



CONTROLE DE SISTEMA LINEARES

Prof. Reinaldo Martínez Palhares

Contato: Sala 2605 (BLOCO 1) — mailto: rpalhares@ufmg.br

www.cpdee.ufmg.br/~palhares/controlinear.html

Aspectos Burocráticos

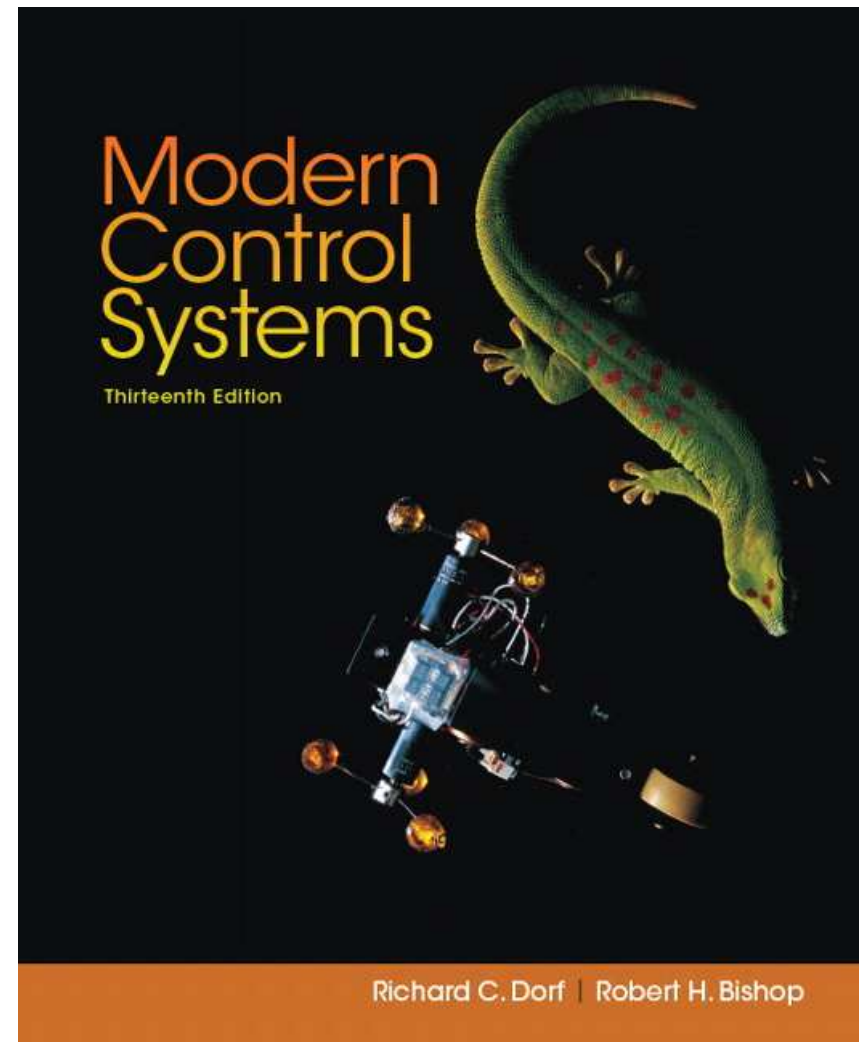
Livro Texto – Dorf & Bishop, Modern Control Systems. **Há diversas edições em inglês ou português!**

Avaliações

- Quatro Provas

(Pré-)Requisitos Desejáveis

- Análise de sistemas lineares
- Paciência e perseverança...

