

# Uma perspectiva integrada das disciplinas oferecidas na área de especialização de Sistemas, Decisão e Controlo

### 1. Introdução

No âmbito dos projectos de melhoria da qualidade de ensino, analisou-se o conjunto e a natureza das disciplinas oferecidas na área de especialização de Sistemas, Decisão e Controlo, visando assim promover a melhoria das condições de ensino nos laboratórios utilizados nessas disciplinas, no sentido de maximizar o número de alunos que beneficiariam desta re-estruturação.

Na área de especialização de Sistemas, Decisão e Controlo, as aulas laboratoriais decorrem em 3 laboratórios distintos, situados na Torre Norte:

- Laboratório de Controlo (LSC2), situado no 5º piso.
- Laboratório de Multimédia (LSC1), igualmente situado no 5º piso
- Laboratório de Robótica e Automação (LSCN), situado no piso -1.

Ao longo dos anos, tem vindo a ser definida uma estratégia de desenvolvimento dos laboratórios e da sua vocação, contemplando planos de investimento numa perspectiva temporal alargada. O planeamento plurianual dos investimentos tem sido essencial para, apesar dos orçamentos limitados disponíveis, ter sido possível criar e manter uma infraestrutura importante e funcional, nomeadamente ao nível dos equipamentos informáticos.

Apesar deste esforço existem áreas que claramente têm sido afectadas por deficiências de investimento, nomeadamente aquelas que exigem equipamentos mais específicos e, com frequência, mais onerosos, como sejam instalações de controlo piloto ou sistemas robóticos. Efectivamente, nessa área a maior parte dos equipamentos disponíveis são limitados em número ou sofreram já um desgaste importante, não podendo ser utilizados com o máximo rendimento.

Se, do ponto de vista da manutenção dos equipamentos informáticos, é mais fácil perspectivar a sua actualização e manutenção, os alunos apenas poderão ter acesso a equipamentos específicos de laboratório se uma iniciativa da natureza deste projecto puder viabilizar o re-equipamento dos laboratórios.

Os projectos de melhoria da qualidade de ensino aqui contemplados foram preparados atendendo a esta situação e visando maximizar as sinergias disponíveis e o número de alunos que beneficiarão destes equipamentos.

O diagrama seguinte ilustra a forma como os três projectos definidos visam a melhoria da qualidade de ensino de um conjunto de disciplinas e o número de alunos que beneficiará do projecto.

DISCIPLINAS		PROJECTOS		
		Controlo*	Sinais e Multimédia**	Robótica e Automação***
BEEC	- Sinais e Sistemas			
	- Controlo	280		
API/AS	- 1º Inteligência Artificial e Sist. Decisão			
	- 1º Modelação, Ident. e Controlo Digital	10		
	- 1º Optimização e Algoritmos			
	- 2º Automação de Processos Industriais			20
	- 2º Controlo em Espaço de Estados	60		
	- 2º Modelação e Cont. de Sist. de Manuf.			20
	- 2º Robótica			16
	- 1º Processamento de Fala		50	
	- 1º Processamento de Imagem e Visão		70	
	- 1º Redes Neurais e Aprendizagem Automática		40	
	- 2º Processamento Digital de Sinais			
	- 1º Sist. Controlo Dist. Tempo Real			22
	- 2º Sensores e Actuadores			
			350	160
* Servem ainda de apoio as disciplinas de Controlo Ótimo e Adaptativo (Eng <sup>a</sup> Aeroespacial) e Controlo (Eng <sup>a</sup> Naval e Eng <sup>a</sup> Aeroespacial)				
** Serve ainda de apoio às disciplinas de Processamento de Imagem e Visão (LEIC), Aplicação de Processamento de Sinais a Sistemas Multimedia				
*** Serve de apoio às disciplinas de Robótica Móvel (M) e Robótica da LEIC.				

**TABELA1:** Número de alunos associado a cada projecto de melhoria da qualidade de ensino e as disciplinas associadas a cada projecto.

Note-se que a estruturação destes três projectos permite por um lado cobrir um conjunto muito significativo das disciplinas que efectivamente recorrem a recursos laboratoriais e a integrar o esforço de investimento, instalação, planeamento e manutenção dos vários equipamentos.

É ainda de salientar que o elevado número de alunos que beneficiarão destes projectos pode ainda ser significativamente acrescido se contabilizarmos alunos de outras licenciaturas (por exemplo a LEIC) que utilizam estes laboratórios.

Nas secções seguintes são detalhados os projectos para os conjuntos de disciplinas de controlo, de sinais e multimedia e de robótica e automação descritos nesta nota introdutória.

**Projectos de Melhoria da Qualidade do Ensino  
Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - IST**

Disciplina ou grupo de disciplinas:

Controlo (LEEC-BEEC)  
CEE - Controlo em Espaço de Estados (LEEC-AP/AS)  
MICD - Modelação, Identificação e Controlo Digital (LEEC-AP/AS)

Área de especialização:

SDC - Sistemas de Decisão e Controlo

Nº. de alunos abrangidos neste projecto:

Cerca de 350

Outras Licenciaturas/Áreas de especialização beneficiadas com esta medida:

LEA - Licenciatura em Engenharia Aeroespacial:  
Disciplina COA (Controlo Óptimo e Adaptativo).

Financiamento total solicitado:

**56,202.00 €**

Âmbito:

Equipamento e beneficiação de laboratórios de ensino +

(ou Equipamento de salas de aula ou de salas de estudo  ou Software para ensino   
ou Projecto pedagógico  ou Produção de materiais para ensino )

Objectivos:

Dotar o laboratório da Secção de Sistemas e Controlo que dá apoio às disciplinas de

- Controlo (BEEC, 280)
- Controlo em Espaço de Estados (LEEC, 60 alunos)
- Modelação, Identificação e Controlo Digital (LEEC, 10 alunos)
- Controlo Óptimo e Adaptativo (LEA, 10 alunos)

de equipamento que permita o teste, em situação o mais possível real, dos algoritmos de identificação e controlo estudados nessas disciplinas.

Descrição do equipamento (se aplicável ao projecto)

#	Designação	Custo Unit	Quant	Custo total
1	SRV02-T (motor+potenciómetro+taquímetro)	2 160 €	6	12 960.00 €
2	BB01 (ball and beam module)	1 712 €	6	10 272.00 €
3	FLEXGAGE (barra flexível com sensor de deflexão)	1 200 €	6	7 200.00 €
4	UPM1503 (fonte de alimentação – 15 V – 3 A)	960 €	6	5 760.00 €
5	Shipping and insurance			1 010.00 €
6	Placa de aquisição DT	1,000€	6	6 000.00 €
7	Taxas Alfandegarias e IVA (aproximadamente)			13 000.00 €
	<b>TOTAL</b>			<b>56 202.00 €</b>

Orçamento detalhado <sup>excluindo equipamento</sup> (quando aplicável ao projecto):

NA

Descrição pormenorizada e calendarização (quando aplicável ao projecto):

O Laboratório de Controlo (LSC2) serve a disciplina de base de CONTROLO e as disciplinas de especialização MICD, CEE e COA.

