

Disciplina de Sistemas de Controle

Prof. Luciano Menegaldo

e-mail: lmeneq@ime.eb.br

home-page: <http://lmeneq-aulas.tripod.com>

Aula 1 – Introdução

1. Idéias gerais e exemplos de sistemas de controle

- Assunto interdisciplinar
- Ramificações em todos os campos da engenharia, e em muitos das ciências naturais e sociais
- Aplicações em medicina, economia, sociologia.
- Enfoque tecnológico (compreensão e aplicação da teoria no caso concreto) e matemático (desenvolvimento das bases teóricas dos métodos de controle)

Aplicações em Engenharia

Mecânica: processos industriais: usinagem, laminação, fundição, solda, prensagem, vapor, gás. Automóveis, suspensão, motor, câmbio.

Automação e robótica: Automação industrial de manufatura
Automação industrial de processos
Automação comercial e logística
Robôs industriais
Robótica Móvel e autônoma
Inteligência artificial

Elétrica: Linhas de transmissão, osciladores eletrônicos, motores elétricos, transmissão de dados, telefonia, engenharia biomédica.

Civil: conforto térmico, segurança, reservatórios, vibrações em estruturas

Química: controle de processos químicos, vazão, temperatura, pressão, dutos, válvulas, reatores.

Naval e oceânica: navios, plataformas, sondas

Aeronáutica e a aeroespacial: aviões, piloto automático, VANT, foguetes, satélites.

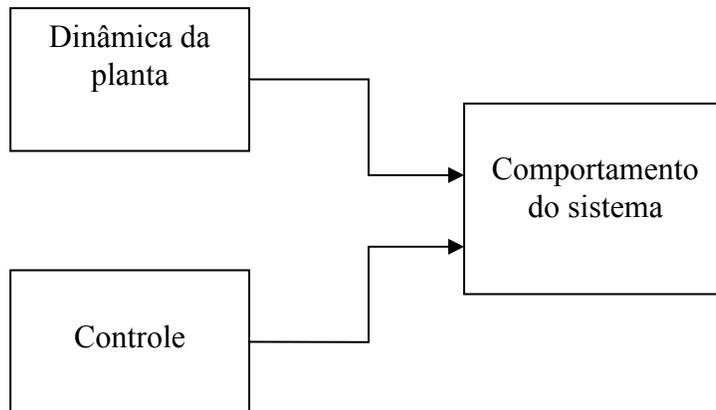
Eng. de petróleo: todas acima

Eng. Militar: todas acima

2. Definição de sistema de controle:

Dispositivo que, a partir de informações medidas, é capaz de regular o funcionamento de outro dispositivo, a chamada **planta**.

Importante: não é possível falar em CONTROLE se não se conhece o funcionamento da PLANTA!



- Quanto mais **informações sobre a planta**, melhor o controle

Informações sobre a planta:

- Modelo Matemático (natureza da planta)
- Sensores (estado atual da planta)

3. Conceitos básicos

- a) **Planta ou processo:** sistema dinâmico (cujo comportamento depende do TEMPO) que envolve níveis relativamente altos de potência.

Exemplos: avião, navio, automóvel.

- b) **Controle ou controlador:** sistema dinâmico que trabalha com níveis relativamente baixos de potência, cuja ação é capaz de modificar o comportamento da planta.

Exemplos: Aileron de um avião, leme de um navio, direção de um automóvel.

4. Ações básicas de controle

- a) **Mudança no ponto de operação (setpoint) da planta**

Altura de vôo uma aeronave
 Temperatura de um processo químico
 Posição e atitude de um satélite

b) Compensação de perturbações

Irregularidades na pista de um automóvel
 Manter a trajetória de uma aeronave sujeita a ventos
 Alteração na matéria prima de um processo industrial

c) Estabilizar uma planta naturalmente instável

Ficar em pé
 Aviões com asa de enflexamento negativo
 Reação nuclear supercrítica

