

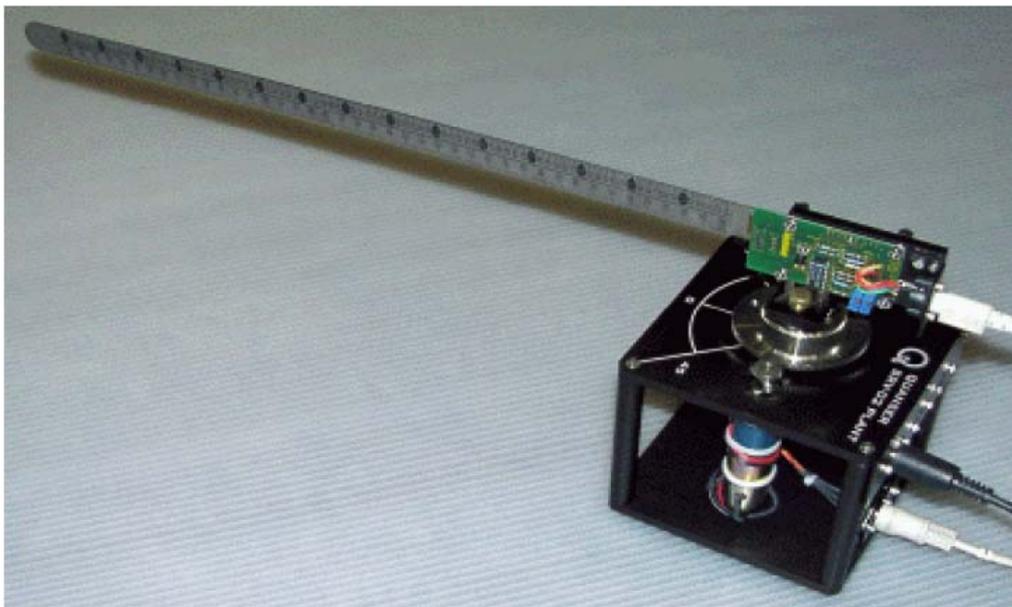


*Mestrado Integrado em  
Engenharia Aeroespacial  
2009/2010 - Semestre de Inverno*

**Controlo Ótimo e Adaptativo**

**TRABALHO DE LABORATÓRIO**  
*Identificação e Controlo Digital do Sistema de Posicionamento  
de uma Barra Flexível*

**Descrição Geral do Trabalho**



*Preparado por*

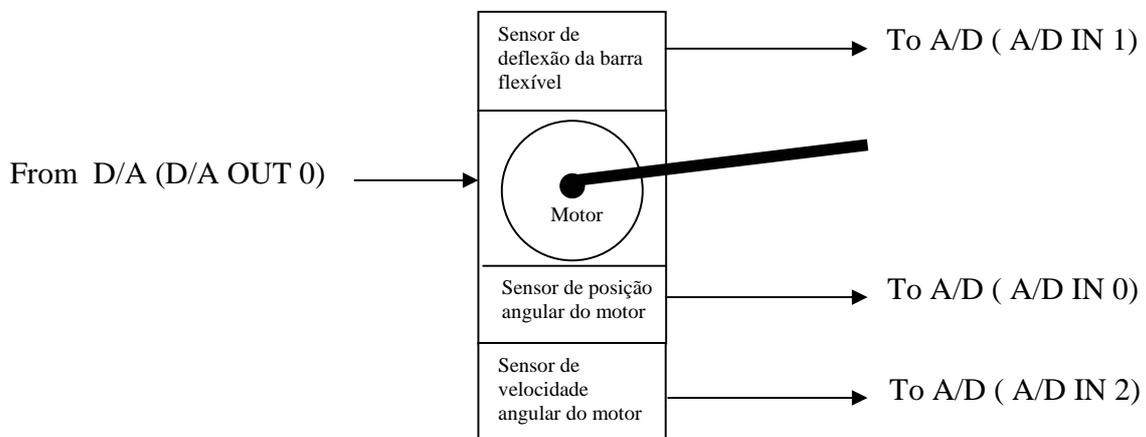
***Alexandre Bernardino, Margarida Silveira,  
J. Miranda Lemos***