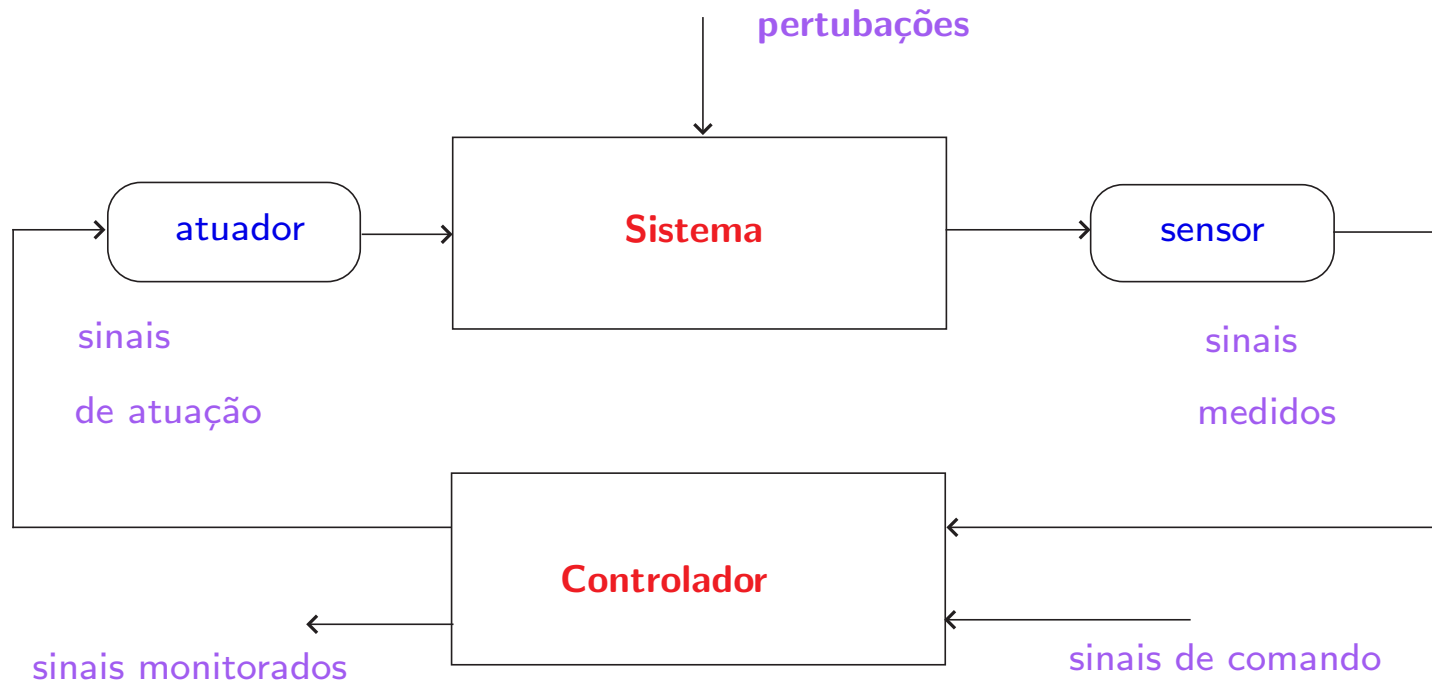


Escopo do Curso

Não-Linear Linear	SISO MIMO
Sistemas Contínuos Sistemas Discretos	sem Memória com Memória
Não-Causal Causal	Distribuído Limitado
Variante no Tempo Invariante no Tempo	Estocástico Determinístico
Entrada-Saída	Espaço de Estado

Motivação e Contexto – Sistema Geral de Controle

Dado um **modelo (linear)** do **sistema** a ser controlado e um conjunto de especificações, encontrar um **controlador adequado**



Motivação e Contexto

Especificações de desempenho

- resposta adequada aos sinais de controle – resposta limitada?
- atenuação de perturbações desconhecidas (incerteza relativa a sinais?)
- limitação de sinais críticos (há limites físicos?)
- lidar com erros de modelagem (incerteza na descrição do modelo?)

