

**José Alberto Gouveia Fonseca**

**Relatório**

**Programa, Conteúdo e Métodos de Ensino**

**Teórico e Prático da Disciplina**

**Redes de Comunicação em  
Ambientes Industriais**

(Apresentado no âmbito do Concurso para Professor Associado do Grupo/Subgrupo  
10 - Engenharia Electrónica da Universidade de Aveiro, Publicado em em Edital  
nº467/99 do D.R. nº 143 II Série de 22/6/1999)

*Universidade de Aveiro*

*Setembro de 1999*

# **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2. MOTIVAÇÃO E ANTECEDENTES DA DISCIPLINA</b>	<b>5</b>
<b>3. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS</b>	<b>9</b>
<b>4. PROGRAMA DA DISCIPLINA</b>	<b>11</b>
4.1. Introdução	11
4.2. Análise detalhada do programa teórico	14
<b>5. ELEMENTOS PARA APOIO BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>21</b>
5.1. Introdução	21
5.2. Bibliografia Base para a Componente Teórica	22
5.3. Bibliografia Base para a Componente Laboratorial	23
5.4. Bibliografia Adicional	24
<b>6. ORGANIZAÇÃO DA PRÁTICA LABORATORIAL</b>	<b>27</b>
6.1. Organização dos trabalhos práticos	27
6.2. Infraestruturas laboratoriais e acessórias	28
<b>7. MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÃO</b>	<b>30</b>
7.1. Ensino teórico e prático	30
7.2. Avaliação	32
<b>8. CONCLUSÕES</b>	<b>34</b>
<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>37</b>
Guias de Trabalhos Práticos	38
Exemplo de Exame Final	45

# **Redes de Comunicação em Ambientes Industriais**

## **Programa, Conteúdo e Métodos de Ensino Teórico e Prático**

### **1. Introdução**

Apresenta-se aqui o planeamento de uma disciplina da Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações (LEET) designada por Redes de Comunicação em Ambientes Industriais. Na disciplina, que constituirá uma das opções de 5º ano daquele curso, recorre-se a uma abordagem típica de Engenharia, ligando conceitos teóricos a desenvolvimento e ensaio laboratorial de protótipos.

As motivações que levaram a propor esta disciplina provêm das potencialidades do mercado de trabalho que pode proporcionar, da actividade de Investigação e Desenvolvimento a que presentemente se assiste na sua área científica e em áreas conexas e ainda da necessidade de sedimentar alguns conhecimentos. No capítulo 2 apresentam-se detalhadamente estas motivações e alguns antecedentes que contribuíram para o seu lançamento.

A disciplina vai permitir integrar uma série de conhecimentos provenientes da interface computadores/electrónica e da área de telecomunicações, introduzindo também os sistemas distribuídos em tempo real. No capítulo 3 apresentam-se o enquadramento da disciplina no curso e os seus objectivos de formação.

O programa da disciplina inclui os conceitos fundamentais sobre as redes que possuem características específicas para os requisitos da transmissão de dados em ambientes industriais. Parte-se da fundamentação da aplicação de redes e da sua integração na arquitectura de organização da indústria. Detalham-se em seguida os barramentos de campo, face à sua importância e à sua conexão com a estrutura do curso. Promove-se então o estudo de sistemas distribuídos destinados a aplicações tempo real, com ênfase na sincronização, no escalonamento de mensagens e na tolerância a falhas. Termina-se com algumas perspectivas da futura evolução da área.

A prática laboratorial ocupa um espaço importante na disciplina. Contempla o desenvolvimento de sistemas baseados em microprocessador ou microcontrolador que irão ser aplicados como nós de sistemas distribuídos interligados por barramento de campo.

O programa teórico da disciplina e as grandes linhas orientadoras do programa prático estão indicados e explicados no capítulo 4. O programa teórico é então dissecado em

pormenor, ponto a ponto. Para apoio aos alunos elegeu-se um leque de bibliografia (livros, artigos e elementos em suporte electrónico) que parte de um conjunto muito restrito, obrigatório, e abre perspectivas alargadas para aprofundamento de temas ou obtenção de visões alternativas. Tal é apresentado no capítulo 5.

A organização da prática bem como as infraestruturas necessárias ao seu desenvolvimento são apresentadas no capítulo 6. As características da disciplina ao nível das metodologias de ensino e de avaliação são, por sua vez, discutidas no capítulo 7. O texto termina com uma pequena conclusão. Apresentam-se em anexo os guias dos trabalhos práticos e um exemplo de teste de avaliação.

A especificidade do tema implica que se utilizem frequentes siglas cujo significado está indicado no glossário existente no fim do texto (antes dos apêndices). Como a utilização quase sistemática da língua inglesa como língua de trabalho implica que a tradução de alguns termos seja por vezes múltipla, optou-se pela sua manutenção em inglês, apresentando-os em itálico.

## 2. Motivação e Antecedentes da Disciplina

As motivações subjacentes à organização e proposta da disciplina resultam essencialmente de três factores, cuja ordem é irrelevante:

- As potencialidades do mercado de trabalho para graduados com a LEET quando dotados de formação na área da disciplina.
- O elevado dinamismo actualmente existente na Investigação e Desenvolvimento na área da disciplina e em áreas conexas.
- A possibilidade de sedimentar algumas vertentes da formação conferida na LEET.