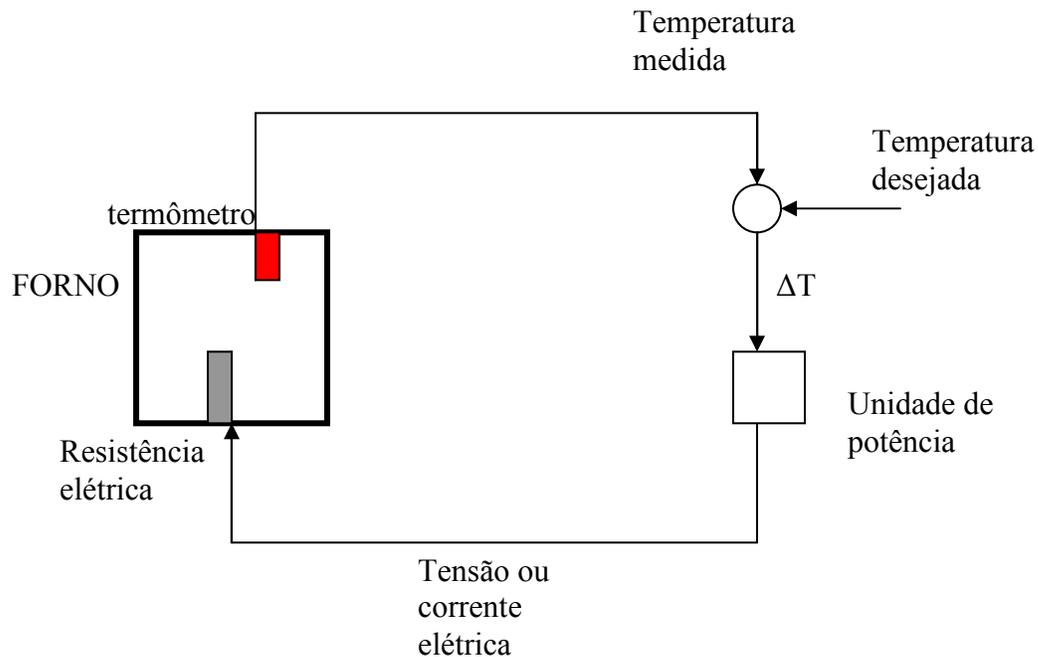
5. Controle em malha fechada e em malha aberta

a) Controle em malha fechada, realimentação ou feedback

Procedimento básico:

- Medir o estado atual da planta
- Estabelecer um estado desejado
- Calcular a diferença entre o estado atual e o desejado
- Gerar um sinal de controle *proporcional* a essa diferença
- Com o tempo, a diferença entre o estado atual e o desejado deve ir para um valor constante, de preferência zero.

Exemplo: controle de temperatura num forno



b) Controle em malha aberta

- O sinal de entrada é pré-fixado ou pré-programado, e os estados atuais do sistema não influenciam no comportamento do controle

Exemplos:

- Eletrodomésticos com várias velocidades: liquidificador
- Máquina de lavar roupa pré-programada
- Vídeo cassete pré-programado
- Sinais de trânsito
- VLS
- Viagens interplanetárias
- Controle do movimento humano

Observações:

- Na maior parte dos casos, especialmente em eng. Mecânica, os sistemas possuem uma trajetória em malha aberta que é supervisionada por um controle em malha fechada.
- Sistemas de controle em malha aberta são mais simples e baratos
- Mas são menos robustos a perturbações e incertezas na planta

6. Requisitos para gerar uma ação de controle

1. Informação do erro:

Referência (input) de fora do sistema
Medida (output) a partir dos sensores

2. Estratégia ou lógica de controle:

PID, on-off, fuzzy, LQR etc.

