

# Planejamento da Disciplina Controle e Servomecanismos I

Professor José Paulo Vilela Soares da Cunha

12 de março de 2019

## Identificação

**UERJ**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Eletrônica e Telecomunicações**

**Assunto:** Planejamento para a disciplina no primeiro semestre letivo de 2019.

**Nota:** Esta versão utiliza o livro (Castrucci, Bittar & Sales 2011).

**Turmas:** 01 e 02

**E-mails:** [jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br) e [jpaulo@ieee.org](mailto:jpaulo@ieee.org)

**Homepage:** <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/contri.html>

## 1 Tópicos desta Disciplina

Nesta disciplina aborda-se o controle de sistemas lineares no tempo contínuo. Os principais tópicos são:

1. Introdução ao controle.
2. Revisão:
  - (a) Sistemas dinâmicos e sua modelagem.
  - (b) Equação de estado.
  - (c) Transformada de Laplace.
  - (d) Função de transferência e resposta em frequência.
3. Sistemas em malha fechada.
4. Resposta transitória, erro estacionário e critérios e restrições sobre o desempenho de sistemas de controle.
5. Estabilidade de sistemas dinâmicos. Teste de estabilidade de Routh-Hurwitz.
6. Diagrama do lugar das raízes.
7. Métodos de resposta em frequência para a análise e o projeto de sistemas de controle (e.g., diagramas de Nyquist e Bode). Condição de estabilidade de Nyquist.
8. Projeto de compensadores/controladores: *lead*, *lag*, PID, etc..

## 2 Orientação Geral para o Estudo desta Disciplina

Para esta disciplina são recomendadas as referências (Castrucci et al. 2011, Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998). Qualquer uma destas referências é adequada ao curso, bem como outros livros texto básicos de controle linear que abordem os tópicos relacionados na Seção 1. Este planejamento utiliza o livro *Controle Automático* (Castrucci et al. 2011), do qual serão extraídos muitos dos exercícios.

Os livros (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998) apresentam diversos exemplos de análise e projeto de sistemas de controle empregando o *software* [MatLab](#), que atualmente é uma

ferramenta importante na área de controle e, por isso, será utilizado nesta disciplina. Além disso, a modelagem de sistemas dinâmicos é apresentada mais detalhadamente nos livros (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998) do que no livro (Castrucci et al. 2011). Assim, um dos livros (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998) deve ser adotado como complemento ao livro (Castrucci et al. 2011).

### 3 Orientação para o Estudo dos Tópicos

Nesta seção é apresentada uma orientação para o aluno estudar cada um dos tópicos abordados. Apresenta-se uma relação de seções de livros que devem ser estudadas e de exercícios propostos. Naturalmente o aluno não deve restringir seus estudos a estas seções e exercícios, pois trata-se de uma relação reduzida.

Recomenda-se que o aluno primeiramente resolva os problemas numéricos manualmente e, posteriormente, utilize algum *software* como o MatLab ou os *softwares livres* [Scilab](#) e [Octave](#) para verificar os resultados, seguindo-se a sugestão de Chen (1999, p. 78). O aluno deverá notar que alguns exercícios no livro (Castrucci et al. 2011) foram elaborados para serem resolvidos com o auxílio de algum *software* para análise e projeto de sistemas de controle.

#### 3.1 Introdução ao controle

A introdução no Capítulo 1 da referência (Castrucci et al. 2011) apresenta alguns exemplos de aplicações de controladores e alguns conceitos fundamentais da área de sistemas de controle.

#### 3.2 Revisão de sistemas dinâmicos e sua modelagem

Recomenda-se o estudo das Seções 2.1, 2.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.7 e 2.7.1 na referência (Castrucci et al. 2011).

São recomendados os exercícios (Castrucci et al. 2011) 2.1, 2.6, 2.9, 2.10 e 2.13. Também são recomendados os exercícios da segunda edição do livro (Ogata 1993): B.2.1 a B.2.4, B.2.6, B.2.9 a B.2.11, B.2.14 e B.2.15.

Recomenda-se o Capítulo 4 (Ogata 2010) para o aluno interessado em sistemas pneumáticos, hidráulicos ou térmicos. A Seção 2.2.3 do livro (Castrucci et al. 2011) apresenta alguns desses tópicos mais brevemente.

### **3.3 Revisão de equação de estado**

A abordagem por equação de estado é utilizada em várias seções do Capítulo 3 da referência (Ogata 2010). Recomenda-se, especialmente, as Seções 2.4 e 2.5.

Exercício recomendado (Ogata 2010): B.2.9.

### **3.4 Revisão de transformada de Laplace**

Recomenda-se a revisão de transformada de Laplace e a sua aplicação nas Seções 2.3 e 2.5 do livro (Castrucci et al. 2011).

