



**INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR**

**Escola Superior de Tecnologia de Tomar**

**Departamento de Engenharia Electrotécnica**

**Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores**

**DISCIPLINA DE CONTROLO AUTOMÁTICO**

**Ano:** 3º Ano

**Regime:** Semestral (1º)

**Ano Lectivo:** 2004/2005

**Carga Horária:** 2T + 2P

**Docente:** Prof. Adjunto Paulo Manuel Machado Coelho  
Prof. Adjunto Gabriel Pereira Pires

---

**OBJECTIVOS:**

A disciplina de Controlo Automático visa o ensino de metodologias de análise e projecto direccionadas para o controlo clássico em sistemas lineares SISO. A disciplina deverá fornecer ao aluno conhecimentos de: - modelação de sistemas mecânicos, eléctricos, de nível de líquido, etc; - métodos de análise e desempenho de estabilidade absoluta, estabilidade relativa, sensibilidade, robustez, baseando-se em análise temporal, análise em frequência, entre outros; - questões de projecto, implementação e sintonização de controladores PID, e compensação em atraso/avanço.

Em termos práticos, no final do semestre espera-se que o aluno esteja apto a desenvolver, por exemplo, servo-mecanismos de posição, desde a modelação, à construção mecânica, actuação, leitura de sensores e concepção do controlador.

Esta disciplina de iniciação ao controlo terá sequência nas disciplinas de Controlo Digital e Controlo Inteligente.

**PROGRAMA:**

- 1. Introdução:** Breve introdução aos sistemas de controlo. Sistemas em malha aberta e malha fechada. Diagramas de blocos. Perturbações.
- 2. Modelos matemáticos de sistemas físicos:** Sistemas eléctricos. Sistemas mecânicos de translação. Sistemas mecânicos de rotação. Motor DC em sistemas de controlo ( Modelos matemáticos; Curvas torque-velocidade). Engrenagens e backlash. Servo-mecanismos. Sensores e codificadores em sistemas de controlo: potenciómetros, codificadores, tacómetros. AMPOPs.
- 3. Análise temporal em malha aberta e malha fechada:** Sistemas de 1ª e 2ª ordem. Resposta transitória. Análise de erros em regime permanente. Análise de estabilidade relativa. Critério de Routh para análise de estabilidade. Efeito da adição de pólos e zeros. Pólos dominantes em funções de transferência. Aproximação de sistemas de ordem superior a sistemas de ordem inferior.



*Tamara  
ecl  
Gij*

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR**  
**Escola Superior de Tecnologia de Tomar**  
**Departamento de Engenharia Electrotécnica**  
**Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores**

- 4. Análise de sistemas de controlo:** Critérios de projecto. Método do lugar das raízes. Métodos no domínio da frequência – representação gráfica de funções de transferência sinusoidais (diagrama de Bode e traçado polar); Frequência e pico de ressonância e largura de banda de sistemas de 2ª ordem; Critérios de estabilidade; Efeito da adição de pólos e zeros.
- 5. Projecto de sistemas de controlo:** *Controlo PID* [Acções de controlo proporcional (P), proporcional-derivativo (PD) e proporcional-integral-derivativo (PID); Sintonização de controladores PID (Método de Ziegler-Nichols em malha aberta; Método de Ziegler-Nichols em malha fechada; Método de colocação de pólos; Método experimental). *Compensação em avanço-atraso.*

### **COMPONENTE PRÁTICA**

Nas aulas práticas são realizadas experiências laboratoriais com kits didácticos, complementadas com a resolução de problemas e realização de simulações em ambiente MATLAB/SIMULINK.

#### **Fichas de Exercícios:**

- Ficha 1:** Comandos de controlo em Matlab.
- Ficha 2:** Modelação matemática de sistemas eléctricos e sistemas mecânicos de translação.
- Ficha 3:** Engrenagens e sistemas mecânicos de rotação. Motor DC controlado por tensão de armadura.  
Motor DC controlado por tensão de campo. Servo-mecanismos.
- Ficha 4:** Critério de estabilidade de Routh.
- Ficha 5:** Análise da resposta transitória de sistemas de 2ª ordem.
- Ficha 6:** Análise de erros em regime estacionário.
- Ficha 7:** Modelação e controlo de sistema de nível líquido.
- Ficha 8:** Lugar das raízes.
- Ficha 9:** Diagramas de Bode. Projecto baseado em análise de frequência.
- Ficha 10:** Controlo PID. Sintonização.

#### **Projectos Finais:**

- Projecto 1:** Projecto de um servo-mecanismo de posição (escolha de motores, engrenagens, modelização matemática e controlo).
- Projecto 2:** Controlo de um motor DC existente no laboratório cujo modelo matemático é desconhecido.

### **MÉTODO DE AVALIAÇÃO:**

A avaliação consta de duas componentes: uma prova escrita (frequência e exame) com um peso de 75% na nota final e uma avaliação prática com peso de 25% que consiste na avaliação de relatórios de trabalhos práticos realizados por grupos de alunos. Para aprovação na disciplina o aluno tem de obter uma classificação na prova escrita superior ou igual a **8 em 20 valores** e tem de obter a



# INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR

## Escola Superior de Tecnologia de Tomar

### Departamento de Engenharia Electrotécnica

#### Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

classificação mínima de **9.5 em 20 valores** nos trabalhos práticos. Para aprovação na disciplina os alunos terão ainda de assistir a um mínimo de 2/3 das aulas práticas / teórico-práticas. A(s) data(s) limite de entrega dos trabalhos práticos será combinada entre alunos e docentes no início do semestre lectivo.

Os alunos com estatuto de trabalhadores estudantes terão de satisfazer os mesmos critérios de avaliação que os alunos ordinários, sendo-lhes no entanto dada a possibilidade de realizarem os trabalhos laboratoriais fora do horário normal, em moldes a combinar com os docentes no início do Semestre. É-lhes também retirada a obrigatoriedade de assistir a 2/3 das aulas práticas / teórico-práticas.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

##### Livros de Referência

- **K. Ogata, "Modern Control Engineering", 3ª Edição, Prentice-Hall, 1997.**
- Benjamin C. Kuo, "Automatic Control Systems", 7ª Edição, Wiley, 1995.
- G. Franklin, D. Powell, A. Emani-Naeini, "Feedback Control of Dynamic Systems", 3ª Edição, Addison-Wesley, 1994.

##### Tutorial

- Control Tutorial for Matlab: <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/>

##### Livros com aplicações de controlo em Matlab

- K. Ogata, "Solving Control Engineering Problems with Matlab", Prentice-Hall.
- J. B. Dabney and T. Harman, "Mastering SIMULINK 2", Prentice-hall, MATLAB Curriculum Series, 1998.

##### Outros livros de controlo clássico existentes na biblioteca

- W. Bolton, "Engenharia de Controle", Makron Books (Ed. Brasileira), 1995.
- D. Coughanowr, "Process Systems Analysis and Control", Second Edition, MacGraw-Hill, 1991 (1ª edição 1965).
- William J. Palm III, "Control System Engineering", John Wiley & Sons, 1986.
- Joseph J. Distefano, A. Stubberud, I. Williams, "Sistemas de Retroação e Controle", McGraw-Hill, 1964.

#### **Os Docentes,**

*Paulo Manuel Machado Coelho*  
*Gabriel Pereira Pires*