Especificações para o controlador

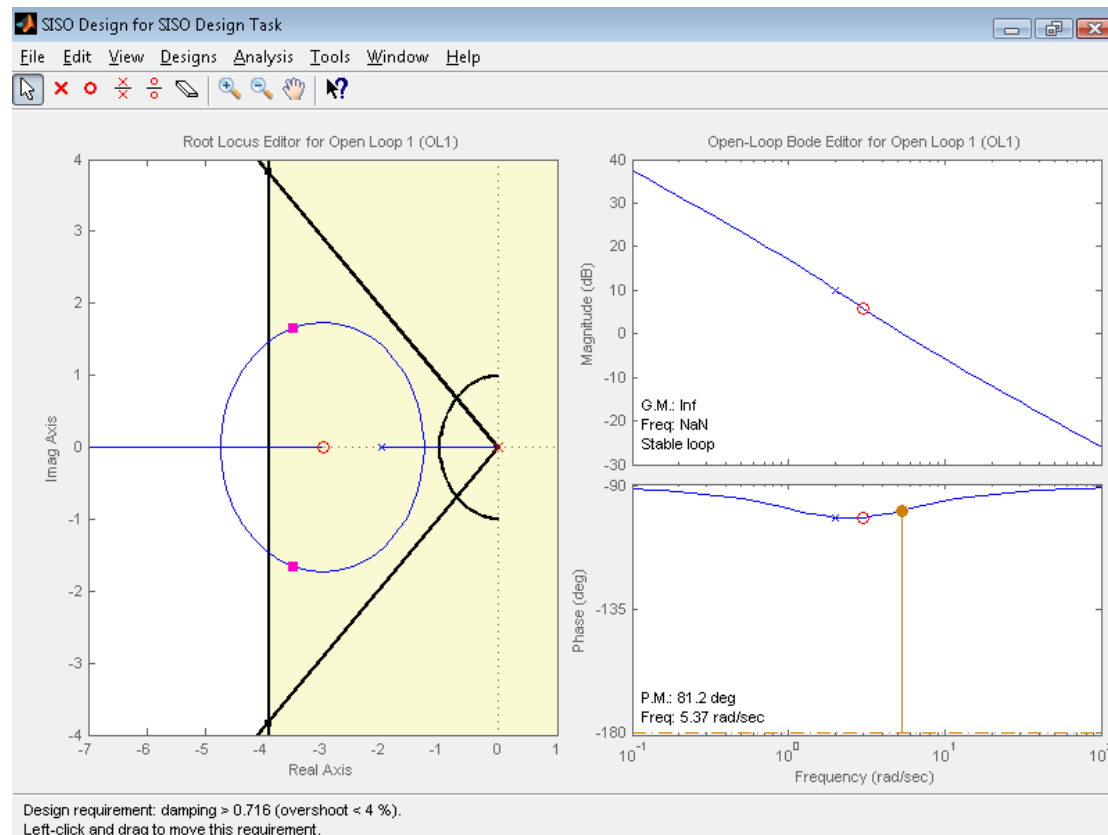
- É preciso que seja um modelo linear, simples e eficiente

Metodologias de projeto

- Técnicas baseadas em Transformadas (“**Practice makes perfect**”...).
- Controle no espaço de estados

Ferramentas Computacionais & Aprendizagem

- **Seja independente e se desafie ao longo do curso!!** Use pacotes computacionais para ajudá-lo a amadurecer as estratégias e análises propostas !!



SISOTOOL – MATLAB

Linhas Gerais do Curso

1. Uma rápida revisão... Sistemas Dinâmicos

- Equações diferenciais de sistemas físicos
- Funções de transferência de sistemas lineares
- Álgebra dos diagramas de blocos
- Diagramas de fluxo de sinais
- Modelagem matemática de sistemas físicos