São recomendados os exercícios (Castrucci et al. 2011) 2.3, 2.11, 2.12 e 2.14.

### **3.5 Revisão de função de transferência e resposta em frequência**

Recomenda-se o estudo da Seção 2.4 da referência (Castrucci et al. 2011). Para o traçado de diagramas de Bode, recomenda-se as Seções 5.1, 5.2, 5.4 e 5.5 do livro (Castrucci et al. 2011). A Seção 5.3 aborda alguns aspectos sobre a determinação experimental de funções de transferência. Um alternativa é estudar os diagramas de Bode em algum livro sobre a análise de circuitos elétricos ou filtros.

São recomendados os exercícios (Castrucci et al. 2011) 5.1, 5.3, 5.10 a 5.13.

### **3.6 Sistemas em malha fechada**

Recomenda-se o estudo das Seções 2.6, 2.7.2 e 3.10 da referência (Castrucci et al. 2011).

Exercícios recomendados (Castrucci et al. 2011): 2.16 a 2.19.

### **3.7 Resposta transitória, erro estacionário e critérios e restrições sobre o desempenho de sistemas de controle**

Recomenda-se o estudo das seguintes Seções da referência (Castrucci et al. 2011): 3.1, 3.4 a 3.9 e 3.11. Deve ser enfatizada a relação entre a resposta no domínio da frequência e o desempenho no domínio do tempo.

Exercícios recomendados (Castrucci et al. 2011): 3.2 a 3.7 e 3.10 a 3.17.

### **3.8 Teste de estabilidade de Routh-Hurwitz**

Recomenda-se as Seções 3.2 e 3.3 do livro (Castrucci et al. 2011). Mais detalhes são apresentados na Seção 5.6 do livro (Ogata 2010) ou na Seção 5.7 do livro (Ogata 2003).

Exercícios recomendados (Castrucci et al. 2011): 3.1, 3.8 e 3.9.

### **3.9 Diagrama do lugar das raízes**

Recomenda-se o estudo das seguintes seções da referência (Castrucci et al. 2011): 4.1 a 4.3.

Exercícios recomendados: 4.1 a 4.5, 4.7, 4.12, 4.14 e 4.18.

### **3.10 Métodos de resposta em frequência: diagrama de Nyquist, condição de estabilidade de Nyquist e aplicação dos diagramas de Bode**

Após a revisão sugerida na Seção 3.5 deste Planejamento, recomenda-se as seguintes seções da referência (Castrucci et al. 2011) sobre métodos de resposta em frequência: 5.6 a 5.9 (exceto Seção 5.9.1) e 5.10.

A condição de estabilidade de Nyquist, apresentada na Seção 5.7 (Castrucci et al. 2011), é baseada no *princípio do argumento* para funções de variáveis complexas (Ávila 2000, p. 176), (Castrucci et al. 2011, seção 5.7.1).

Exercícios recomendados: 5.2, 5.4 a 5.9, 5.14 a 5.19 e 5.22.

### **3.11 Projeto de controladores**

Recomenda-se o estudo das Seções 4.6 a 4.6.3 e 5.11 a 5.11.3 do livro (Castrucci et al. 2011).

O Capítulo 6 apresenta detalhes sobre controladores com ações proporcional, integral e derivativa (PID). Esse capítulo é especialmente recomendado para aqueles com interesse no controle de processos industriais.

Exercícios recomendados: 4.10, 4.13, 4.15 a 4.17, 5.23 a 5.26, 6.1 a 6.4, 6.6 a 6.15.

## 4 Consultas ao Professor

As consultas ao professor podem ser feitas em horários e em locais a serem divulgados na *homepage* da disciplina. Os alunos também podem consultar o professor pelos *e-mails*:

[jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br) e [jpaulo@ieee.org](mailto:jpaulo@ieee.org)

### 4.1 Mais informações

Para obter mais informações (datas das provas, trabalhos, listas de exercícios, etc.), o aluno deverá consultar frequentemente a *homepage* da disciplina:

<http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/contri.html>

## Referências

- Ávila, G. (2000). *Variáveis Complexas e Aplicações*, 3<sup>a</sup> edn, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2011). *Controle Automático*, LTC.
- Chen, C.-T. (1999). *Linear System Theory and Design*, 3<sup>rd</sup> edn, Oxford University Press.
- Ogata, K. (1993). *Engenharia de Controle Moderno*, 2<sup>a</sup> edn, Prentice-Hall do Brasil.
- Ogata, K. (1998). *Engenharia de Controle Moderno*, 3<sup>a</sup> edn, Livros Técnicos e Científicos S.A.
- Ogata, K. (2003). *Engenharia de Controle Moderno*, 4<sup>a</sup> edn, Pearson Brasil.
- Ogata, K. (2010). *Engenharia de Controle Moderno*, 5<sup>a</sup> edn, Pearson Brasil.