A disciplina de CONTROLO contém uma componente forte composta por 4 trabalhos onde se abordam os problemas de controlo de posição e velocidade de motores eléctricos. O equipamento que tem vindo a ser utilizado é de construção frágil e encontra-se já em estado avançado de envelhecimento e deterioração. É portanto urgente proceder à sua actualização.

As cadeiras de especialização, MICD, CEE e COA, visam a identificação e controlo de sistemas mais complexos. Em particular a disciplina de MICD tem vindo a utilizar um kit da QUANSER “bola na calha” como trabalho de laboratório nos últimos dois anos com resultados muito positivos. Isto tem sido possível porque pelo facto de a disciplina ser frequentada por apenas 7 alunos. A disponibilidade de 6 bancadas permitiria a extensão a mais alunos e a outras disciplinas.

Consequentemente, este projecto visa o re-equipamento do LSC2 com um conjunto de material robusto que sirva simultaneamente os interesses quer da cadeira de base quer da cadeira de especialidade. Propõe-se a aquisição de kits modulares que sirvam, nas suas versões mais simples, os objectivos da cadeira de CONTROLO e em versões mais completas as disciplinas da especialidade.

A reutilização de algum equipamento pelas diversas disciplinas envolvidas permite uma efectiva optimização de recursos.

Em detalhe, o projecto consiste na montagem de 6 bancadas para teste de sistemas de controlo baseado em computador, constantes dos seguintes elementos:

- 1 computador
- 1 placa de aquisição de sinais (AD/DA)
- 1 processo constituído por: i) motor eléctrico com sensor de posição e velocidade; ii) uma calha com sensor de posição de uma esfera; iii) barra flexível equipada com um sensor de deformação.

Actualmente existe uma destas bancadas pretende-se adquirir mais 6 conjuntos por forma ter 6 bancadas activas mais um sobresselente. Conjugando os diversos módulos é possível montar três processos diferentes em cada bancada.

A calendarização seguiria os seguintes períodos:

- Fase 1: Lançamento de consultas e adjudicação: 1 mês.
- Fase 2: Entrega pela firma seleccionada: 4 meses (estimado).
- Fase 3: Testes de comissionamento: 15 dias
- Fase 4: Desenvolvimento de trabalhos adicionais: 6 meses (em paralelo com as fases 1 a 3).

Repare-se que no fim da fase 3 (após a colocação em funcionamento dos novos equipamentos) o equipamento entra imediatamente em função no ensino dado já existirem trabalhos preparados neste momento.

#### Meios já existentes a envolver:

Actualmente existem os **computadores** em número suficiente para equipar **6 bancadas**, e existe **1 processo do tipo descrito**.

Quer a disciplina de CONTROLO quer a de MICD estão já a funcionar segundo uma estrutura semelhante à proposta. Deste modo, existe já um **conjunto de trabalhos preparados**, pelo que o equipamento seria de **utilização imediata** a partir do momento da aquisição.

Novos meios a envolver: Equipamento solicitado

#### Impacte esperado na qualidade do ensino:

O impacto esperado na qualidade do ensino traduz-se nos seguintes aspectos:

- Melhoria do ensino pela possibilidade de testes mais realistas das matérias ensinadas;
- Maior motivação dos alunos dado os ensaios não se limitarem a meras simulações.

#### Sustentabilidade do projecto e meios a mobilizar em anos subsequentes (quando aplicável ao projecto):

Dado que o projecto assenta na extensão de trabalho já realizado, o risco de insucesso é mínimo. A aplicação dos resultados nas disciplinas será naturalmente assegurada pelas equipas docentes das disciplinas envolvidas. Os meios adicionais a envolver em anos subsequentes reduzem-se pois ao esforço de actualização pedagógica e científica das disciplinas em causa, que teria sempre de ser feito.

A disciplina de Modelação, Identificação e Controlo Digital está já a funcionar pelo segundo ano consecutivo com base numa bancada destas. Deste modo, existe já um conjunto de trabalhos preparados, pelo que a utilização do equipamento seria imediata a partir do momento da aquisição.

Na generalidade das disciplinas envolvidas neste projecto a expectativa de sucesso é elevada, já que este novo equipamento não vem introduzir alterações estruturais de fundo no actual esquema de funcionamento dos laboratórios. O actual modo de funcionamento

dos laboratórios é o resultado de muitos anos de experiência e sucessivos melhoramentos dos quais este projecto é mais uma contribuição importante.

Metodologia para avaliação de resultados (quando aplicável ao projecto):

A metodologia de avaliação de resultados pode incluir os seguintes passos:

1. Verificação da instalação do equipamento e sua demonstração em funcionamento.
2. Contagem do número de alunos abrangidos ao fim de 2 semestres de utilização.
3. Inquérito aos alunos
4. Inquérito aos docentes.

Coordenador da equipa de projecto (nome e e-mail):

Coordenação: João Miranda Lemos ([jlml@inesc.pt](mailto:jlml@inesc.pt))

Equipa envolvida:

- Prof. João Miranda Lemos ([jlml@inesc.pt](mailto:jlml@inesc.pt))
- Prof<sup>a</sup>. Isabel Ribeiro ([mir@isr.ist.utl.pt](mailto:mir@isr.ist.utl.pt))
- Prof. António Pascoal ([antonio@isr.ist.utl.pt](mailto:antonio@isr.ist.utl.pt))
- Prof. Eduardo Morgado ([emorgado@alfa.ist.utl.pt](mailto:emorgado@alfa.ist.utl.pt))
- Prof. Francisco Garcia ([fmg@isr.ist.utl.pt](mailto:fmg@isr.ist.utl.pt))
- Prof. João Sanches ([jmrs@alfa.ist.utl.pt](mailto:jmrs@alfa.ist.utl.pt))
- Prof. José Gaspar ([jag@isr.ist.utl.pt](mailto:jag@isr.ist.utl.pt))
- Eng. Alexandre Bernardino ([alex@isr.ist.utl.pt](mailto:alex@isr.ist.utl.pt))

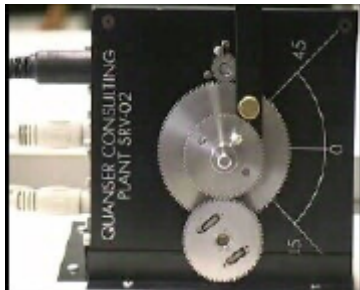
ANEXOS:

Anexa-se a este documento uma descrição do equipamento a adquirir, assim como o enunciado do trabalho que tem vindo a ser efectuado no kit disponível

## Descrição do Sistema a Adquirir

Os sistemas a adquirir são kits educacionais da Quanser Consulting, compostos por:

1 – Sistema de actuação rotacional composto por motor DC, caixa de redução, sistema de engrenagens externo, potenciometro e taquímetro.



2 – Calha instrumentada com sensor de posição e adaptação ao motor:



3 – Módulo amplificador de potência e placa de ligações:



4 – Acessórios: cabos de ligação, esferas, manuais de utilização, software, exemplos de experiências e enunciados de trabalhos.