No que se refere ao primeiro destes factores é de salientar que o mercado de emprego preferencial dos graduados da LEET se tem situado ao nível da Indústria Transformadora e dos Serviços nas áreas de Telecomunicações e Informática (dados recolhidos em 1997 indicam que o mercado de emprego dos diplomados em Engenharia pela Universidade de Aveiro se reparte pelos Serviços, com 27,6%, pela indústria, com 25,6%, e pelo Ensino com 18,5%<sup>1</sup>). Considera-se que as matérias ministradas nesta disciplina terão aplicação directa relevante nas seguintes áreas:

- Indústria de Processo em particular e, em geral, indústria transformadora que recorra a controlo e automação.
- Indústria automóvel e conexas, fabrico de maquinaria com comando numérico e fabrico de instalações industriais específicas.
- Fabrico de maquinaria ligeira, de elementos e produtos para transdução e/ou actuação, fabrico ou desenvolvimento de sistemas *embedded*.

No primeiro caso, sendo o posicionamento habitual dos graduados ao nível da produção ou manutenção, as redes industriais estão actualmente sempre presentes em força pelo que, mesmo numa perspectiva de utilizador ou de incorporação de sistemas, os conhecimentos ministrados são fundamentais.

A indústria automóvel é presentemente o grande motor que arrasta, por um lado, a introdução de barramentos de campo, em particular CAN (existe o sucessivo abandono

---

<sup>1</sup> J. Arroiteia, A. Martins - "Inserção Profissional dos Diplomados pela Universidade de Aveiro: Trajectórias Académicas e Profissionais", Universidade de Aveiro, Março de 1998.

de uma série de protocolos proprietários em favor de outros baseados em CAN), nos automóveis e camiões e, por outro, fomenta com enorme pressão a investigação necessária para resolver problemas ao nível, por exemplo, da fiabilidade e das garantias temporais. Quando todas as marcas e grupos importantes das indústrias automóveis alemã, francesa e americana, entre outras, se viram para sistemas distribuídos baseados em CAN, torna-se importante garantir formação nessa área, até por questões de competitividade da indústria portuguesa. A adopção de arquitecturas distribuídas ao nível de maquinaria CNC só reforça o que já foi afirmado.

Finalmente, há que considerar a enorme quantidade de PMEs portuguesas, de que o distrito de Aveiro é um exemplo paradigmático, que fabricam máquinas ou produtos que são incorporáveis em sistemas de maior porte. Muitas dessas empresas estão já a recorrer a fornecimentos de congéneres de outros países europeus ou à própria Universidade para suprir as suas necessidades de tecnologia de sistemas *embedded*. Embora na maior parte dos casos não seja ainda reconhecida a necessidade de interfaces de comunicação, crê-se que tal acontecerá a breve trecho por pressões do contratante. Há aqui de novo uma significativa carência de quadros com capacidade de desenvolvimento de sistemas *embedded* a qual se estende também a empresas que actuam como fornecedoras de soluções chave na mão para as primeiras. Essa carência reflecte-se também no recurso frequente a soluções baseadas em PLC, mesmo quando tal não se justificaria por questões económicas e de projecto.

Considerando agora as questões associadas com I&D, pensa-se que uma disciplina de opção de 5º ano deverá:

- Sensibilizar os alunos para o interesse da I&D na área.
- Introduzir os conceitos fundamentais com uma adequada profundidade teórica.
- Demonstrar as possibilidades de desenvolvimento, com rigoroso suporte teórico, numa perspectiva de Engenharia.

Presentemente, a área das comunicações e sistemas distribuídos tempo-real apresenta-se como extremamente activa ao nível de I&D. Demonstram-no, ao nível mais científico, a quantidade de artigos e o ênfase sistematicamente posto no assunto nas principais e já clássicas conferências de áreas como a dos sistemas tempo-real, do controlo ou da automação (RTSS, RTAS, RTCSA, EUROMICRO RTS, WRTP,

WPDRTS, SICICA, ETFA, etc.) e a existência de conferências específicas (por exemplo WFCS e FeT) sobre o tema ou até sobre o próprio barramento CAN (ICC). Ao nível de revistas pode-se destacar o interesse que lhe é devotado por publicações de elevado nível como o *Journal of Real-Time Systems*, a *Control Engineering Practice*, a *Computer Standards & Interfaces* (devotou em exclusivo aos barramentos de campo o seu nº 19 de 1998) e as *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (abriram até fim de Junho de 1999 o pedido de artigos para um número especial sobre *Factory Communication Systems*).

Na vertente mais aplicada, é notória a tendência dos mais importantes fabricantes de circuitos integrados para produzirem circuitos de interface ou integrarem interfaces nos seus processadores ou microcontroladores mais emblemáticos. Realce-se a ênfase dada nas comunicações industriais, em particular em CAN, na recente *Embedded System Conference* realizada na Califórnia em Novembro de 1998 na qual, como é sabido, fabricantes de prestígio como Intel, Motorola, Microchip, National e outros apresentam os seus últimos produtos.

Neste contexto é extremamente fácil encontrar as referências e demonstrações que permitem fornecer aos alunos uma perspectiva abrangente com a profundidade adequada da área. Assiste-se também ao recente aparecimento de obras onde os assuntos de interesse para a disciplina são tratados, seja com elevado rigor teórico, seja com uma perspectiva de sistema, ou ainda com uma forte ligação entre teoria e prática. Algumas dessas obras foram seleccionadas como bibliografia da disciplina e serão discutidas no capítulo 5.