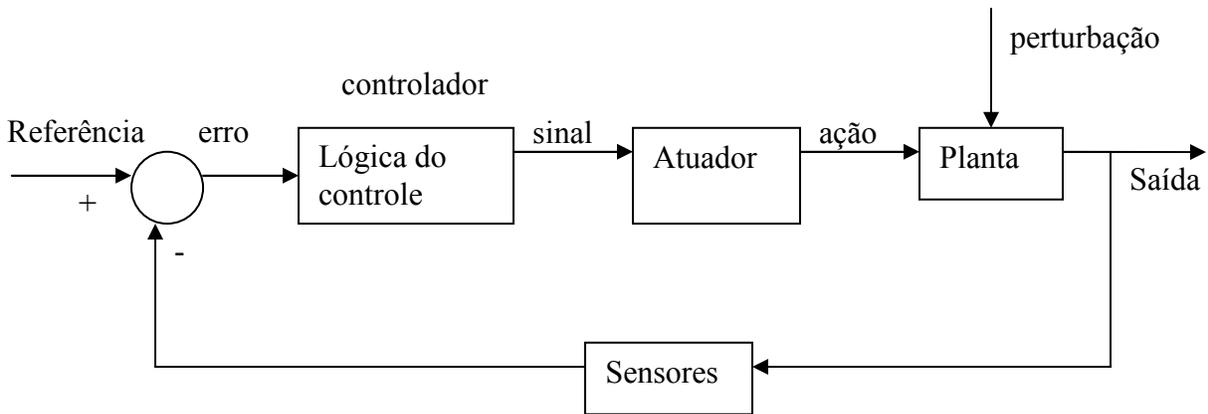
3. Atuadores: Elementos que agem diretamente sobre a planta