2. Desempenho de Sistemas de Controle Realimentados

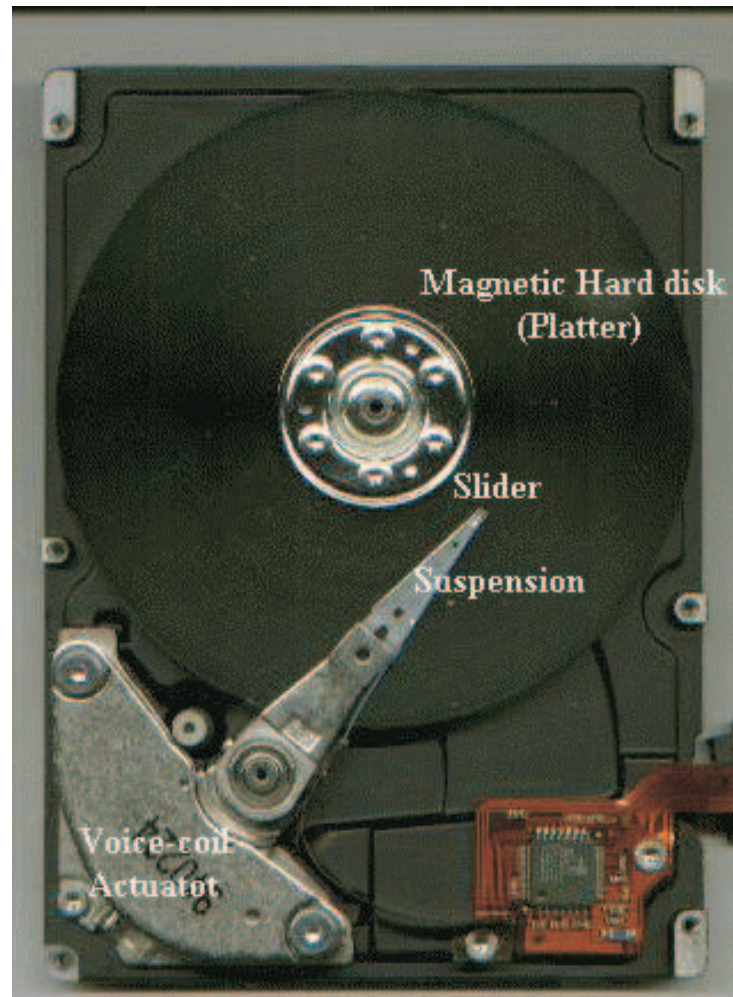
- Sinais de teste
- Desempenho de sistemas de segunda ordem
- Localização das raízes no plano- s e sua relação com a resposta transitória
- Erro em estado estacionário de sistemas de controle realimentados
- Índices de desempenho
- Simplificação de sistemas lineares
- Exemplo de projeto: controle de posicionamento do telescópio Hubble
- Exemplo de **Projeto Sequencial**: sistema de leitura de um *drive*