**Todas as fotografias foram tiradas no Laboratório de Controlo (LSC2)**

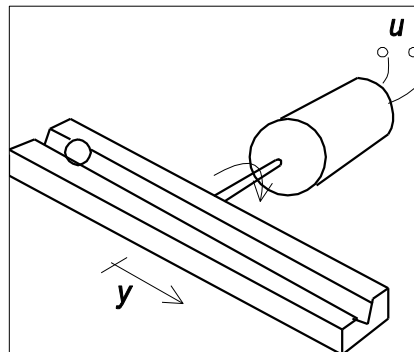


*Licenciatura em Engenharia Electrotécnica  
e de Computadores*

2003/2004  
Semestre de Inverno

# **Modelação, Identificação e Controlo Digital**

## *Controlo Digital da Posição de uma Esfera*



Preparado por

*Alexandre Bernardino  
J. Miranda Lemos*

IST, Secção de Sistemas e Controlo

## **Aspectos diversos**

O trabalho consta de 3 partes, designadas respectivamente:

1. Interface entre o Computador e o Processo (2 sessões);
2. Identificação do Processo (5 sessões);
3. Controlo Digital (5 sessões);

Na semana seguinte à finalização de uma parte, os alunos deverão entregar um relatório sucinto do trabalho efectuado nessa fase.

A avaliação é efectuada por análise conjunta dos relatórios e da apresentação final do trabalho.

## Parte 1 - Aquisição de sinais e interface entre o computador e o processo

Duração : 2 sessões

Número máximo de páginas do relatório: 6 (fonte mínima 10pt).

Objectivo: Utilizar a placa DT2811 para interface entre o computador e o sistema a controlar. Em particula:

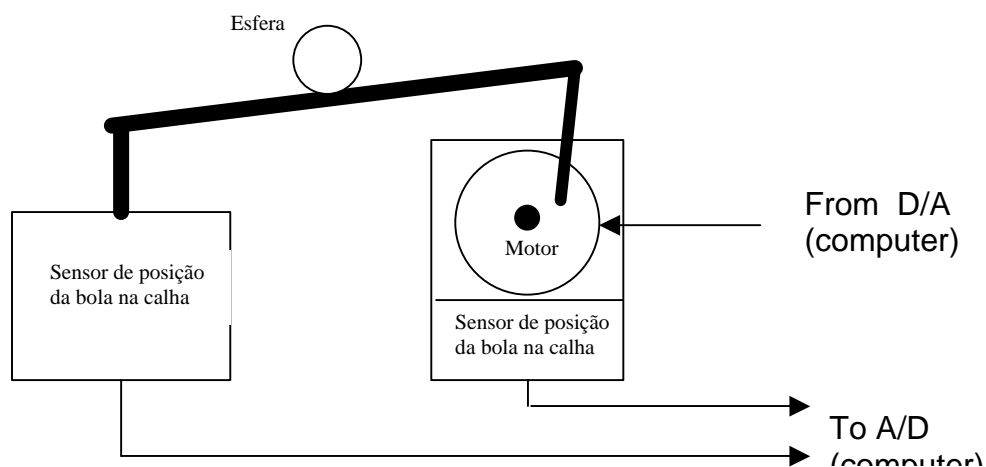
- Dar comandos no programa existente para controlo com um PI.
- Modificar este programa para poder dar outros comandos ao actuador.
- Ler sinais.
- Variar intervalos de amostragem.
- Registar sinais e passá-los ao MATLAB

**Não se esqueça de trazer uma disquete para guardar resultados.**

### Introdução.

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

O sistema a controlar consiste num kit didáctico da Quanser, composto por um motor eléctrico com caixa redutora, uma calha linear, uma esfera metálica, um amplificador de potência e elementos mecânicos e eléctricos de ligação. Por actuação do motor eléctrico é possível variar o declive da calha. O sistema é ligado a um computador equipado com uma placa (DT2811 da Analog Devices) de conversores analógicos/digitais e digitais/analógicos e software adequado. O objectivo é o de controlar a posição da esfera ao longo da calha de acordo com referências pretendidas.



A primeira parte do trabalho de laboratório tem como objectivo familiarizar os alunos com o software de aquisição de sinal e controlo em tempo-real, que será umas das principais ferramentas de trabalho para as restantes sessões de laboratório.

## Descrição geral.

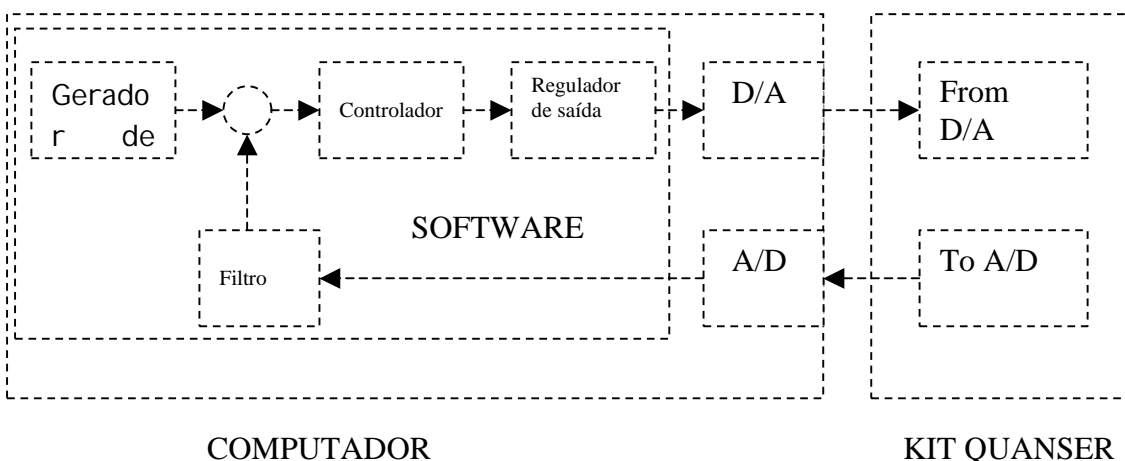
O software fornecido para controlo em tempo-real é uma adaptação do software original da Quanser, escrito em C para computadores PC-AT tendo como base o sistema operativo DOS. Apesar deste programa apresentar muitas funcionalidades desejadas, algumas terão que ser programadas pelo aluno. Por isso, é fundamental compreender o código fonte do programa para poder fazer as alterações necessárias.

O base do programa consiste numa rotina de tempo-real que lê os sensores, calcula os sinais de controlo e envia comandos para o motor. A leitura dos sensores e envio de comandos são feitos através da placa de aquisição de sinal DT2811. São efectuadas leituras de:

- Sensor de posição angular do motor (A/D canal 0),
- Sensor de posição linear da esfera na calha (A/D canal 1)
- Um sinal auxiliar para utilização de referências externas (A/D canal 2).

Os comandos para o motor são enviados para o canal 0 do D/A.

O diagrama de blocos seguinte ilustra o funcionamento global do sistema de controlo digital.