*IST, Área Científica de Sistemas, Decisão e Controlo*

# Introdução

As sessões de laboratório de COA têm como objectivo aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos para projectar controladores dinâmicos aplicados a um sistema experimental electro-mecânico. Pretende-se obter modelos práticos do sistema, identificar os seus parâmetros, projectar, implementar e testar diversos tipos de controladores digitais para efectuar o controlo por computador em malha fechada.

O sistema a controlar consiste num kit didáctico da Quanser, composto por um motor eléctrico com caixa redutora e uma barra flexível acoplada ao motor, um amplificador de potência e elementos mecânicos e eléctricos de ligação. Por actuação do motor eléctrico é possível actuar a posição da barra, que devido à sua flexibilidade irá oscilar durante os transitórios de actuação. O motor está equipado com sensores de posição angular (potenciómetro) e velocidade angular (taquímetro). A barra flexível está equipada com um extensómetro que permite medir a sua deflexão. O sistema é ligado a um computador equipado com uma placa I/O composta de conversores analógicos/digitais e digitais/analógicos de 12 bits que permitem medir os sinais dos sensores e enviar sinais de controlo para o motor. O objectivo final do trabalho consiste em controlar a posição angular da extremidade barra flexível por actuação do motor, de acordo com referências e dinâmicas pretendidas.



Para o interface entre o computador e o sistema a controlar, será utilizado o software “Matlab/Simulink”, com as *tolboxes* “Real-Time Workshop” e “Real-Time Windows Target”.

O trabalho consta de 2 partes, designadas respectivamente:

1. Controlo PID Digital de um motor DC (4 sessões);
2. Identificação e controlo de um braço flexível
  - 2.1. Identificação do braço flexível (4 sessões)
  - 2.2. Controlo com técnicas polinomiais do braço flexível (4 sessões)

Na parte 1, os alunos aprenderão a utilizar o “Simulink” para efectuar o interface entre o computador e o processo, efectuar simulações e correr experiências em tempo real. Terão que relembrar conceitos de controlo no domínio contínuo assim como técnicas simples de identificação de parâmetros com base nas respostas no tempo e na frequência. Terão ainda que efectuar o projecto de um controlador PID contínuo e a sua emulação para o domínio discreto.

Na parte 2 os alunos irão obter modelos paramétricos discretos do sistema completo (motor e barra flexível). Farão inicialmente uma identificação não paramétrica para observar as características dominantes do processo e escolher a frequência de amostragem e, posteriormente utilizarão os modelos ARX e ARMAX para identificar os diversos parâmetros do modelo. Serão ainda aplicados métodos de selecção de modelos para escolher qual a ordem do modelo que melhor se adequa à realidade.

Todos os elementos de estudo necessários para a execução das tarefas laboratoriais estão incluídos na bibliografia da disciplina e serão disponibilizados na página da cadeira. Alguns enunciados contêm uma parte introdutória onde se apresentam resumos teóricos ou aspectos práticos importantes.

Cada sessão de laboratório exige preparação prévia que os alunos deverão efectuar em casa antes da sessão correspondente. Caso contrário correrão o risco de não conseguir terminar as tarefas experimentais atempadamente. A presença nos laboratórios é obrigatória para que a respectiva nota seja atribuída.

Após a finalização de cada parte, os alunos têm uma semana para entregar um relatório sucinto do trabalho efectuado acerca das questões colocadas em cada sessão.

A avaliação será efectuada por análise conjunta dos relatórios.

Relativamente ao peso da nota do laboratório na classificação final da disciplina, ver as normas de avaliação.

# Descrição do Sistema Físico

O sistema físico a controlar é constituído por uma barra flexível acoplada de uma forma rígida a um motor DC, por intermédio de dois parafusos de ligação (Fig. 1).

