



Disciplina: Controle e Servomecanismos I



Aula: Parte I: Resposta Transitória em outros Sistemas Lineares

Professor: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Turmas 01 e 02 – 2025/1

Rio de Janeiro, 25 de abril de 2025.



Referências

- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2018). Controle Automático, 2ª edição, LTC. (*)
- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2011). Controle Automático, LTC.

(*) Organizado para a 2ª edição, Seções 3.7 a 3.9.

SISTEMAS COM MAIS DE DOIS POLOS

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

- $\text{grau}(D(s)) > 2$

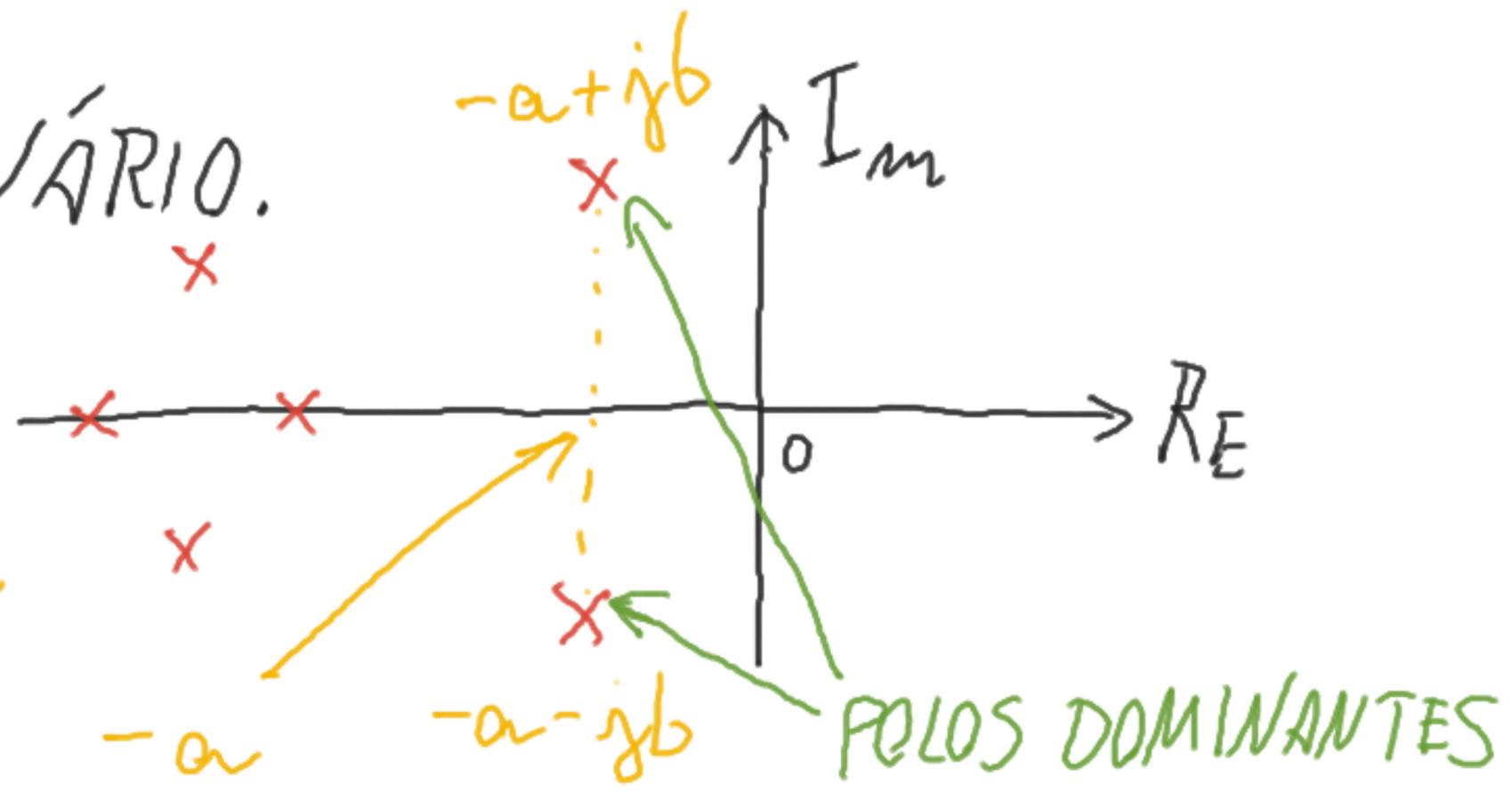
- DECOMPOSIÇÃO EM FRAÇÕES PARCIAIS:

$$G(s) = \sum_i \frac{c_i}{s - a_i} + \sum_j \frac{K_j \omega_j + d_j s}{s^2 + 2\zeta_j \omega_j s + \omega_j^2}$$