Uma rotina de interface com o utilizador permite operar o programa em tempo-real, com as seguintes funcionalidades:

- Geração de referências do tipo escalão, rampa e *sweep* (varrimento na frequência).
- Configuração de amplitude das referências.
- Configuração da velocidade da referência do tipo rampa.
- Selecionar diferentes tipos de controlador.
- Configurar ganhos dos controladores.
- Configurar frequência de corte do filtro passa-baixo digital.
- Configurar frequência de amostragem.
- Inibir/desinibir envio de comandos para o motor.
- Configurar frequência dos sinais de referência
- Marcar a posição 0 da bola na calha.
- Configurar a duração do buffer de dados para gravação de sinais
- Visualizar sinais e gravar em ficheiro
- Escolher os sinais para visualizar e gravar

- Visualizar a evolução do sinal escolhido em tempo-real

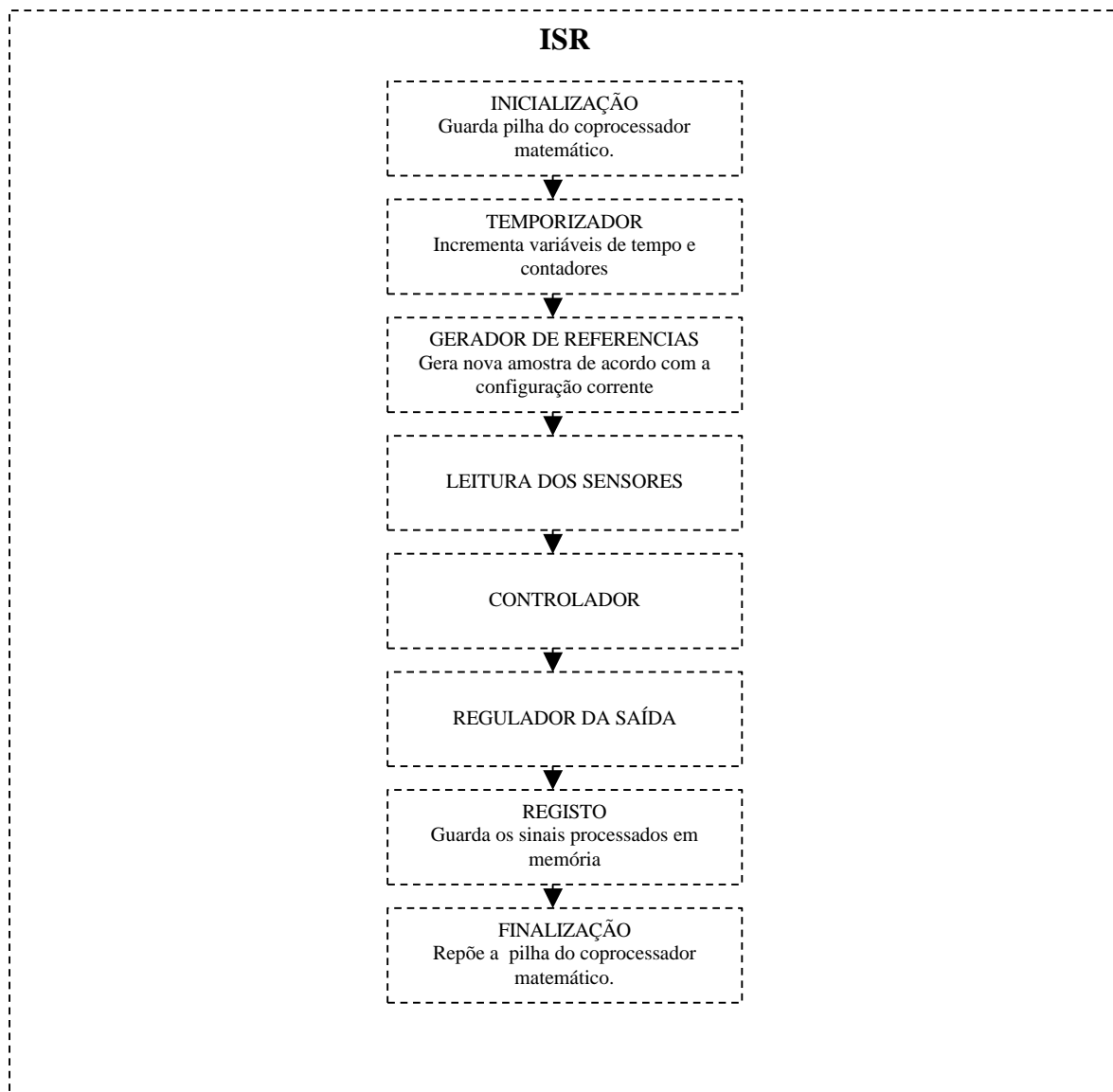
A maioria das funcionalidades podem ser invocadas pelo utilizador em tempo de execução através de comandos de teclado. No ecrã principal do programa estão descritas as teclas que correspondem aos diversos comandos.