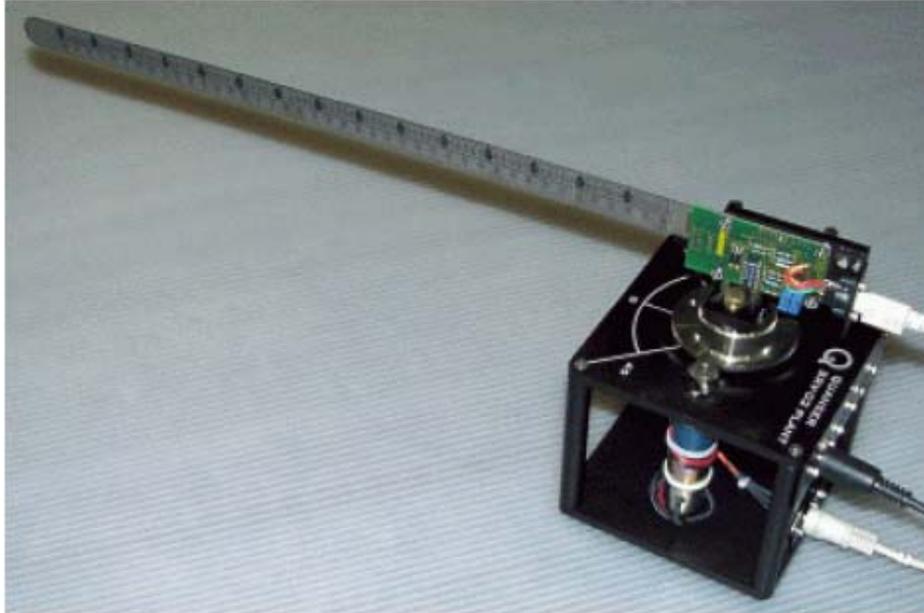


Figura 1. Sistema físico a controlar.

A barra flexível está instrumentada com um extensómetro (Fig. 2, visível sobre a barra) que mede a deflexão da barra. Um extensómetro é uma resistência variável com o comprimento que é utilizada para medir as tensões no material sobre o qual é colocado.



Figura 2. Pormenor do extensómetro (colado sobre a barra)

A Figura 3 apresenta um diagrama da barra flexível com uma dada deflexão resultando num deslocamento da sua extremidade representado por  $D$ . O extensómetro fornece uma

tensão à sua saída aproximadamente proporcional ao deslocamento  $D$  da extremidade da barra.

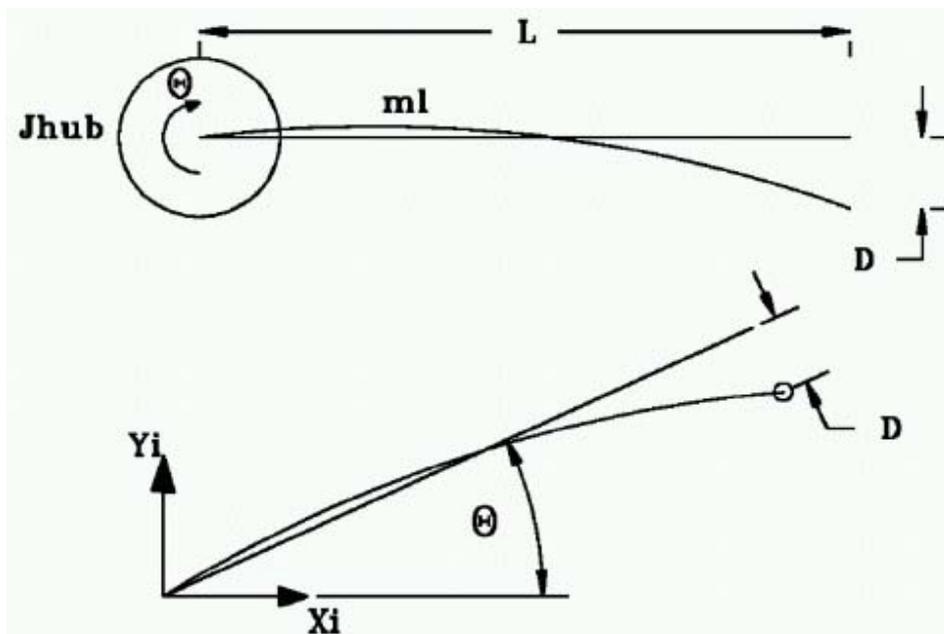


Figura 3. Modelo esquemático da forma da deflexão existentes na barra flexível.