A terceira motivação que conduz ao desenho da disciplina prende-se com a necessidade de reforçar a vertente de sistemas *embedded* no curso e de introduzir a de sistemas distribuídos.

Necessidades de, por opção estratégica, reforçar a escolaridade das áreas de Computadores e de Telecomunicações no Curso mantendo o espaço devotado tradicionalmente ao Processamento de Sinal implicaram a redução da escolaridade atribuída à área de Electrónica. Como o reforço na área de Computadores se situou ao nível da Programação e Engenharia de *Software* e como se manteve a profundidade nas cadeiras preparatórias de Electrónica, quer na vertente analógica, quer na digital, tornou-se insuficiente o tempo devotado ao projecto e desenvolvimento de raiz de

sistemas *embedded* baseados em microprocessador ou microcontrolador. Os alunos são confrontados com essa matéria em duas disciplinas da área de Computadores (Introdução à Arquitectura de Computadores e Interfaces e Periféricos) cuja carga horária (da prática laboratorial) não permite a completa sedimentação de conhecimentos. Os alunos têm ainda trabalhado com sistemas *embedded* na disciplina de Electrónica IV, mas apenas integrando sistemas e desenvolvendo interfaces analógicas (principalmente) com o mundo exterior. A vertente laboratorial da disciplina aqui proposta pode contribuir assim para colmatar algumas limitações existentes neste importante domínio.

No que respeita a sistemas distribuídos, o assunto não é praticamente coberto no Curso pese o facto de existir uma disciplina curricular de 4º ano que ostenta parcialmente o nome. Cria-se pois uma oportunidade de trabalhar os correspondentes conceitos básicos mesmo que mais numa perspectiva de sistema *embedded* do que numa perspectiva de sistemas de computadores.

Refira-se ainda que há antecedentes de experiência lectiva que indiciam o interesse dos alunos pelo tema, reforçando portanto os argumentos já apresentados em defesa da introdução da disciplina. O primeiro é que os alunos sempre enfatizaram o interesse que sentem por sistemas *embedded* ao nível da disciplina de Electrónica IV e da sua percussora, no anterior curriculum do Curso, Instrumentação Electrónica<sup>2</sup>. O autor já aflorou o assunto das redes industriais numa opção conexas designada por Instrumentação e Controlo de Processos Industriais que leccionou por duas vezes e reconheceu aí um enorme interesse dos alunos por uma abordagem teórico/laboratorial do tipo proposto nesta disciplina.

Finalmente, o autor tem focado a sua actividade de investigação e desenvolvimento nesta área particular nos últimos 6 anos e tem trabalhado em sistemas *embedded* para instrumentação ao longo de toda a sua carreira. É portanto com base nesta experiência e na que tem adquirido como docente que julga ser este o momento oportuno para lançar a disciplina proposta. Refira-se ainda que a disciplina irá ser leccionada já no 1º semestre do ano lectivo 1999/2000 no curso de Engenharia Electrotécnica do Instituto

---

<sup>2</sup> Os sucessivos concursos Micro-Rato levados a cabo pelo Departamento de Electrónica têm também contribuído muito pelo fomento do interesse por sistemas *embedded*.

Politécnico de Castelo Branco (com algumas alterações na vertente laboratorial) e está programada para leccionação na LEET no 2º semestre do mesmo ano lectivo.

### 3. Enquadramento e Objectivos

A actual estrutura da LEET da Universidade de Aveiro assenta numa organização que parte de um 1º ano de formação geral, comum aos cursos de Ciência e Tecnologia, um 2º ano de formação um pouco mais dirigida mas ainda preparatória (formação técnica geral), dois anos de formação avançada e um 5º ano de especialização. Até ao fim do 4º ano a liberdade de escolha dos alunos é muito restrita, praticamente inexistente. No 5º ano torna-se possível a introdução de matérias especializadas de elevada importância e actualidade, sem se prejudicar a preparação fundamental dos alunos.

A matéria integrante da disciplina de Redes de Comunicação em Ambientes Industriais não é, obviamente, indispensável à formação genérica de Engenheiros de Electrónica e Telecomunicações mas pretende fazer a cobertura de uma área cuja importância tem crescido quase exponencialmente nos últimos 10 anos e que hoje pode ser considerada fundamental. O reflexo que tem no desempenho, rentabilidade e modernidade da indústria é, além do mais, considerável. Justifica-se pois o seu enquadramento como opção do 5º ano da Licenciatura.

Os objectivos da disciplina são de sedimentação de conhecimentos, aquisição de novas competências e introdução de conceitos básicos para apoio a projecto e iniciação à investigação. Mais concretamente, pretende-se dotar os alunos de conhecimentos conducentes a:

- Projecto de sistemas *embedded* (em modo *stand-alone*).
- Projecto de unidades para sistemas industriais distribuídos.
- Introdução à teoria de sistemas distribuídos, em particular, *embedded*.