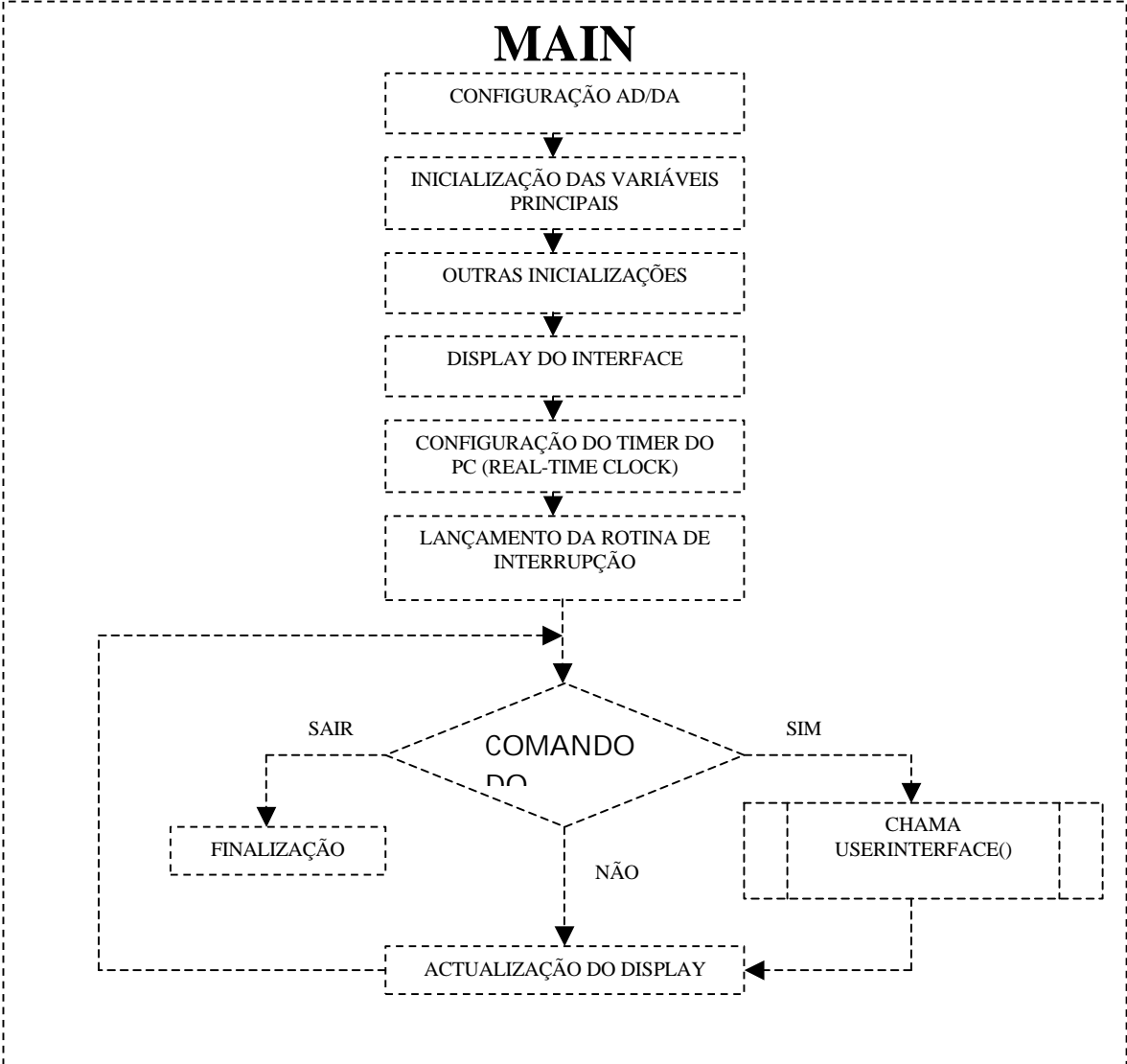
## Arquitectura de software

O programa base consiste em duas linhas de execução paralelas:

- Uma rotina de serviço a interrupção (ISR), executada uma vez em cada período amostragem, que executa a leitura dos sensores, o cálculo dos sinais de controlo e o envio de comandos para o motor.
- Uma linha de execução convencional (MAIN) que procede ao arranque do programa, inicialização de parâmetros, lançamento da ISR e interface com utilizador.

As figuras seguintes apresentam os fluxogramas destas duas linhas de execução.





## Tarefas a efectuar:

1. O programa base implementa por defeito alguns controladores. Represente de forma gráfica (fluxograma, diagrama de blocos, ...) o código que calcula os sinais de controlo. Inclua a filtragem passa-baixo dos sensores e a saturação do sinal de saída, e comente a sua utilidade.
2. Os parâmetros do controlador são pré-definidos no código fonte. Altere-o de forma a que os parâmetros possam ser incluídos a partir de um ficheiro externo. Defina um formato para o ficheiro segundo uma estrutura baseada em equações às diferenças:

$$y(k+n) + a_1 y(k+n-1) + \dots + a_n y(k) = b_0 u(k+m) + b_1 u(k+m-1) + \dots + b_m u(k)$$

3. Converta o controlador para o novo formato o controlador dado e verifique o bom funcionamento do ponto anterior.
4. Descreva o funcionamento do gerador interno de referências. Altere o código fonte de modo a permitir gerar uma senoide, para além do escalão e da rampa.
5. Verifique o bom funcionamento do ponto anterior utilizando o osciloscópio para visualizar uma senoide de 200Hz gerada pelo computador. Descreva o procedimento efectuado e comente como definir a frequência de amostragem.
6. Elabore em Simulink um modelo que simule o funcionamento do sistema de controlo digital em causa. Construa um modelo o mais completo possível. Arbitre funções de transferência para os blocos ainda desconhecidos. Inclua os modelos para:
  - Sistema a controlar.
  - Controlador.
  - Gerador de referências
  - Filtro de anti-aliasing contínuo.
  - Filtro digital de atenuação do ruído.
  - Observador digital das velocidades.
  - *Sample-and-hold*.
  - Retentor de ordem zero.
  - Saturações dos sinais.
  - Outros ?
7. Identifique no código fonte como se processa o registo dos sinais em memória. No programa original apenas uma variável pode ser guardada e visualizada de cada vez. Altere o programa por forma a que seja possível guardar todos os sinais desejados.
8. Na sequência do ponto anterior, altere o código para gravar em ficheiro todos os sinais de interesse. Grave os sinais em formato MATLAB.
9. Para testar a nova funcionalidade, utilize um gerador de funções analógico para introduzir sinais de baixa frequência (0.1-10Hz) no canal 0 do conversor A/D. Grave os dados adquiridos num ficheiro. Utilize o matlab para ler os dados. Utilize a rotina de matlab `fft` para determinar com precisão a frequência do sinal.

## Notas sobre a compilação do programa.

O código base e ficheiros de compilação encontram-se na directoria C:\MICD\LAB:

- MICDPATH.BAT – Ficheiro *batch* para configurar o compilador de C.
- MICD.C – código fonte do programa principal
- DT2811.DRV – rotinas de interface (API) com a placa AD/DA utilizadas no programa principal.
- EGAVGA.BGI – Ficheiro binário necessário às rotinas gráficas.
- MAKE.BAT – Ficheiro *batch* para compilar o programa.
- MICD.EXE – Programa executável.

Copie estes ficheiros para a directoria C:\MICD\WORK\

O programa fornecido funciona em MS-DOS. Pode ser compilado e corrido em Windows 98 mas a frequência de amostragem é menos estável.

### **Notas sobre a programação.**

- As rotinas de serviço de interrupção são blocos de código não reentrante, ou seja, não preservam necessariamente os valores da pilha de dados do programa. Por este motivo não é aconselhado declarar variáveis locais dentro de funções. Declare todas as variáveis necessárias como variáveis globais, identificando-as convenientemente.
- Leia, para além deste guia, as folhas relativas ao software de controlo da Quanser.
- O código fonte do programa está suficientemente comentado e é certamente um excelente elemento de estudo fundamental.

### **Relatório.**

Elabore um relatório sucinto (max. 6 pag. 10 pt) que descreva as tarefas efectuadas nas sessões e comentários adicionais. Inclua em anexo as alterações efectuadas ao código fonte. Em próximas sessões terá necessidade de efectuar mais alterações ao código do programa, por isso o relatório que escrever agora poderá ser muito útil no futuro ! Bom trabalho.

# Parte 2 – Modelação e Identificação

Duração: 5 sessões

Número máximo de páginas do relatório: 12 (fonte mínima 10pt).

Objectivo: Obter modelos paramétricos e não paramétricos estimados a partir de dados experimentais.

Fases:

- Modelar o sistema com base nas leis da física e contruir um simulador em matlab.
- Determinação de características importantes do sistema a partir do modelo físico, que condicionem as experiências a efectuar.
- Ensaio experimentais para identificação não paramétrica (determinação da largura de banda e atraso do sistema).
- Ensaio experimentais para identificação paramétrica (determinação da ordem do modelo e estimação dos parâmetros).
- Comparação com o modelo físico.

## Introdução

Nesta fase do trabalho pretende-se obter os parâmetros de um model ARX ou ARMAX que descrevam o sistema a controlar. Será com base nestes modelos que serão projectados os controladores na parte 3.

Deverá construir modelos relativos ao motor somente e ao sistema completo. Assim poderá na parte finais do trabalho, se achar conveniente, projectar um controlo desacoplado dos dois sistemas.

