num2,den2)
```

MALHA ABERTA – SISTEMAS EM SÉRIE E PARALELO



As funções de transferência são,

$$G_1(s) = \frac{10}{s^2 + 2s + 10} = \frac{num1}{den1}$$

$$G_2(s) = \frac{5}{s + 5} = \frac{num2}{den2}$$

```
%% Malha aberta
num1=[10]; den1= [1 2 10];
num2=[5]; den2=[1 5];
sys1=tf(num1,den1); sys2=tf(num2,den2);
%malha aberta - sistemas em serie
G1G2serie=series(sys1,sys2)
%malha aberta - sistemas em paralelo
G1G2parallel=parallel(sys1,sys2)
```

SISTEMA COM FEEDBACK

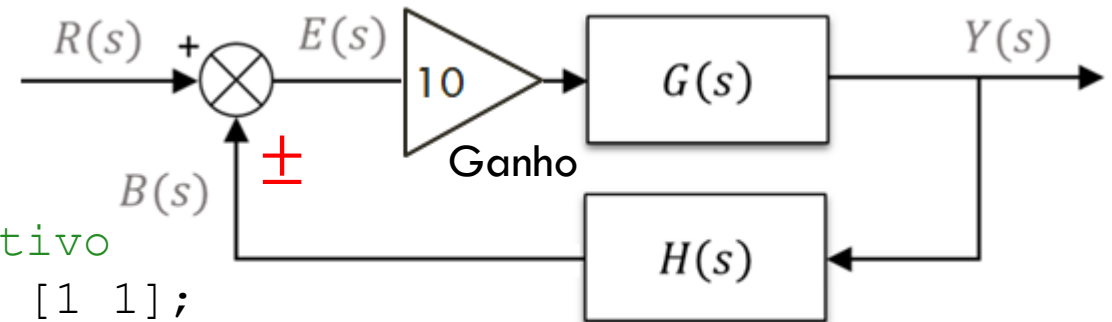
```
>> sys = feedback(sys1,sys2)
>> sys = feedback(sys1,sys2,+1)
```

para feedback negativo
para feedback positivo

$$G(s) = \frac{1}{s+1} = \frac{num1}{den1} = sys1$$

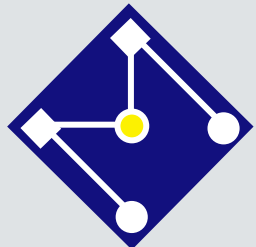
$$H(s) = \frac{1}{s+2} = \frac{num2}{den2} = sys2$$

```
%%Malha fechada
% feedback positivo
num1=[1]; den1= [1 1];
num2=[1]; den2=[1 2];
sys1=tf(num1,den1); sys2=tf(num2,den2)
FeedPos = feedback(10*sys1,sys2,+1)
% feedback negativo
FeedNeg = feedback(10*sys1,sys2)
```



P. 124 APOSTILHA