Pretende-se privilegiar na disciplina uma abordagem de Engenharia. As redes industriais são estudadas ao nível de sistema, evolui-se rapidamente para um estudo estrutural profundo focado em redes de campo, sedimenta-se esse conhecimento com desenvolvimento experimental de sistemas electrónicos que possam constituir nós das mesmas e evolui-se para a análise de problemas e soluções de implementação de redes para funcionamento em tempo real. A escolaridade semanal é de 2 horas teóricas e 2 horas práticas, permitindo o desenvolvimento experimental e facilitando a ligação entre a teoria e a prática.

No actual elenco de disciplinas de opção publicado pelo despacho nº 3772/97, a disciplina insere-se na Área de Telecomunicações. A estrutura que se lhe confere apontaria porventura para um enquadramento preferencial na Área de Electrónica, principalmente pelas características da componente prática ou mesmo na área de Computadores, por esta última razão e pela ênfase nos sistemas distribuídos. Embora muitos dos assuntos teóricos propostos sejam noutras academias incluídos na área designada por Informática Industrial, não se contempla aí, ao contrário desta disciplina, o projecto das unidades *embedded* nos nós.

No que respeita ao 5º ano assistiu-se recentemente à definição de opções temáticas destinadas a fortalecer a coerência na escolha pelos alunos do projecto e das disciplinas optativas. Estas alterações entrarão em vigor no ano lectivo de 1999/2000. Nesta perspectiva, a disciplina está integrada na opção temática designada por Automação. Aí a disciplina articula-se com outras opções, sendo de destacar a complementaridade com a disciplina designada por Automação e Electrónica Industrial, na qual se trata também o assunto das redes industriais mas numa perspectiva de utilização, de aplicação e de informática e a articulação com Sistemas Distribuídos na qual se reforçam conceitos mais teóricos ao nível da sincronização e da tolerância a falhas. Nos conteúdos destas disciplinas reduz-se a sobreposição temática e promove-se a complementaridade mas de uma forma que permite aos alunos optar livremente por se inscreverem ou não na totalidade do conjunto de disciplinas.

No que respeita à sequência do ensino ministrado nos anos anteriores, a disciplina articula-se também de forma adequada com a formação conferida aos alunos em Telecomunicações e na zona de interface entre Electrónica e Computadores. Na primeira, particulariza conceitos de redes fornecidos na 2ª parte da disciplina de Sistemas de Telecomunicações (4º ano - 2º semestre) e suporta-se em matérias como comutação, estudo de topologias, modelos e protocolos. Do outro lado, complementa bem a sequência Introdução à Arquitectura de Computadores (3º ano - 2º sem.) e Interfaces e Periféricos (4º ano - 1º sem.) ao sedimentar a formação em sistemas baseados em microprocessador e ao introduzir a perspectiva de distribuição. Integra-se também bem como complemento de Electrónica IV (4º ano - 2º sem.) já que nesta disciplina a abordagem é focada na construção de interfaces analógicas e na integração de instrumentação inteligente. Refira-se ainda que a disciplina complementa algumas das matérias ministradas na disciplina de Sistemas Operativos e Sistemas Distribuídos.

## 4. Programa da Disciplina

### 4.1. Introdução

Como já foi referido, esta disciplina pretende tratar o assunto das redes para aplicação industrial seja de um ponto de vista mais teórico, enquadrando-as no âmbito mais lato dos sistemas distribuídos em tempo real, quer numa perspectiva aplicada, de Engenharia Electrónica, correspondendo ao projecto e desenvolvimento de módulos *embedded* para aqueles sistemas. Esta última perspectiva faz focar a disciplina na interligação de elementos de campo pelo que se tem de dar alguma ênfase aos barramentos. As características intrínsecas do barramento CAN, a sua crescente popularidade, seja ao nível da utilização seja da investigação, e a acessibilidade que confere à realização experimental, constituem as razões que levam à sua adopção como caso de estudo principal.

Para cumprir os objectivos propostos adopta-se um programa teórico com 7 capítulos (Quadro I) e um programa prático com 3 trabalhos. Não descurando os conceitos teóricos fundamentais, o programa teórico tem de ser talhado por forma a garantir o apoio atempado à componente prática.

Assim, o programa teórico inicia-se por um capítulo introdutório que pretende esclarecer os alunos sobre a lógica da organização da disciplina e demonstrar a pertinência do assunto e aplicabilidade das matérias leccionadas. No segundo capítulo introduzem-se conceitos fundamentais e propriedades de sistemas distribuídos que permitirão, nos capítulos 3, 4 e 5, fazer salientar os problemas mais importantes a resolver e as soluções actualmente utilizadas. O capítulo 3 do programa trata a teoria de barramentos de campo, podendo os alunos aqui obter uma visão macroscópica que vai desde os requisitos de utilização até à organização interna. Sendo uma matéria na qual a evolução tem sido muitas vezes forçada do lado da utilização e do desenvolvimento, uma perspectiva histórica e uma classificação tornam-se indispensáveis.

Os capítulos 4 e 5 constituem a parte mais aplicada da componente teórica. Estudam-se dois casos, o primeiro pelas razões acima aduzidas e o segundo por constituir uma solução *time-triggered*, logo alternativa à anterior solução, *event-triggered*. O apoio à

componente laboratorial exige que o primeiro caso de estudo tenha um peso substancialmente superior. Aproveita-se também para dar ênfase a questões importantes do ponto de vista de Engenharia como é o caso da implementação da camada física. Se bem que incluída neste caso de estudo, esta matéria é tratada de forma abrangente.