• POLOS DOMINANTES

GERALMENTE SÃO OS MAIS LENTOS,
OU SEJA, OS MAIS PRÓXIMOS DO
EIXO IMAGINÁRIO.

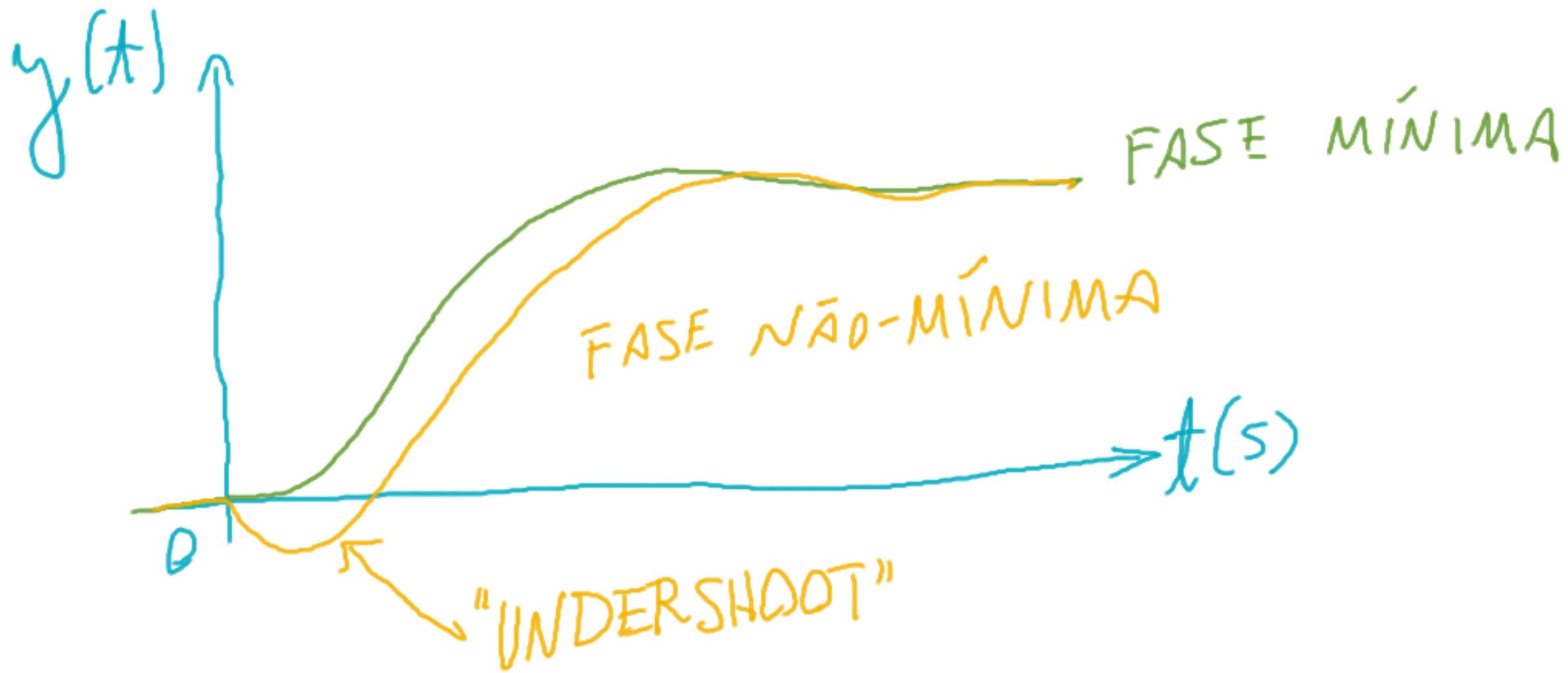
$a \rightarrow$ o menor módulo
da parte real
 $e^{-at} \sin(bt + \phi) \rightarrow$ decaimento
mais lento



- **PARADIGMA:** UM POLO REAL OU DOIS POLOS COMPLEXOS CONJUGADOS SÃO DOMINANTES.
- OS DEMAIS POLOS SERÃO DESPREZADOS NUMA PRIMEIRA ANÁLISE PARA SIMPLIFICÁ-LA.