Motores elétricos, atuadores hidráulicos, mecanismos, unidades de potência

7. Diagrama de blocos

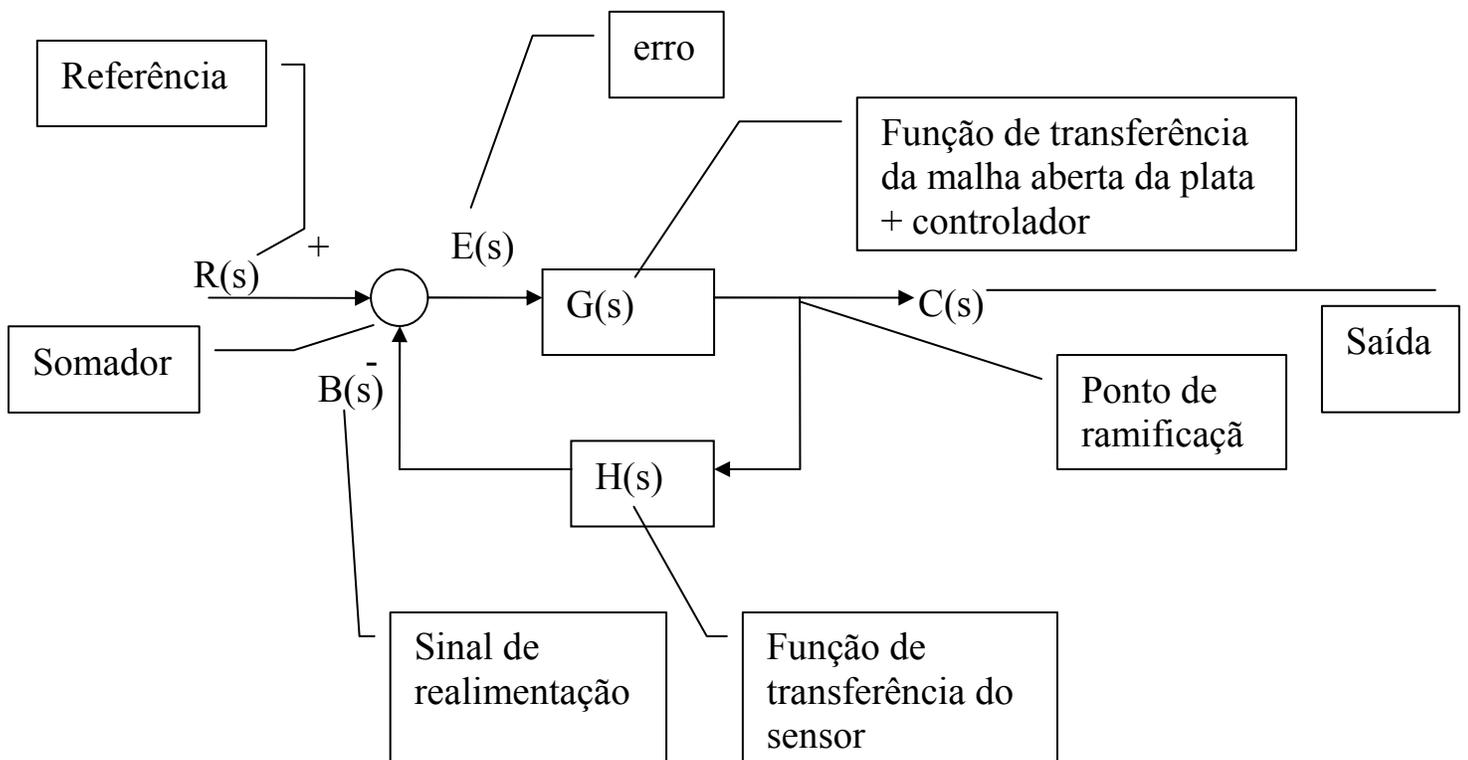
a) Diagrama de blocos conceitual

- Mostra arquitetura geral do sistema (exemplo transp. A)
- Não tem significado matemático preciso



b) Diagrama de blocos funcional

- Representa uma operação matemática precisa, em geral no domínio da frequência, a chamada FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA



Função de transferência de malha fechada do sistema de controle

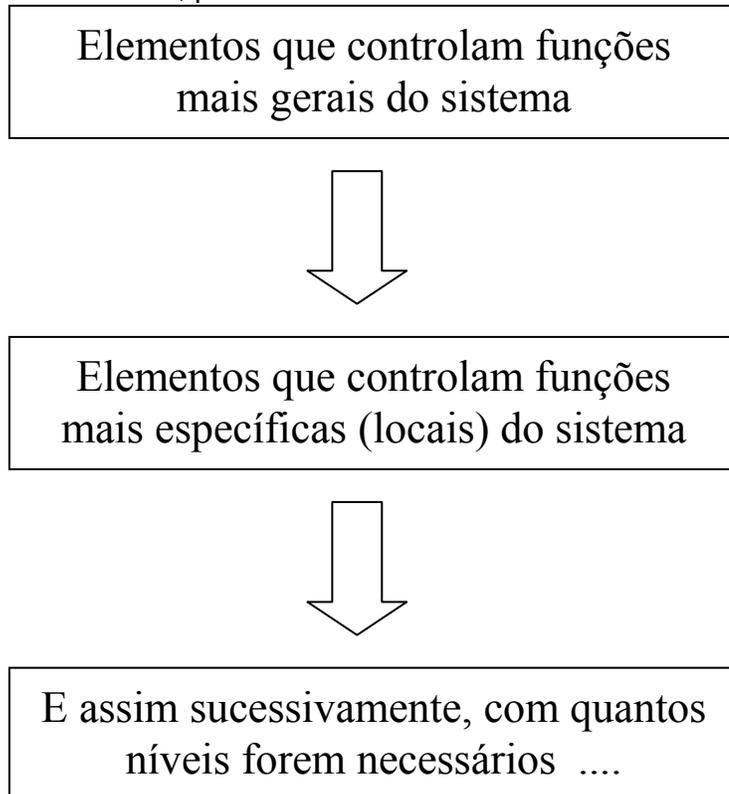
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s)G(s)}$$

Função de transferência da planta

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

8. Controle hierárquico

- Num mesmo sistema, pode haver vários níveis de controle simultaneamente



Exemplos: SNC (transp. A)

Forças armadas (do Presidente da República ao soldado)

9. Projeto de um controlador

Procedimento sugerido

1- Definição dos requisitos desejados da planta controlada

- a) Desvios máximos permitidos em regime permanente
- b) Desvios máximos permitidos nos transitórios

- c) Tempo máximo e mínimo de correção do erro e estabilização do sistema
- d) Efeitos transitórios indesejáveis
- e) Potência e capacidade dos atuadores, consumo de energia
- f) Custo, espaço disponível

2- Projetar o controlador

3- Verificar critérios associados: confiabilidade, manutenção, reposição de componentes