<b>REDES PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL</b>	
<b>Programa Teórico</b>	
<b>1. Introdução. Noções e Aplicabilidade de Sistemas Industriais Distribuídos</b>	(2 Horas)
<b>2. Tempo Real e Propriedades de Sistemas Distribuídos</b>	(2 Horas)
<b>3. Conceitos Básicos sobre Barramentos de Campo</b>	(4 Horas)
3.1 Conceitos gerais, requisitos e classificação.	
3.2 Barramentos de campo à luz do modelo OSI.	
<b>4. Casos de Estudo: O Barramento CAN</b>	(6 Horas)
4.1 O protocolo CAN.	
4.2 Soluções de implementação.	
4.3 A camada física.	
4.4 Soluções mais divulgadas para a camada aplicação.	
<b>5. Casos de Estudo: O Barramento FIP</b>	(2 Horas)
<b>6. Sistemas Distribuídos Tempo-Real: Tópicos Fundamentais</b>	(8 horas)
6.1 Sincronização.	
6.2 Escalonamento.	
6.3 Tolerância a falhas.	
<b>7. Perspectivas futuras de utilização e I&amp;D.</b>	(2 Horas)

#### Quadro I - Programa Teórico

Uma vez confrontados os alunos com matéria de efectiva aplicação prática e começando já a adquirir sensibilidade para os problemas através dos trabalhos

laboratoriais que realizam em paralelo, torna-se fácil atrair-lhes a atenção para conceitos teóricos importantes e para a respectiva análise e resolução. Projecta-se então o capítulo 6 para estudar os tópicos fundamentais necessários para que as redes possam ser utilizadas em sistemas distribuídos com características tempo real. Tratam-se portanto os problemas da sincronização dos nós, do escalonamento de mensagens e da tolerância a falhas. Mais do que tornar exaustiva a cobertura dos assuntos, pretende-se criar nos alunos sensibilidade para que apliquem os conceitos subjacentes no projecto de sistemas reais ou para que os possam, mais tarde, explorar em profundidade. Este capítulo pode sofrer algumas alterações, nomeadamente o reforço do estudo do escalonamento em detrimento da sincronização e de aspectos da tolerância a falhas mas apenas no caso da totalidade dos alunos frequentar a disciplina de Sistemas Distribuídos, projectada para leccionação em paralelo com esta.

No último capítulo do programa teórico repesca-se a apresentação de uma versão globalizante da área das redes industriais aproveitando para discutir sumariamente as mais recentes direcções para que apontam as vertentes de desenvolvimento e investigação. Tal permite homogeneizar os conhecimentos dos alunos e, simultaneamente, entreabrir-lhes as portas para uma eventual actividade futura na área.

A escolaridade de 2 horas práticas por semana permite no caso presente incluir 3 trabalhos experimentais em crescendo de dificuldade. Como a experiência dos alunos em projecto de sistemas baseados em microprocessador ou microcontrolador é escassa pelo menos ao nível da parte nuclear (processador e memória), planeia-se o primeiro trabalho para sedimentação de conhecimentos e aquisição de experiência prática. Recorre-se já a microcontroladores por questões de continuidade dos trabalhos e de esses elementos serem dominantes nas aplicações em redes industriais.

Os conhecimentos da arquitectura interna do microcontrolador utilizado no primeiro trabalho e da respectiva programação facilitam o foco na implementação de programas (*drivers*) para produção e consumo de informação sobre o barramento CAN os quais constituem o objecto do 2º trabalho.

A reunião entre o projecto da unidade e a programação da mesma é feita no último trabalho de laboratório. Aqui os alunos constroem ou, dependendo do seu desempenho, programam uma unidade de uma rede industrial que disponha de

interface CAN. Permite-se-lhes a criatividade de optarem por ênfase no *hardware* ou na programação mas têm sempre de desenvolver a ligação entre as comunicações e um programa de aplicação ainda que simples.

No segundo parágrafo deste capítulo analisa-se em pormenor o conteúdo programático da parte teórica da disciplina. A organização da prática laboratorial está descrita no capítulo 6 deste documento e os guias dos trabalhos encontram-se em apêndice.

## **4.2. *Análise detalhada do programa teórico***

### **1. *Introdução. Noções e Aplicabilidade de Sistemas Industriais Distribuídos***

O capítulo 1 é essencialmente a apresentação da disciplina aos alunos incluindo a justificação das escolhas efectuadas nas componentes teórica e laboratorial. Aproveita-se para efectuar uma caracterização sumária dos sistemas distribuídos que serão objecto de estudo com ênfase na respectiva aplicação em máquinas e/ou instalações industriais. Faz-se a habitual defesa da aplicação de sistemas distribuídos em alternativa a sistemas centralizados, a discussão das filosofias subjacentes à génese de barramentos de campo, nomeadamente um meio de comunicação partilhado versus uma componente fundamental do sistema, e o enquadramento das redes industriais na estrutura de controlo e automação de fábricas. Reforça-se a ligação ao mundo real com uma breve apresentação de casos de aplicação ao nível de máquina (automóveis, máquinas CNC) e ao nível de instalação (refinarias, centrais hidroeléctricas, etc.).