## Tarefas a efectuar

1. Construa modelos matemáticos de base física dos sistemas “motor” e “motor+calha”. A documentação da Quanser tem a descrição física dos sistemas motor e calha, de onde se podem retirar algumas equações. Tenha em conta as não linearidades do sistema e programe os modelos em SIMULINK com valores nominais dos parâmetros que são fornecidas na bibliografia da Quanser, mas tem liberdade para as alterar. Estes modelos permitirão fazer algumas experiências em simulação de modo a planejar as experiências reais. Tenha em conta que construir um modelo implica aproximações. Em particular, certas massas ou efeitos podem ser tão pequenos que são considerados desprezáveis, o que permite reduzir o número de equações diferenciais necessárias para representar o modelo. O importante é captar a dinâmica dominante do sistema, que seja significativa para o tipo de estudo a fazer.
2. Linearize e discretize o modelos físicos. Verifique que características dinâmicas importantes pode esperar que os sistemas reais venham a revelar, tais como polos em  $z=1$ , e zeros de fase não mínima.
3. Planeie e execute um conjunto de ensaios experimentais que lhe permita recolher dados para obter descrições não paramétricas dos sistemas. Estas descrições, apesar de não muito precisas, permitem-lhe ter uma ideia de certas características dos

sistemas importantes para a determinação do ritmo de amostragem e atrasos, que serão úteis para o planeamento de experiências posteriores.

4. Planeie e execute um conjunto de ensaios experimentais que permita recolher dados para a estimação dos parâmetros de modelos ARX e ARMAX. Deve ter vários aspectos em conta, por exemplo:
  - Que tipo de sinal de entrada utilizar (PRBS, onda quadrada, ...);
  - Em que banda de frequência excitar os sistemas?
  - Qual o intervalo de amostragem mais conveniente?
5. A partir dos dados, estime modelos ARX e ARMAX para representar os sistemas. Discuta questões como:
  - Há vantagem em usar o modelo ARMAX ou o ARX é suficiente?
  - Qual a ordem mínima que representa bem os sistemas?
6. Compare os resultados experimentais com os obtidos em simulação. Discuta as diferenças.

**Nota importante:** nas experiências com o sistema real tenha sempre em conta as limitações físicas do sistema para evitar entrar em zonas não lineares (saturação dos actuadores, atingir batentes, etc).

## **Relatório.**

Elabore um relatório sucinto (max. 12 pag. 10 pt) que descreva as tarefas efectuadas nas sessões e comentários adicionais. Inclua em anexo as alterações efectuadas ao código fonte, código matlab e simulink utilizado, assim como figuras e tabelas relativas às experiências efectuadas.

# Parte 3 - *Controlo digital*

Duração: 5 sessões

Número máximo de páginas do relatório: 12 (fonte mínima 12pt).

Objectivo: Síntese e realização em tempo real de um controlador digital para o seguimento de referências variáveis no tempo. Utilizar técnicas polinomiais.

## Introdução

Esta parte do trabalho dedica-se ao projecto de controladores de parâmetros fixos e a sua aplicação ao sistema real. Com base no conhecimento do sistema já adquirido nas sessões anteriores o grupo deve proceder à especificação do desempenho pretendido para o sistema de controlo. Deverão ser projectados controladores polinomiais com dois graus de liberdade, de acordo com essas especificações. O projecto deverá ser validado através de experiências com o sistema real.

## Tarefas a efectuar

1. Defina um conjunto de especificações que considere adequadas para o controlo do sistema dado em termos do seguimento de referências, rejeição de perturbações, atenuação de ruído, robustez, etc...
2. Projecte controladores para o sistema e ensaie-os em simulação com base no modelo não linear. Discuta quais os limites das especificações que pode estabelecer.
3. Implemente os controladores assim realizados em C e teste-os no sistema real. Considere respostas a variações da referência de posição da esfera e a perturbações.
4. Efectue alterações aos controladores de modo a aproximar-se das especificações definidas.
5. Comente as diferenças entre os resultados obtidos e os esperados.

**Nota importante:** nas experiências com o sistema real tenha sempre em conta as limitações físicas do sistema para evitar entrar em zonas não lineares (saturação dos actuadores, atingir batentes, etc).

## Relatório.

Elabore um relatório sucinto (max. 12 pag. 10 pt) que descreva as tarefas efectuadas nas sessões e comentários adicionais. Inclua em anexo as alterações efectuadas ao código fonte, código matlab e simulink utilizado, assim como figuras e tabelas relativas às experiências efectuadas.

**Projectos de Melhoria da Qualidade do Ensino  
Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - IST**

Disciplina ou grupo de disciplinas:

Processamento de Imagem e Visão,  
Processamento de Fala,  
Aplic. Proc Sinais a Sist Multimedia  
Redes Neurais e Aprendizagem Automática

Área de especialização:

Sistemas Decisão e Controlo; Computadores

Nº. de alunos abrangidos neste projecto:

90 alunos

Outras Licenciaturas/Áreas de especialização beneficiadas com esta medida:

LEIC (Processamento de Imagem e Visão)

Financiamento total solicitado: **6920 €**

**Âmbito: Equipamento e beneficiação de laboratórios de ensino** ou Equipamento de salas de aula ou de salas de estudo ou **Software para ensino** ou Projecto pedagógico ou Produção de materiais para ensino.

Para além das disciplinas de Processamento de Imagem e Visão (PIV) e Processamento de Fala (PF), esta re-estruturação irá ainda beneficiar as disciplinas de Redes neuronais e aprendizagem automática (RNAA) e Aplic. Proc Sinais a Sistemas Multimedia, que utilizam o Laboratório LSC1. No caso concreto da disciplina de RNAA, não foram incluídas nesta proposta a aquisição de novas versões da package Neurosolutions (13000 €), dado que essa proposta já estaria a ser tratada pela Secção de Sistemas Digitais.

### **Objectivos:**

#### **Processamento de Imagem e Visão**

A disciplina de Processamento de Imagem e Visão tem proposto projectos de laboratório (obrigatórios) que abrangem cerca de 60 alunos e que pretendem estimular a aprendizagem e a capacidade de resolução de problemas. Os projectos têm sido feitos com base em imagens e sequências de vídeo curtas, pré adquiridas, o que limita o âmbito dos projectos propostos. Com esta proposta, pretende-se estender o trabalho que tem vindo a ser realizado a **problemas interactivos e de tempo real** como a identificação de pessoas, a análise de gestos, a vigilância ou o controlo baseado em visão, temas que estimulam o interesse dos alunos e têm grande valor formativo. Por isso propomos a montagem de 16 bancadas com:

- 1 computador (já existente)
- 1 câmara de vídeo com ligação USB
- 1 unidade de leitura e escrita de DVD

No momento existem computadores em número suficiente mas não permitem a aquisição de imagem ou o armazenamento de sequências de vídeo longas.

#### **Processamento de Fala**

As condições de gravação do sinal de fala são um factor determinante no desempenho e qualidade dos sistemas de processamento de fala. Uma das componentes importantes da disciplina de processamento de fala é a do desenvolvimento no laboratório de alguns dos componentes constitutivos de sistemas de reconhecimento e síntese de fala. Nesta perspectiva, seria muito útil aproveitar esta oportunidade para ensinar aos alunos algumas técnicas para gravação do sinal de fala com elevada qualidade. Para tal propõe-se a aquisição de 3 conjuntos de equipamentos que permitam aos alunos realizar eles próprios estas gravações.