EFEITOS DOS ZEROS

- GERALMENTE OS ZEROS INFLUENCIAM MENOS O TRANSITÓRIO DO QUE OS POLOS.
- OS EFEITOS DOS ZEROS SÃO MENOS FÁCEIS DE PREVER.
- ASSIM, GERALMENTE SÃO DESPREZADOS.
- ZEROS PODEM CAUSAR "OVERSHOOT".
- ZEROS DE FASE NÃO MÍNIMA (ZEROS NO SEMIPLANO COMPLEXO DIREITO) PODEM INSTABILIZAR SISTEMAS EM MALHA FECHADA.



RESPOSTA AO DEGRAU

SISTEMAS COM ATRASO

ATRASO PURO:

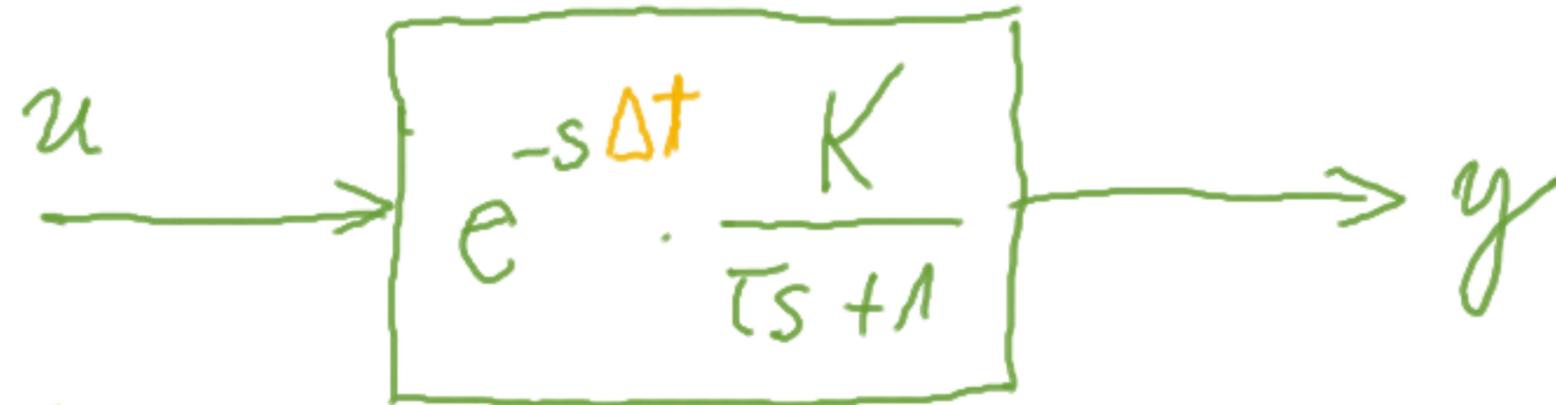


$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ e^{-s\Delta t} \cdot u(s) \right\} = u(t - \Delta t)$$