4- Análise da robustez do projeto em relação à variação de parâmetros internos e das excitações externas

10. Verificação do projeto

- a) Modelo matemático de simulação da planta
- b) Testes numéricos do modelo matemático sem controle para verificar a coerência com o comportamento real
- c) Projeto do controlador
- d) Testes numéricos do modelo matemático controlado
- e) Construção e teste de um protótipo
- f) Testes no sistema real e sintonia dos parâmetros do controlador e da planta

Aula 2

1. Representação de sistemas dinâmicos

“A tarefa mais importante que o projetista de controle deve enfrentar é o desenvolvimento de um modelo matemático do processo de interesse” (Bernard Friedland, Control Systems Design, McGraw-Hill, 1988)

- Um bom modelo (simples, adequado para o problema em questão, confiável) é uma obra de engenharia.

Duas maneiras de representar um sistema dinâmico

- a) **Função de Transferência:** domínio da frequência, controle clássico, anos 1940, EUA
- b) **Equações de Estado:** domínio do tempo, controle moderno, anos 1960, URSS

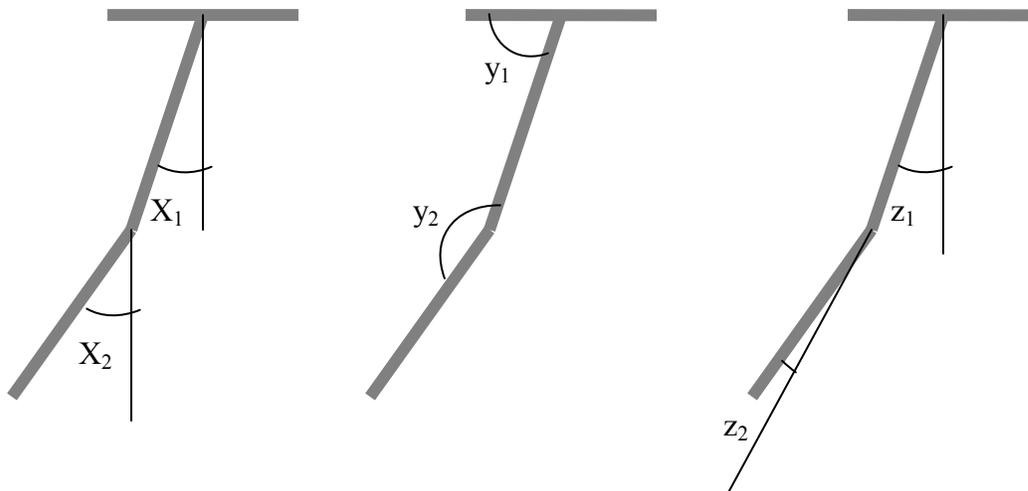
- Dificuldades históricas associadas: dificuldade de solução das equações diferenciais, indisponibilidade do computador digital, tradição etc.

Na engenharia mecânica: os modelos baseados em **equações de estado** são mais úteis. Modelos dos sistemas mecânicos são baseados em leis físicas temporais e espaciais: Leis de Newton, escoamento, transferência de calor etc., gerando **Equações diferenciais ordinárias**.

Equações de Estado	Funções de transferência
Múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO)	Uma entrada e uma saída
Modelo variante no tempo	Modelo invariante no tempo
Sistemas lineares ou não-lineares	Sistemas lineares
Álgebra matricial	Álgebra complexa

Estado de um sistema: menor conjunto de variáveis cujo conhecimento em $t=t_0$ possibilita determinar o comportamento do sistema para qualquer $t \geq t_0$ na ausência de excitação externa.

Para um mesmo sistema, pode-se especificar diversos conjuntos de variáveis de estado:



Entretanto, o número de variáveis de estado é **único** para um determinado sistema.

- O número de variáveis de estado deve coincidir com o número de equações diferenciais, as chamadas **equações de estado**.

- O número de variáveis de estado é a **ordem do sistema**.

- É boa prática escolher na modelagem variáveis de estado mensuráveis na prática.

- Quanto mais estados observáveis, menos trabalho para projetar o controle.