### Descrição do equipamento (se aplicável ao projecto)

#	Designação	Custo Unit	Quant	Custo total
1	câmaras de vídeo com ligação USB	120 €	16	1,920 €
2	unidades de leitura & escrita DVD	200 €	16	3,200 €
3	par de auscultadores profissionais com microfone headmounted	250 €	3	750 €
4	sistema de aquisição de sinal de alta qualidade com ligação USB	250 €	3	750 €
5	licença de software de gravação multipista (100 EUR)	100 €	3	300 €

**Orçamento detalhado** excluindo equipamento **(quando aplicável ao projecto):** Não se prevêem outras despesas, com excepção das mencionadas no quadro anterior.

### Descrição pormenorizada e calendarização (quando aplicável ao projecto):

**[PIV]** - O projecto consiste na montagem de 16 bancadas para processamento de imagem e de vídeo equipadas com

- 1 computador
- 1 câmara de vídeo com ligação USB
- 1 unidade de leitura e escrita de DVD

A disciplina de Processamento de Imagem e Visão já funciona num regime baseado na realização de projectos. Pretende-se reforçar esta experiência com a capacidade para aquisição de imagem em tempo real e armazenamento de vídeo de forma a que os alunos possam fazer projectos mais motivadores e realistas e envolvendo interactividade e processamento em tempo real. Com esta proposta, os alunos passam a poder desenvolver soluções completas desde a aquisição de imagem até à visualização.

**[Processamento da Fala]** - As condições de gravação do sinal de fala são um factor determinante no desempenho e qualidade dos sistemas de processamento de fala. Uma das componentes importantes da disciplina de processamento de fala é a do desenvolvimento no laboratório de alguns dos componentes constitutivos de sistemas de reconhecimento e síntese de fala. Nesta perspectiva, seria muito útil aproveitar esta oportunidade para ensinar aos alunos algumas técnicas para gravação do sinal de fala com elevada qualidade.

Para tal propõe-se a aquisição de 3 conjuntos de equipamentos que permitam aos alunos realizar eles próprios estas gravações:

- 1 par de auscultadores profissionais com microfone headmounted.
- 1 sistema de aquisição de sinal de alta qualidade com ligação USB.
- 1 licença de software de gravação multipista.

### Calendarização:

- Fase 1: Lançamento de consultas e adjudicação (1 mês)
- Fase 2: Entrega do material (3 meses)
- Fase 3: Instalação e desenvolvimento de software (1 mês)
- Fase 4: Desenvolvimento de novos projectos (3 meses)

**Impacto esperado na qualidade de ensino:** O impacto esperado na qualidade do ensino traduz-se nos seguintes aspectos:

- **[PIV]** - Melhoria do ensino pela possibilidade de aplicar os conhecimentos adquiridos em problemas interactivos; Maior motivação dos alunos uma vez que têm a possibilidade de desenvolver e testar sistemas completos de Visão por Computador.
- **[Processamento da Fala]** - Actualmente os alunos usam para gravação microfones e placas de audio cuja qualidade (em termos de ruído, conversão analógico/digital, etc.) tem afectado negativamente os trabalhos de laboratório da disciplina de PF, não só dificultando a manipulação dos sinais gravados, como também baixando significativamente a qualidade dos resultados sintetizados ou reconhecidos, que ficam manifestamente aquém do estado da arte.
- 

A disciplina de Processamento de Imagem e Visão está já a funcionar com base na realização de Projectos por parte dos alunos. Os projectos abrangem actualmente 60 alunos. A aquisição deste equipamento possibilitaria a realização de projectos mais variados e motivadores.

**Meios já existentes a envolver:** 16 PCs ligados através de rede local.

**Novos meios a envolver:**

- 1) 16 câmaras com ligação USB
- 2) 16 unidades de leitura & escrita DVD
- 3) 3 pares de auscultadores profissionais
- 4) 3 sistemas de aquisição de sinal de alta qualidade
- 5) 3 licenças de software de gravação multipista

**Sustentabilidade do projecto e meios a mobilizar em anos subsequentes (quando aplicável ao projecto):**

**[PIV]** - O risco de insucesso é mínimo dado que o projecto baseia-se na extensão do trabalho de projecto que tem vindo a ser realizado na disciplina de Processamento de Imagem e Visão e que tem merecido uma grande adesão por parte dos alunos. A execução do projecto proposto será garantido pela equipa que assegura a leccionação da disciplina.

**[Processamento da Fala]** - O equipamento a adquirir não foi dimensionado para cobrir o número de postos de trabalho do laboratório, por se pensar que a sua partilha é possível, de modo a diminuir os custos.

**Metodologia para avaliação de resultados (quando aplicável ao projecto):**

A metodologia de avaliação de resultados pode incluir os seguintes passos:

- 1) Verificação da instalação do equipamento e sua demonstração em funcionamento.
- 2) Contagem do número de alunos abrangidos ao fim de 2 semestres de utilização.
- 3) Inquérito aos alunos
- 4) Inquérito aos docentes.

**Coordenador da equipa de projecto (nome e e-mail):**

Prof. Jorge Salvador Marques, [jsm@isr.ist.utl.pt](mailto:jsm@isr.ist.utl.pt)

**Equipa do Projecto:**

- 1) Prof. Jorge Salvador Marques
- 2) Prof. João Sanches
- 3) Prof. José Santos Victor
- 4) Prof. João Paulo Costeira
- 5) Prof<sup>a</sup> Isabel Trancoso

**Projectos de Melhoria da Qualidade do Ensino  
Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - IST**

Disciplina ou grupo de disciplinas

Róbotica, Robótica Móvel,  
Automação de Processos Industriais,  
Sistemas de Controlo Distribuído em Tempo Real

Área de especialização

Sistemas, Decisão e Controlo

Nº. de alunos abrangidos neste projecto

108

Outras Licenciaturas/Áreas de especialização beneficiadas com esta medida:

LEIC (Robótica).

Financiamento total solicitado    **34,000 €**

**Âmbito**

Equipamento e beneficiação de laboratórios de ensino **ou** Projecto pedagógico.

**Objectivos**

1. Aumentar a capacidade lectiva e de leccionação do laboratório de Robótica (LSCN) com equipamento capaz de cativar um maior número de alunos para a área da Robótica e Automação.
2. Permitir a integração de conteúdos entre várias disciplinas ligadas à área, nomeadamente, (i) Robótica, (ii) Robótica Móvel, (iii) Automação de Processos Industriais e (iv) Sistemas de Controlo Distribuído em Tempo Real.
3. Preparar o laboratório de Robótica (LSCN) com vista à implementação de um sistema

**Descrição do equipamento**

#	Designação	Custo Unit	Quant	Custo total
1	Manipulador ROB3 / TR5	4500	3	13500
2	Kit Lego MindStorms básico e kits de extensão	750	7	5600
3	Autómato (PLC) com capacidade de supervisão	3250	1	3250
4	Placa de rede para PLC	1250	3	3750
5	Software para PLC de supervisão	1500	1	1500
6	Kit SpacePC 2320 para controlo em tempo real	1000	5	5000
7	Sensores ultrasónicos	100	7	700
8	Sensores de infravermelhos	100	7	700
	<b>TOTAL</b>			<b>€ 34,000</b>

**Orçamento detalhado** excluindo equipamento

Não aplicável ao projecto.

## Descrição pormenorizada e calendarização

Dados os objectivos acima enunciados, o projecto possui duas grandes fases, organizadas de forma sequencial:

1. Integração dos novos equipamentos nos currícula existentes,
2. Desenvolvimento da infra-estrutura de apoio ao sistema de e-learning de Robótica e Automação.