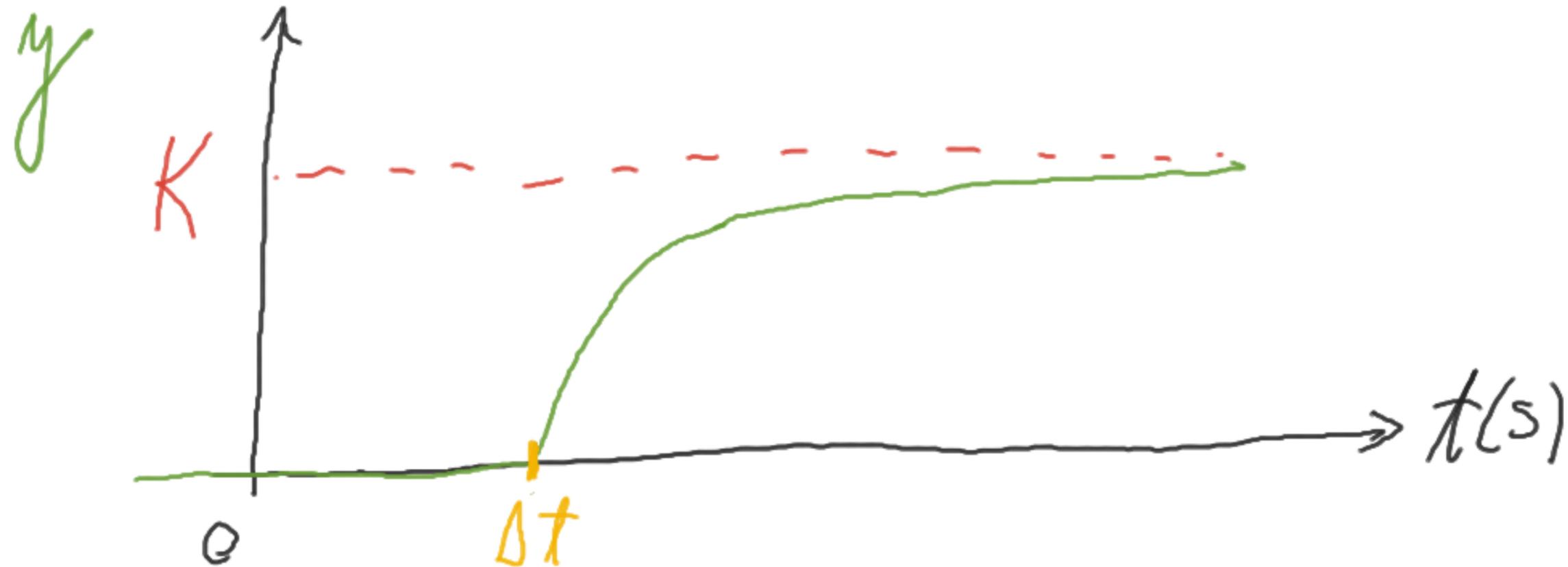


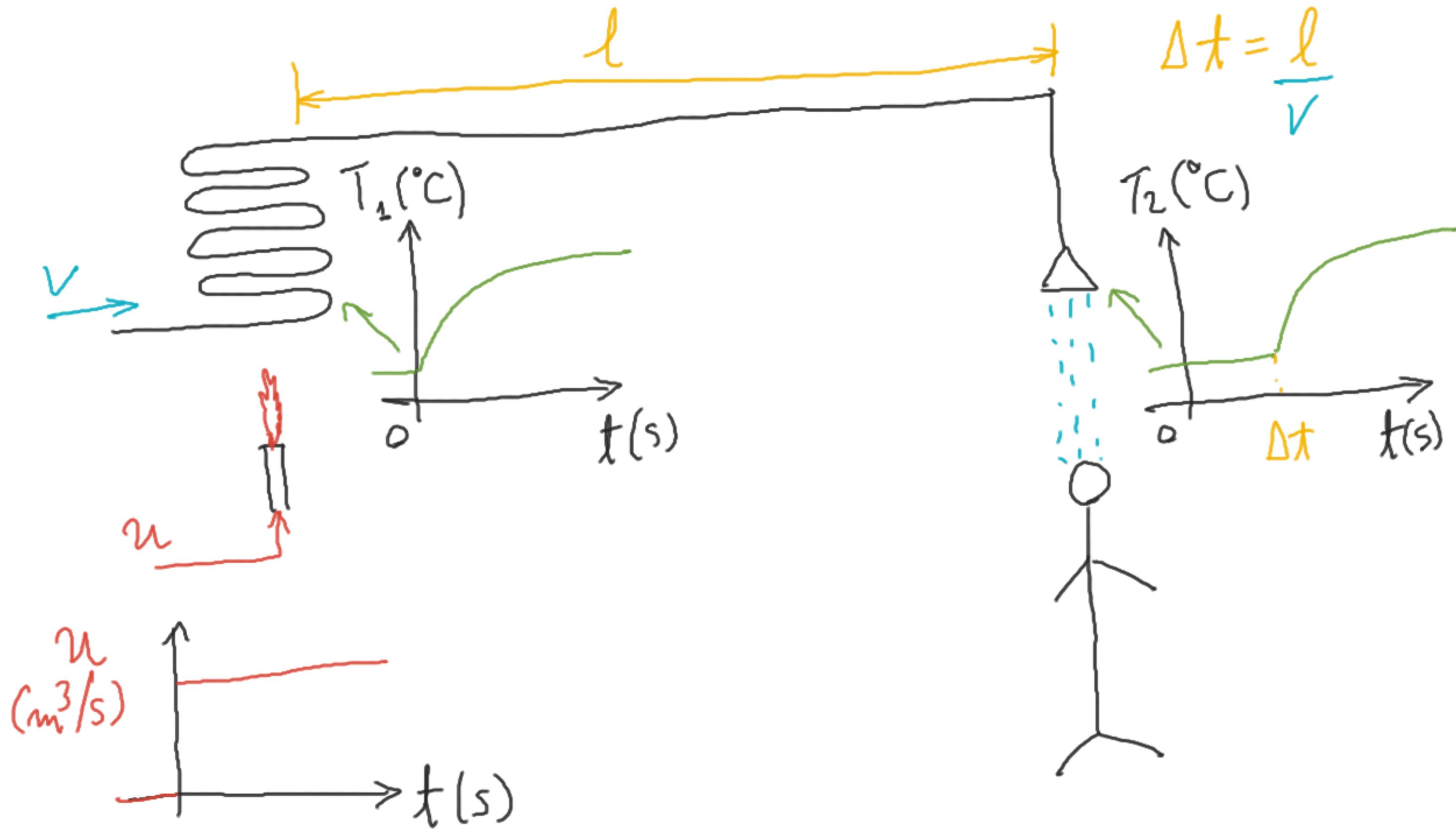
Δt é o tempo de atraso

ATRASSO NUM SISTEMA DE 1ª ORDEM:



RESPOSTA AO DEGRAU UNITÁRIO;





$$\Delta t = \frac{l}{v}$$

T_1 ($^{\circ}\text{C}$)

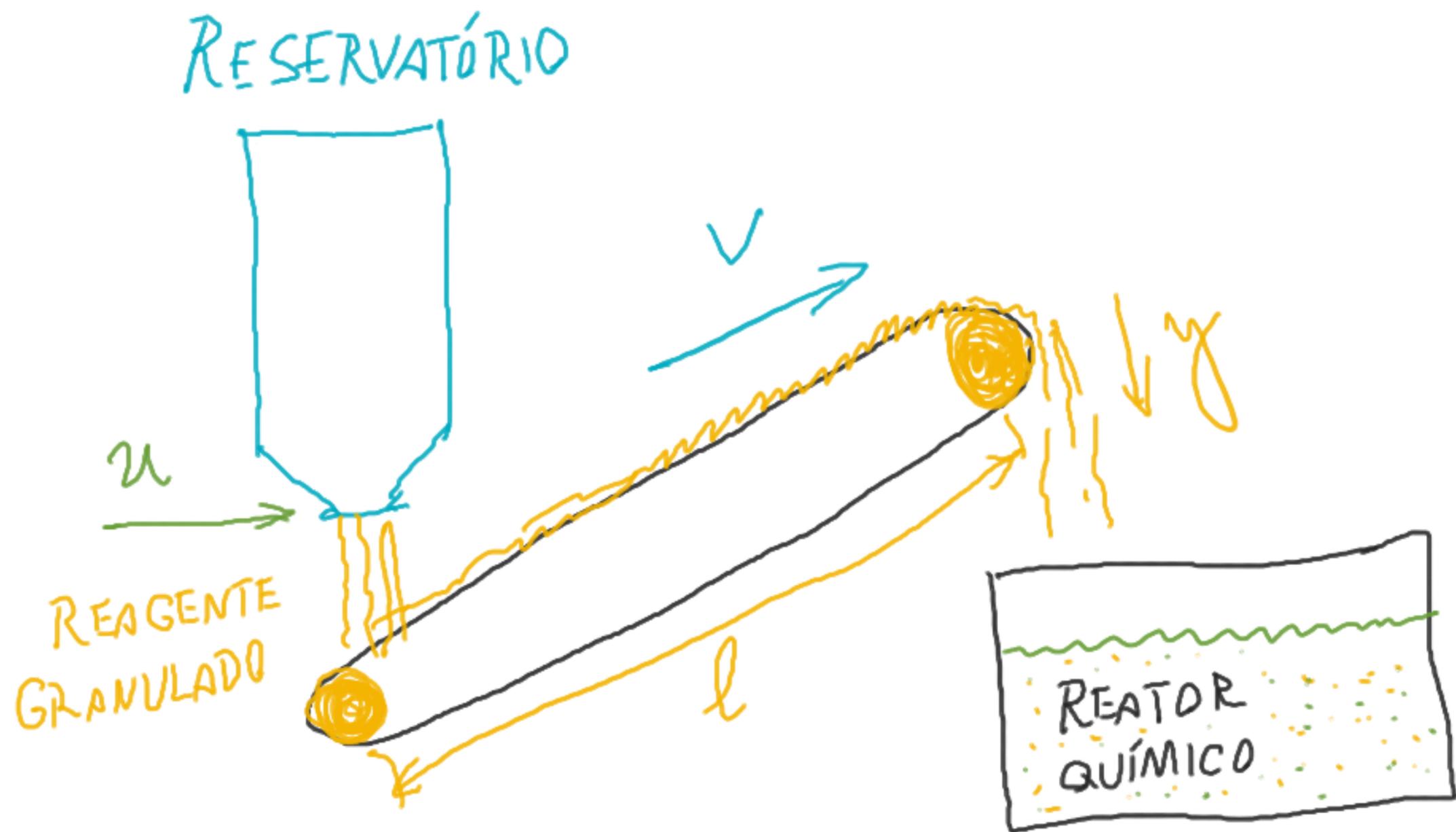
t (s)