	Transformação	Equação	Diagrama em bloco	Diagrama em bloco equivalente
1	Combinação de blocos em cascata	$Y = (P_1 P_2)X$		
2	Combinação de blocos em paralelo; ou eliminação de uma malha direta	$Y = P_1 X \pm P_2 X$		
3	Remoção de um bloco de um percurso direto	$Y = P_1 X \pm P_2 X$		
4	Eliminação de uma malha de realimentação	$Y = P_1(X \mp P_2 Y)$		
5	Remoção de um bloco de uma malha de realimentação	$Y = P_1(X \mp P_2 Y)$		
6a	Reorganizando os pontos de soma	$Z = W \pm X \pm Y$		
6b	Reorganizando os pontos de soma	$Z = W \pm X \pm Y$		
7	Movendo um ponto de soma à frente de um bloco	$Z = PX \pm Y$		

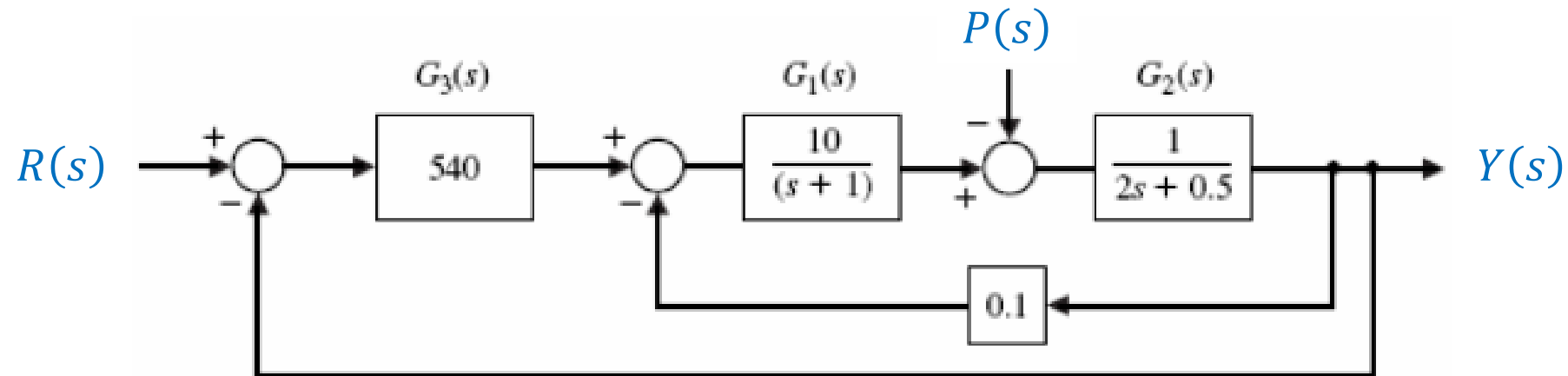


LIÇÃO DE CASA

Para ser entregue no Moodle – até quinta 20:00H

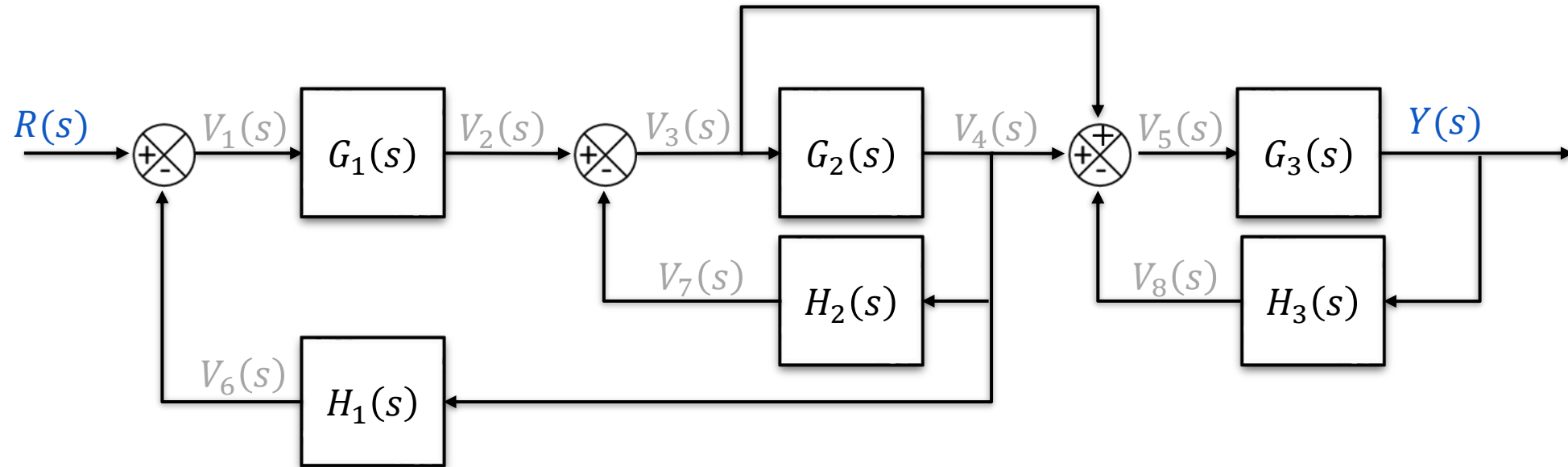
APLICAÇÃO

- Com ajuda do Octave, ache a saída $Y(s)$ do sistema abaixo. Analise a resposta para uma entrada degrau, com perturbação nula.



VOLTE AO NOSSO EXEMPLO E RESPONDA...

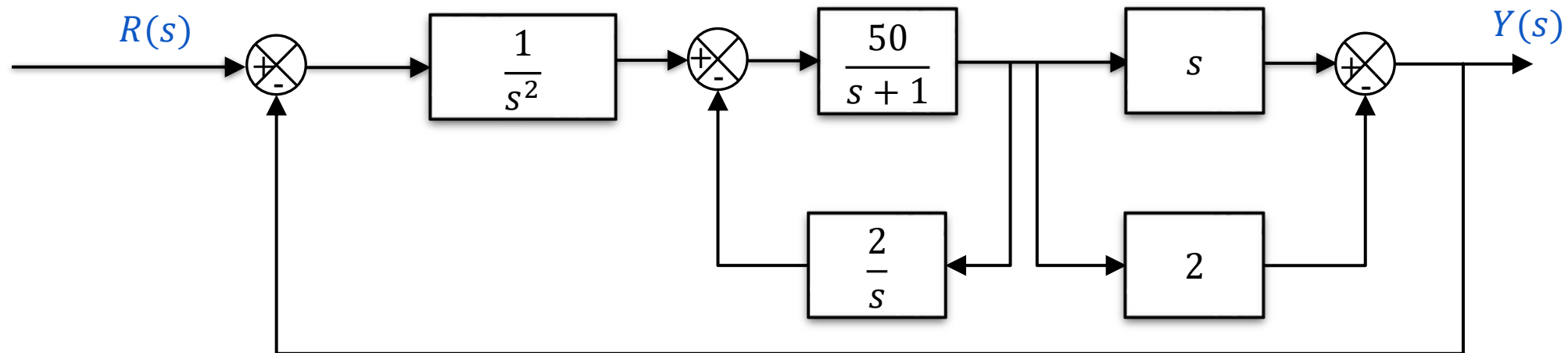
E qual a resposta do sistema anterior a uma função impulso, para as funções de transferência abaixo?