### **2. *Tempo Real e Propriedades de Sistemas Distribuídos***

Este capítulo, extremamente breve por questões de interligação entre as componentes teórica e prática, pretende introduzir os conceitos fundamentais relativos a sistemas tempo-real no geral e, em particular, sistemas distribuídos *embedded* ou, pelo menos, baseados em unidades de baixo poder de cálculo. Permite que a análise global efectuada no capítulo 3 e os casos de estudo dos capítulos 4 e 5 possam ser vistos e discutidos à luz dos conceitos fundamentais.

Assim, definem-se e classificam-se sistemas de tempo-real tendo o cuidado de o fazer à luz de aplicabilidade concreta. Identificam-se os seus requisitos funcionais, temporais e de fiabilidade. Apresentam-se muito brevemente exemplos concretos de sistemas tempo-real.

Com base nos exemplos anteriores e nos do capítulo 1, caracterizam-se sistemas industriais *embedded* e distribuídos (sejam estes ou não *embedded*). Definem-se e analisam-se propriedades fundamentais tais como *composability*, *scalability* e *dependability*.

### 3. Conceitos Básicos sobre Barramentos de Campo

#### *3.1 Conceitos gerais, requisitos e classificação.*

Neste capítulo entra-se no núcleo central da disciplina no qual se pretende transmitir conhecimentos mais directamente aplicáveis na prática. O estudo incide nos barramentos de campo, iniciando-se o capítulo com a sua definição e com o respectivo enquadramento em arquitecturas de aplicação, especialmente CIM.

A evolução dos barramentos de campo tem sido um tanto ou quanto peculiar, partindo-se muitas vezes de soluções desenvolvidas por empresas. Essas soluções são posteriormente objecto de estudo científico aprofundado tendo em vista melhorar as suas propriedades e desempenho. É portanto indispensável fornecer aos alunos uma perspectiva histórica do tema e, na sequência, do estado actual das iniciativas de normalização.

O primeiro parágrafo deste capítulo inclui ainda a identificação e definição dos requisitos que os barramentos de campo devem respeitar. Primeiro analisam-se os requisitos de aplicação no que respeita às propriedades definidas no capítulo 2 e a outras características tais como a interoperabilidade e o desempenho. Tal permite uma caracterização dos requisitos ao nível de serviços, qualidade dos mesmos (QoS) e outras restrições associadas à instalação, por exemplo a distância e necessidades de segurança. Discutem-se na sequência características da informação a transmitir pelo barramento nomeadamente a necessidade ou não de tempo-real e a dimensão dos dados. Tal permite catalogar essa informação (variáveis de processo, mensagens de configuração, etc.) e analisar propriedades (periodicidade por exemplo) e parâmetros (período, *jitter*, frescura, tempo de resposta, ...).

#### *3.2 Barramentos de campo à luz do modelo OSI.*

À semelhança de qualquer outra infraestrutura de comunicação é habitual analisar a organização dos barramentos de campo com base no modelo OSI. O segundo parágrafo deste capítulo introduz portanto o seu estudo por camadas. Assim, a camada

física é objecto de uma apresentação muito sumária, sendo posta a ênfase na camada ligação de dados, com o estudo e discussão de soluções/protocolos da subcamada MAC e dos serviços da subcamada LLC. Introduzem-se também os modelos nos quais se baseiam os serviços da camada aplicação, nomeadamente cliente-servidor (revisão) e produtor-consumidor. Analisam-se muito brevemente as (raras) soluções que se baseiam explicitamente numa organização onde são identificáveis as restantes camadas OSI.

#### 4. Casos de Estudo: O Barramento CAN

##### *4.1 O protocolo CAN*

Este capítulo inicia a vertente mais aplicada da componente teórica da disciplina e é directamente necessário para apoio à componente laboratorial. Como é sabido, a ênfase e a inovação do protocolo CAN está na camada ligação de dados. Apresenta-se de início uma perspectiva global do protocolo e a arquitectura de sistemas distribuídos baseados em CAN, ao nível macroscópico e ao nível das unidades que constituem os nós.

Estudam-se de seguida as diferentes especificações ao nível da organização de mensagens, da estrutura das tramas e da arbitragem do acesso ao meio. Esta questão é particularmente discutida, sendo comparada com outras soluções e analisadas as suas implicações nas características tempo-real da informação transmitida e na ocupação do meio de transmissão.

Outras vertentes como a sincronização entre unidades, para garantir o funcionamento da arbitragem, e considerações sobre aspectos temporais decorrentes da composição das tramas e da velocidade de transmissão são nesta altura abordadas. Estudam-se ainda os mecanismos de detecção e tratamento de situações de excepção.

##### *4.2 Soluções de implementação.*

A perspectiva de engenharia é enfatizada neste parágrafo no qual se estudam as arquitecturas de implementação de unidades dotadas de CAN, em especial a solução com base em interfaces autónomas e a solução integrada em microcontroladores. Analisam-se ainda outras soluções menos usadas. Caracterizam-se também diferentes tipos de interface CAN do ponto de vista da filtragem de mensagens.

Note-se que o estudo inclui a análise do desempenho dos mais significativos circuitos reais existentes no mercado. Aproveita-se para entrar em detalhes de implementação relativos ao microcontrolador Philips 8xC592 e interface 82C200<sup>3</sup> para apoio à componente laboratorial da disciplina.