T_2 ($^{\circ}\text{C}$)

t (s)

u
(m^3/s)

t (s)



$$\Delta t = \frac{l}{v}$$



Disciplina: Controle e Servomecanismos I



Aula: Parte II: Sistemas de Controle em Malha Fechada

Professor: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Turmas 01 e 02 – 2025/1

Rio de Janeiro, 25 de abril de 2025.

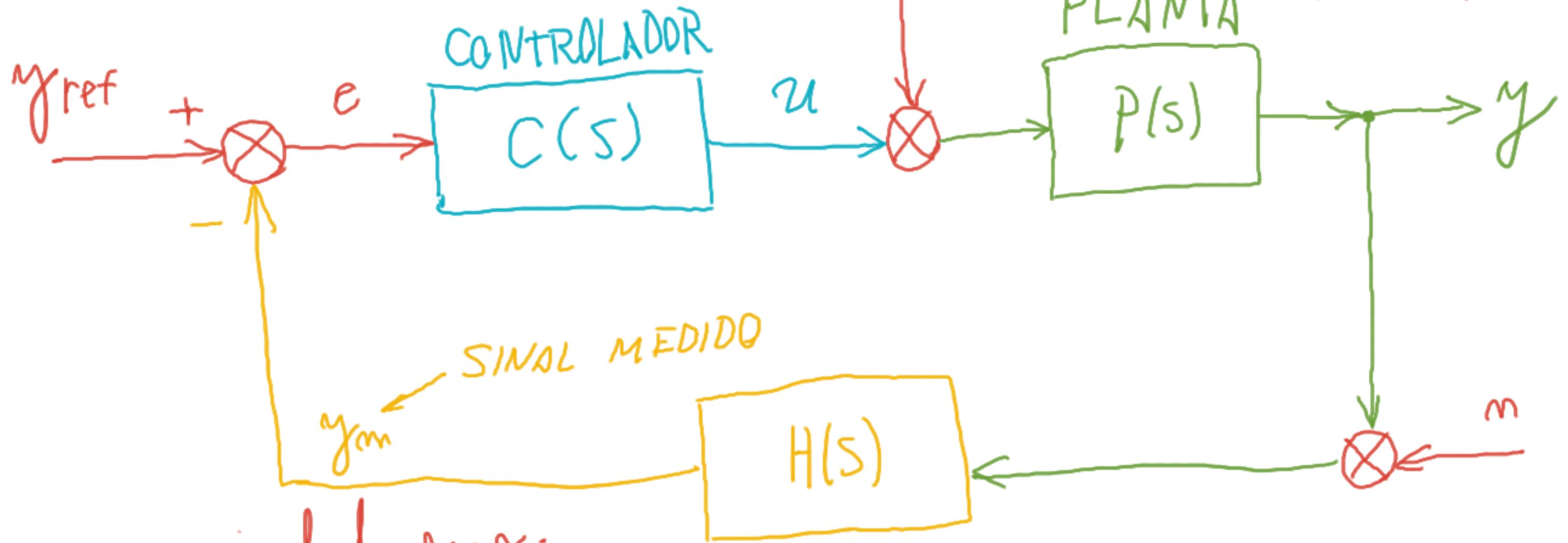


Referências

- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2018). Controle Automático, 2ª edição, LTC. (*)
- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2011). Controle Automático, LTC.