Para a fase 1 propõe-se a seguinte calendarização:

1. Consultas e aquisição de equipamento - 3 meses
2. Preparação de novos trabalhos de laboratório e/ou adaptação dos existentes - 1 mês

Para a fase 2 propõe-se a seguinte calendarização:

1. Elaboração do plano de infra-estruturas (incluindo o sistema de informação e recursos humanos) - 1 ano
2. Implementação - 1 ano

## Impacto esperado na qualidade de ensino

As disciplinas de Robótica e Automação de Processos Industriais partilha o actual parque de manipuladores ROB3/TR5 (Figura 1) com a conseqüente diminuição do tempo de vida útil de cada manipulador.



Figura 1: O manipulador ROB3 / TR5

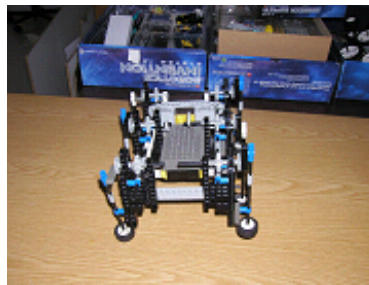
Na situação actual, e para o número médio de alunos dos últimos anos, a falha de um único manipulador afecta directamente 4 grupos de trabalho (12 alunos) e indirectamente 12 grupos (36 alunos, i.e., cerca de 75% dos alunos inscritos a Robótica). O aumento do número de manipuladores disponível permitirá prevenir esta situação.

A utilização dos kits Lego MindStorms para o ensino da Robótica está actualmente generalizada (são várias as universidades na Europa e EUA a fazerem uso deste sistema), o que dará aos alunos do IST um termo de comparação com colegas estrangeiros. A utilização dos Lego MindStorms permitirá ainda um aumento da eficiência na execução dos trabalhos relacionados com Robótica móvel. Note-se que actualmente a única plataforma móvel disponível (plataforma Labmate) obriga, em cada semestre, à criação de um sistema de partilha de tempo entre os grupos de alunos (com a conseqüente diminuição do rendimento escolar). Como atestam experiências já realizadas

no Instituto de Sistemas e Robótica, os trabalhos de laboratório já desenvolvidos para a plataforma Labmate são facilmente transpostos para os robots feitos em Lego. Acresce ainda que a grande flexibilidade deste sistema permitirá a iniciação dos alunos aos robot múltípedes, área tradicionalmente interdita dados os elevados custos económicos associados aos sistemas clássicos. Os sistemas a adquirir compreendem o kit básico Robotics Invention System e as extensões Vision Command, Exploration Mars, Droid Developers Kit, Darkside Developers Kit e Ultimate Accessory Set. As disciplinas Robótica e Robótica Móvel partilharão este equipamento. A Figura 2 ilustra alguns tipos de robots passíveis de serem construídos em Lego.



Robot de tipo unicycle



Robot múltípede (6 pernas)



Múltiplos robots

Figura 2: Robots Lego

Os sensores ultrasónicos e de infravermelhos permitirão complementar as capacidades originais dos kits Lego, introduzindo os alunos nas áreas, fundamentais, da detecção e prevenção de obstáculos na robótica. As disciplinas de Robótica e Robótica Móvel partilharão este equipamento.

A instalação da rede com supervisão entre os PLC já existentes no laboratório (Figura 3) permite uma extensão das matérias cobertas na disciplina de Automação e Processos Industriais. Entre outras destacam-se, pela sua importância no mercado de trabalho, as redes de comunicação em ambiente industrial e a supervisão de sistemas de automação industriais. Ao nível da disciplina, permitirá a criação de protótipos laboratoriais realistas com integração total de robots e autómatos.



Figura 3: Autómatos programáveis (PLC)

O equipamento para controlo em tempo real tem características "standalone", sendo no entanto fundamental, por exemplo, para a aquisição de conhecimentos basilares de suporte à comunicação entre sistemas distribuídos, e.g. robots e PLCs.

O equipamento a adquirir no âmbito deste projecto, complementado com o já existente, permitirá desenvolver um conjunto de trabalhos de laboratório e protótipos especialmente interessantes para demonstrações à distância e e-learning. São exemplos possíveis (i) a cooperação entre manipuladores (exemplo de grande interesse em contextos industriais), (ii) a cooperação entre robots móveis (com aplicações em sistemas de transporte automatizado e (iii) a supervisão de sistemas automáticos distribuídos (igualmente de interesse em contextos industriais).

O acesso web a este tipo de protótipos representa um passo numa direcção onde múltiplas universidades tecnológicas de primeiro plano em todo o mundo estão a fazer grandes investimentos. Diversos estudos comprovam a validade pedagógica desta abordagem. A nível nacional, e exterior ao IST, permite a disseminação da oferta, pelo IST, de ensino na área da Robótica e Automação e constitui um pólo de captação das gerações mais novas para a área das tecnologias.

### **Meios já existentes a envolver**

Para além dos meios computacionais comuns a todas as disciplinas, a Secção de Sistemas e Controlo disponibiliza actualmente:

- 5 manipuladores ROB3/TR5, partilhados entre Robótica e Automação de Processos Industriais (Figura 1);
- 1 plataforma móvel Labmate, partilhada entre Robótica e Robótica Móvel (Figura 4);
- 4 autómatos Schneider Micro, usados em Automação de Processos Industriais;
- 1 célula de fabrico flexível, com 3 máquinas CNC e 2 manipuladores de 6 juntas, usada em Automação de Processos Industriais (Figura 5);
- 2 conjuntos de tapetes transportadores, usados em Automação de Processos Industriais (Figura 6).



Figura 4: Robot Labmate



Figura 5: Célula de fabrico flexível



Figura 6: Tapetes transportadores

### **Novos meios a envolver**

Todos os constantes na descrição do equipamento acima.

## **Sustentabilidade do projecto e meios a mobilizar em anos subsequentes**

A equipa de desenvolvimento do projecto permitirá uma repartição racional das tarefas tendo em atenção o aumento esperado no número de interessados na área da Robótica e Automação e criando condições de sustentabilidade do projecto.

A utilização eficiente dos meios existentes no laboratório e dos agora propostos requer uma adaptação constante das infraestruturas de suporte, e.g., computadores e software específico, que deverão ser mobilizados à medida das necessidades do projecto.

## **Metodologia para avaliação de resultados**

Para a fase 1:

1. Número de alunos com aproveitamento escolar que utilizam o laboratório em cada semestre,
2. Inquéritos pedagógicos aos alunos.

Para a fase 2:

1. Número de alunos inscritos às disciplinas com trabalhos de laboratório suportados no sistema de e-learning,
2. Número de outros acessos ao sistema.

## **Coordenação da equipa de projecto (nome e e-mail):**

Prof. João Sequeira, [jseq@isr.ist.utl.pt](mailto:jseq@isr.ist.utl.pt)

Equipa do projecto:

1. Prof. Maria Isabel Ribeiro
2. Prof. Pedro Lima
3. Prof. Paulo Oliveira
4. Prof. Carlos Silvestre
5. Prof. João Sequeira