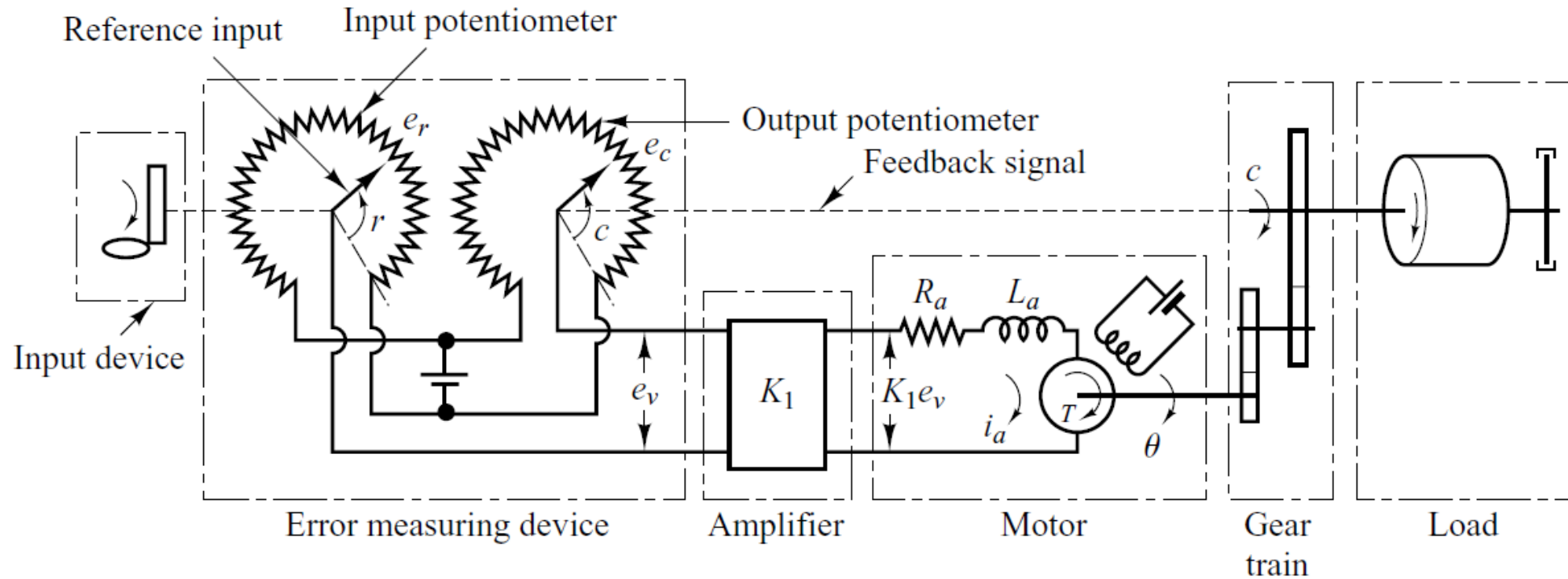
$$G_1(s) = \frac{1}{s+1} \quad G_2(s) = \frac{1}{s+2} \quad G_3(s) = \frac{1}{s+3} \quad H_1(s) = 4 \quad H_2(s) = 8 \quad H_3(s) = 12$$

RESOLVA

Com ajuda do Octave, ache a função de transferência $Y(s)/X(s)$ do sistema abaixo. Qual a resposta a uma função degrau?



OBTER A FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA ENTRE O ERRO E ÂNGULO DO ROTOR



COMANDO DE TENSÃO MOTOR CC IMÃ PERMANENTE

- A equação do circuito equivalente:

$$v_a - e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

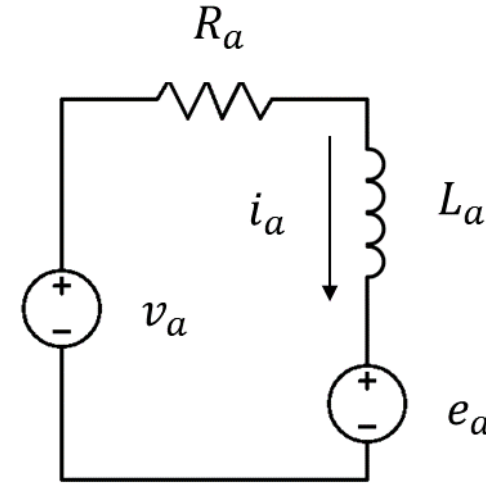
- Sabemos que:

e_a é proporcional a ω_m

i_a é proporcional a T

A equação mecânica do sistema:

$$T - T_L = \underbrace{J_{mec} \frac{d\omega_m}{dt}}_{\text{Inércia}} + \underbrace{B_{mec} \omega_m}_{\text{Atrito viscoso}}$$



$$v_a - e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

$$T_L = K_i i_a - J_{mec} \frac{d\omega_m}{dt} - B_{mec} \omega_m$$

DIAGRAMA DE BLOCOS