(*) Organizado para a 2ª edição, Seção 3.10.

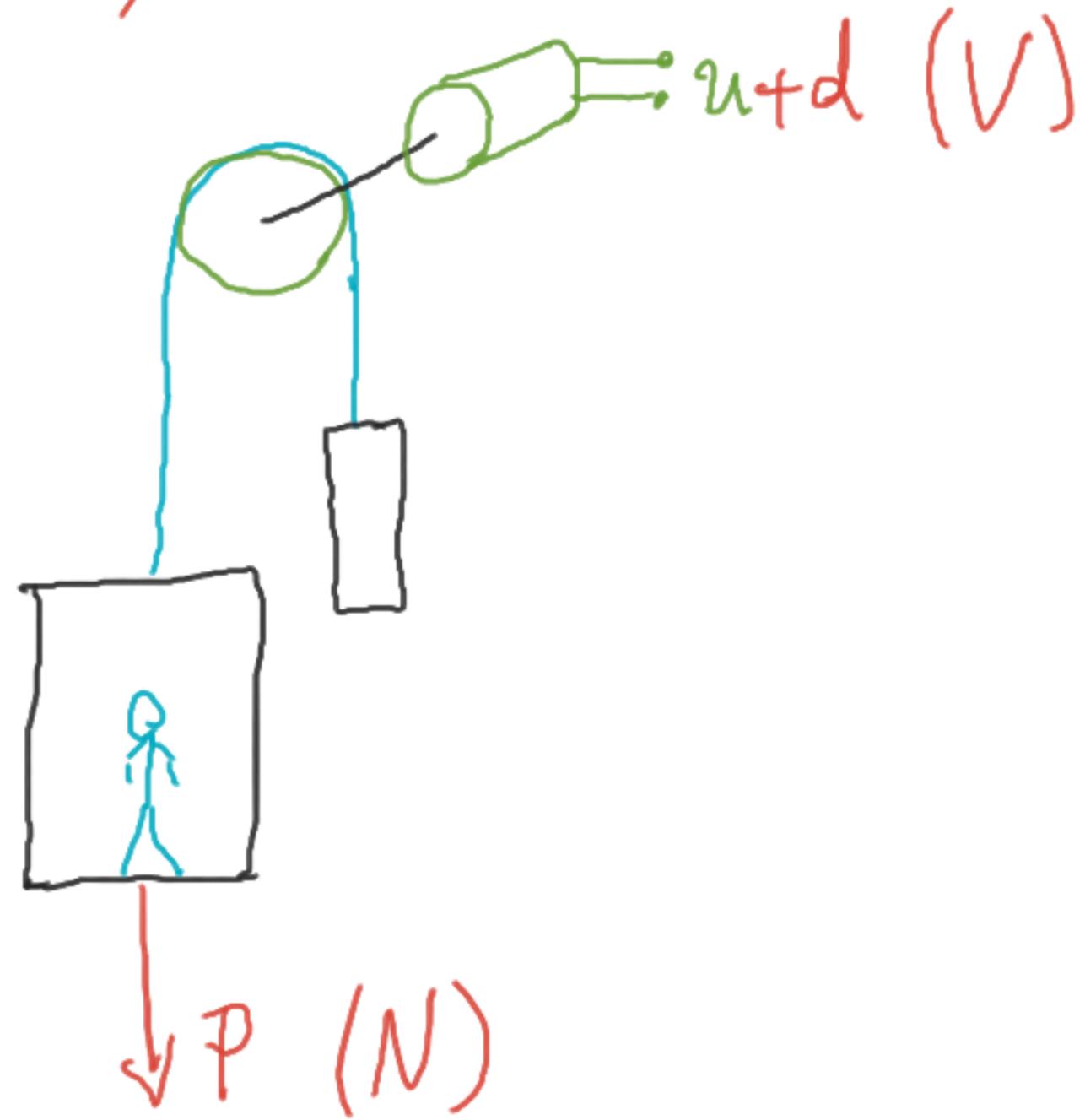
MALHA DE CONTROLE BÁSICA LINEAR MONOVARIÁVEL



e é o sinal de erro;
 y_{ref} é o sinal de referência;
 u é o sinal de controle;

SENSOR
 y é a saída da planta;
 d é a perturbação de entrada ("distúrbio");
 m é o ruído de medição ("noise").