#### *4.3 A camada física.*

Um dos problemas com que habitualmente se deparam os Engenheiros recém licenciados é o da transposição dos conceitos teóricos para a aplicação prática. Ao nível dos barramentos de campo a interligação física pode tornar-se das tarefas mais difíceis até porque há habitualmente reduzida formação nos assuntos de interesse. Considerou-se pois importante dar-se alguma ênfase a esta camada.

Parte-se de uma revisão simplificada dos conceitos básicos de transmissão de dados seguida de uma passagem sumária pelas normas mais comuns, seja de transmissão não balanceada, seja de transmissão balanceada. Neste último caso enfatiza-se o RS-485 face à sua popularidade em meio industrial.

Ao nível de CAN baseia-se este capítulo na interface física mais popularizada que originou a norma ISO 11898 com referências às normas similares americanas SAE J1939, para camiões, e SAE J2284 e 2411 para veículos de passageiros. Partindo de uma perspectiva geral da norma e congéneres, estudam-se as questões relacionadas com limitações do comprimento do barramento face às características dos sinais das tramas CAN (amplitude e taxa de transmissão). Estudam-se e analisam-se as implicações de se adoptar um tipo de cablagem específico, diferentes topologias de ligação e diferentes tipos de transceptores existentes no mercado.

#### *4.4 Soluções mais divulgadas para a camada aplicação.*

Neste parágrafo estudam-se soluções para ligação das interfaces CAN ao programa de aplicação. Parte-se de soluções básicas, recorrendo a semáforos e *mailboxes* para modelos baseados em variáveis partilhadas, garantindo características tempo-real ao sistema distribuído global. Analisam-se sumariamente alguns dos mais disseminados protocolos para a camada aplicação, CAL, CANopen, DeviceNet e SDS.

---

<sup>3</sup> O microcontrolador 8xC592 integra uma interface idêntica ao circuito 82C200. Embora este esteja a ser actualmente substituído por outro circuito, designado por SJA1000, justifica-se o seu estudo para facilitar o desenvolvimento experimental com o microcontrolador.

### 5. Casos de Estudo: O Barramento FIP

Embora utilize também o modelo produtor-consumidor, particularmente produtor-distribuidor-consumidor, o barramento FIP é um exemplo interessante para demonstrar as implicações do funcionamento em modo *time-triggered*. O capítulo é, obviamente, muito curto, enfatizando-se questões conceituais em detrimento da aplicação. Analisa-se sumariamente a estrutura das tramas, passando-se para o processo de distribuição (produção e consumo) de informação periódica. Analisam-se os mecanismos de transmissão de informação não periódica e de recuperação de falha do árbitro. Aproveita-se para introduzir a problemática do escalonamento.

### 6. Sistemas Distribuídos Tempo-Real: Tópicos Fundamentais

Neste capítulo introduzem-se três assuntos que são fundamentais na implementação de sistemas distribuídos tempo-real: a sincronização dos nodos, o escalonamento de mensagens e a tolerância a falhas. A abordagem é essencialmente teórica mas utilizam-se as matérias anteriores, em especial os exemplos de FIP e CAN, para a discussão da pertinência, aplicabilidade e facilidade ou dificuldade de implementação das técnicas estudadas. Tem-se consciência de que o capítulo poderia surgir antes mas o cariz prático da disciplina e a necessidade de apoio às práticas recomenda a opção por esta posição. Pensa-se também que a experiência prática entretanto adquirida facilitará a focagem da atenção dos alunos para estas matérias.

#### 6.1 Sincronização.

Este parágrafo constitui uma introdução à problemática da sincronização em sistemas distribuídos. O assunto exige demasiado tempo para que possa ser abordado com profundidade, introduzem-se no entanto os conceitos fundamentais e analisam-se as implicações do problema e apontam-se soluções.

Inicia-se o tema pela noção de tempo e pela caracterização de tempo denso e disperso. Introduce-se a medição de tempo, os conceitos de relógio físico, granularidade e relógio lógico. Aplicam-se esses conceitos a sistemas distribuídos (tempo local, tempo global e outros). Apresentam-se soluções para implementação do relógio físico, um modelo para o mesmo e estudam-se e discutem-se propriedades: monotonicidade, deriva, precisão e exactidão. Discute-se sumariamente o problema da sequenciação de eventos em sistemas com relógios múltiplos.

O parágrafo termina com um estudo introdutório de soluções de sincronização por recepção de sinal de referência, por *hardware* ou por troca de mensagens pela própria rede.

### *6.2 Escalonamento.*

O assunto deste parágrafo foi já ligeiramente introduzido no capítulo 5. Reforça-se aqui a importância do escalonamento para garantir características tempo-real no sistema. A perspectiva privilegia o controlo do acesso ao meio de comunicação (ou seja subcamada MAC), analisando-se sumariamente soluções estáticas e dinâmicas para o escalonamento de mensagens. Estudam-se as implicações da aplicação de algoritmos como o RMS e EDF.

Aborda-se, ainda que a um nível introdutório, o problema do “crescimento” (*scalability*) de um sistema distribuído do ponto de vista da admissibilidade de novas variáveis ao conjunto das que estão a ser produzidas. Apresentam-se alguns exemplos dos critérios que se utilizam. Finalmente, sendo CAN a principal referência ao longo da disciplina, analisa-se a sua aplicabilidade como rede de tempo-real.