Linhas Gerais do Curso



Telescópio Hubble

Linhas Gerais do Curso

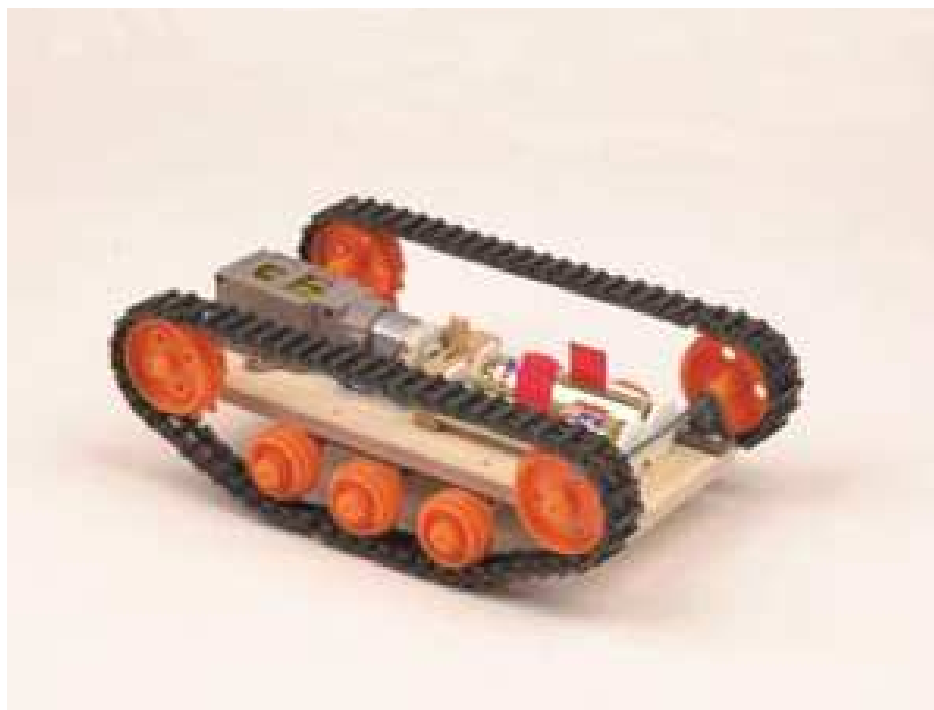


Drive de Leitura

3. Estabilidade de Sistemas Lineares Realimentados

- Conceito de estabilidade
- Critério de estabilidade de Routh-Hurwitz
- Estabilidade relativa de sistemas de controle realimentados
- Estabilidade de sistemas de variáveis de estado
- Exemplo de projeto: controle de direção de um veículo com tração independente
- Exemplo de **Projeto Sequencial**: sistema de leitura de um *drive*
- **PRIMEIRA PROVA**

Linhas Gerais do Curso



Controle de direção de um veículo com tração independente

4. Método do Lugar das Raízes – LR

- Conceito do “Lugar das Raízes”
- Procedimento para determinação do Lugar das Raízes
- Seleção de valores de parâmetros pelo método do Lugar das Raízes
- Projeto de Controlador PID
- Sensibilidade a variação de parâmetros e o Lugar das Raízes.
- Projeto de um sistema de controle de robô
- Gráficos de Lugar das Raízes de funções de transferência típicas
- Exemplo de [Projeto Sequencial](#): sistema de leitura de um *drive*
- **SEGUNDA PROVA**

5. Métodos de Resposta em Frequência

- Motivação
- Gráficos de resposta em frequência
- Exemplo de traçado do diagrama de Bode
- Medidas da resposta em frequência
- Especificações de desempenho no domínio da frequência
- Exemplo de **Projeto Sequencial**: sistema de leitura de um *drive*
- Diagramas de Bode de funções de transferência típicas

6. Estabilidade no Domínio da Frequência

- Mapas de contorno no Plano-s
- Critério de Nyquist
- Estabilidade relativa e o critério de Nyquist
- Critérios de desempenho especificados no domínio da frequência
- Especificações de desempenho no domínio da frequência
- Faixa de passagem do sistema em malha fechada
- Estabilidade de sistemas de controle com retardo no tempo
- Exemplo de projeto: veículo de reconhecimento remotamente controlado
- Exemplo de **Projeto Sequencial**: sistema de leitura de um *drive*

Linhas Gerais do Curso



Opportunity em Marte: veículo de reconhecimento

7. Projeto de Sistemas de Controle Realimentados

- Metodologias de projeto
- Redes de compensação em cascata
- Projeto de sistemas usando integração de redes
- Projeto de avanço de fase usando diagramas de Bode
- Projeto de atraso de fase usando diagramas de Bode
- Exemplos
- **TERCEIRA PROVA**

8. Introdução aos Sistemas de Controle Digitais

- Análise de sistemas dinâmicos digitais
- Aplicações de sistemas controlados por computador
- Efeitos do processo de amostragem – Desempenho de um sistema amostrado
- Projeto via emulação
- Projeto via Lugar das Raízes – Fly-by-wire

Linhas Gerais do Curso



Fly-by-wire – Cockpit Airbus A380

Linhas Gerais do Curso



Detalhe do joystick do Airbus A380 - Fly-by-wire

9. Introdução ao Controle em Espaço de Estados

- Relembrando o conceito de estado e modelagem
- Revisitando estabilidade em espaço de estados
- Conceito de Controlabilidade
- Projeto de controle por realimentação de estados
- Conceito de Observabilidade
- Projeto de Observadores de estado
- Exemplos
- **QUARTA PROVA**