PERTURBAÇÃO DE ENTRADA



$$y(s) = P(s) [d(s) + u(s)]$$
$$= P(s) [d(s) + C(s) e(s)]$$

$$= P(s) [d(s) + C(s) (y_{ref}(s) - y_m(s))]]$$

$$= P(s) [d(s) + C(s) (y_{ref}(s) - H(s) (u(s) + y(s)))]]$$

$$\Rightarrow \underbrace{y(s) + P(s) C(s) H(s) y(s)}_{[1 + P(s) C(s) H(s)] y(s)} = P(s) [d(s) + C(s) (y_{ref}(s) - H(s) u(s))]]$$
$$\Rightarrow y = \frac{P [d + C (y_{ref} - H u)]}{1 + PCH}$$

$$G_f(s) := \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)H(s)}$$

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA MALHA FECHADA

$$G_m(s) := \frac{-P(s)C(s)H(s)}{1 + P(s)C(s)H(s)}$$

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO RUÍDO

$$G_d(s) := \frac{P(s)}{1 + P(s)C(s)H(s)}$$

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA PERTURBAÇÃO

ENTÃO:

$$y(s) = G_f(s)y_{ref}(s) + G_m(s)n(s) + G_d(s)d(s)$$

SE $|P(s)C(s)H(s)| \gg 1$, ENTÃO:

$$G_p^{112} = \frac{\cancel{P} \cancel{C}}{\cancel{P} \cancel{C} H} = \frac{1}{H(s)}$$

$$G_m^{112} = \frac{-\cancel{P} \cancel{C} \cancel{H}}{\cancel{P} \cancel{C} \cancel{H}} = -1$$

$$G_d^{112} = \frac{\cancel{P}}{\cancel{P} C H} = \frac{1}{C(s)H(s)}$$

SE $|C(s)| \rightarrow \infty$, ENTÃO:

$$G_f(s) \approx \frac{1}{H(s)}$$

$$G_m(s) \approx -1$$

$$G_d(s) \approx 0$$

\rightarrow Controladores com ganhos grandes reduzem efeitos de perturbações

SE $H(s) \equiv 1$ (REALIMENTAÇÃO UNITÁRIA) E

$|P(s)C(s)| \gg 1$, ENTÃO:

$$G_f(s) \approx 1$$



Disciplina: Controle e Servomecanismos I



Aula: **Parte III: Otimização, Critérios e Restrições em Engenharia**

Professor: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Turmas 01 e 02 – 2025/1

Rio de Janeiro, 25 de abril de 2025.



Referência

- Krick, E. V. (1978). Introdução à Engenharia, 2ª edição, Livros Técnicos e Científicos.

OTIMIZAÇÃO

EXEMPLO:

AQUISIÇÃO DE UM AUTOMÓVEL

ÓTIMO:

O MELHOR POSSÍVEL,
O MELHOR DENTRO DA
REGIÃO VIÁVEL.

Automóvel	Preço (R\$) ≤ 45k	Consumo de combustível (km/l) MELHOR	Custo anual de manutenção (R\$) MENOR	Potência (HP) ≥ 100	Conforto ≥ ***
UNO	11k	10	1k	50	**
NISSAN SKYLINE	950k	8	90k	565	*****
UP TSI	50k	15	3k	100	***
VIÁVEL GRAND SIENA 1.6	38k	11	5k	115	****
PEUGEOT 208	80k	15	3k	75	****
LAMBORGHINI	3M	6	400k	650	*****

- RESTRIÇÕES: DELIMITAM A REGIÃO VIÁVEL.
- CRITÉRIOS: USADOS NAS COMPARAÇÕES.
- UMA CARACTERÍSTICA PODE SER SIMULTANEAMENTE CRITÉRIO & RESTRIÇÃO.