Sendo  $L$  o comprimento da barra, o ângulo que a extremidade da barra efectua com a sua base ( $\alpha$ ) vem dado aproximadamente por:

$$\alpha = \frac{D}{L}$$

O modelo dinâmico deste sistema é não linear mas para este trabalho vamos considerar uma aproximação linear ao problema, válida para pequenas deslocções da ponta da barra. Na segunda parte do trabalho veremos com mais detalhe como modelar as equações dinâmicas que representam o comportamento deste sistema.

## Estratégia de Controlo

O objectivo final do trabalho é o de controlar a posição angular da extremidade da barra de modo a seguir referências pretendidas, e evitando oscilações indesejadas. Os controladores serão projectados digitalmente de acordo com as técnicas a aprender na parte teórica da disciplina.

Numa primeira fase será projectado um controlador para efectuar o posicionamento do motor, que terá como entradas a referência desejada ( $\theta_d$ ) e a posição actual do motor medida com o potenciómetro ( $\theta$ ), e terá como saída a tensão a aplicar ao motor ( $u$ ),

variável manipulada). A fig. 4 mostra um diagrama de blocos em que se indica a interligação da barra (sistema a controlar) e do controlador.

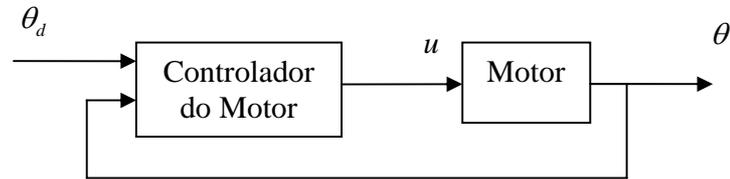


Fig. 4 – Diagrama de blocos global do sistema controlado. Fase 1.

Numa segunda fase (fig. 5) será projectado o controlador da barra flexível. Este controlador receberá a posição angular desejada para a extremidade da barra ( $r$ ) e a medida da posição angular actual com o auxílio do extensómetro ( $\theta + \alpha$ ) e estabelecerá os valores para a referência da posição angular do motor.

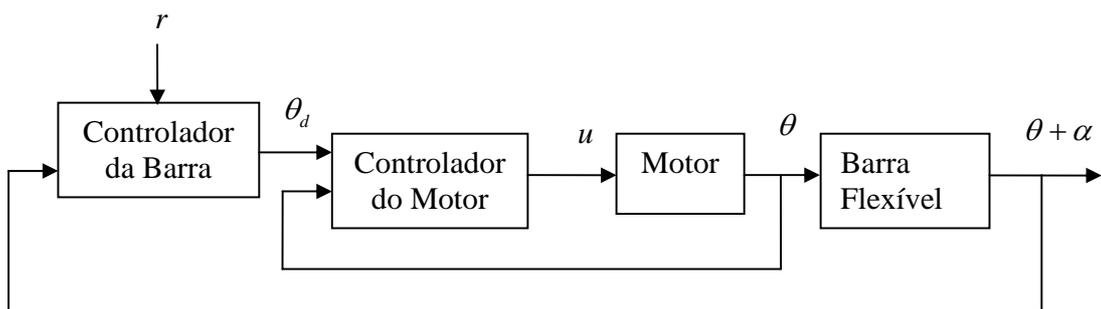


Fig. 5 – Sistema controlado. Fase 2: Controlo em cascata do motor e da barra flexível.