### *6.3 Tolerância a falhas.*

O estudo da tolerância a falhas inicia-se reintroduzindo os conceitos associados à *dependability* do sistema, com ênfase na fiabilidade e segurança. Caracterizam-se então sob vários pontos de vista os estados de falha, os erros por eles gerados e as falhas operacionais do sistema ou subsistema. Introduzem-se as definições associadas à fiabilidade, ao nível de uma unidade e de um conjunto de unidades. Discutem-se sumariamente técnicas de detecção de erros e especificação de unidades tolerantes a falhas.

## 7. Perspectivas futuras de utilização e I&D

Neste capítulo retoma-se a discussão das perspectivas de aplicação de sistemas distribuídos, em particular das redes industriais, seja em aplicações em CIM<sup>4</sup> seja em aplicações *embedded* com particular ênfase na indústria automóvel<sup>5</sup>. Apresentam-se sumariamente as recentes novidades que os fabricantes de semicondutores anunciam

---

<sup>4</sup> Jean-Pierre Thomesse, “*The Fieldbuses: History, State of the Art, Perspectives*”, Innocap 99, Grenoble, France, Abril de 1999.

<sup>5</sup> Herman Kopetz, “*Automotive Electronics*”, Proceedings of 11<sup>th</sup> EUROMICRO Conference on Real-Time Systems, York, Reino Unido, Junho de 1999.

para esta área. Estabelecem-se as pontes existentes com a área de sistemas de tempo real e de redes de comunicação de dados. Discutem-se resumidamente algumas das vertentes de investigação, nomeadamente ao nível da procura de técnicas de escalonamento que permitam tornar os sistemas previsíveis dos pontos de vista funcional, temporal e de tolerância a falhas e ao nível do estabelecimento de subsistemas capazes de se integrar em sistemas maiores sem afectar a respectiva previsibilidade<sup>6</sup>. Novas perspectivas de resolução destes problemas com abordagens probabilísticas versus determinísticas ou baseadas na qualidade de serviço serão também brevemente apresentadas<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> John Stankovic et al., “*Strategic Directions in Real-Time and Embedded Systems*”, ACM Computing Surveys, Vol. 28, Nº 4, Dezembro 1996.

<sup>7</sup> Proceedings RTSS’98, Madrid, Espanha, Dezembro 1998; Proceedings of 11<sup>th</sup> EUROMICRO Conference on Real-Time Systems, York, Reino Unido, Junho de 1999.

## **5. Elementos para Apoio Bibliográfico**

### **5.1. Introdução**

Em disciplinas de opção do último ano de licenciatura dificilmente se pode recorrer a um único livro para apoio bibliográfico. Razões para tal são a especificidade dos conteúdos programáticos e o cunho pessoal na abordagem dos temas que o docente sempre tem tendência a inculcar. Existem assim duas alternativas: elaboração de texto de apoio ou livro específico, ou recurso a elementos bibliográficos diversos. Se também se pretende que a disciplina despolete nos alunos a apetência pela investigação, então a última solução é a mais adequada. Torna-se no entanto necessário evitar a dispersão exagerada dos elementos bibliográficos sob pena de inviabilizar o acesso dos alunos aos mesmos ou de prejudicar as restantes disciplinas que frequentam.

Tendo em conta os considerandos anteriores, restringe-se neste caso a bibliografia considerada essencial a 3 livros para a componente teórica, dos quais 2 podem ser usados em alternativa, e a um livro para a componente laboratorial. Apenas numa única excepção, no capítulo 5, se torna necessário recorrer a bibliografia adicional.

Para incentivar o gosto pela observação de abordagens diferentes ou mais profundas dos temas, é indicado um limitado número de artigos, extractos de obras, livros e elementos em suporte electrónico e Internet, neste último caso para aproveitar o entusiasmo que estes habitualmente despertam. A bibliografia adicional, nomeadamente os artigos, permite aos alunos identificar alguns dos actores importantes na área e as vertentes de I&D que exploram.

São ainda indicadas algumas obras que podem ser de utilidade em certas matérias mais técnicas, quer da componente teórica, quer da vertente laboratorial. Tal é particularmente útil no que respeita ao último trabalho experimental cujo grau de liberdade de opções é superior ao dos demais.

Refira-se ainda que todos os elementos indicados existem na biblioteca da Universidade de Aveiro ou, num ou noutro caso particular, podem ser disponibilizados.

## 5.2. *Bibliografia Base para a Componente Teórica*

A vertente mais conceptual e teórica do programa é coberta por dois livros que, em geral, podem ser utilizados em alternativa:

- Hermann Kopetz, “*Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*”, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, 1997.
- Nimal Nissanke, “*Real-Time Systems*”, Prentice Hall Europe, 1997.

Completa-se a bibliografia de apoio à componente teórica com o livro:

- Wolfhard Lawrenz, “*CAN Systems Engineering: From Theory to Practical Applications*”, Springer-Verlag, New York, 1997.

Este último livro contém também informação importante para a vertente laboratorial.

Refira-se que a opção pelo Nissanke tem a ver com a qualidade do livro e data de publicação mas, em situação de necessidade, os alunos podem encontrar alternativas adequadas ao nível da bibliografia de sistemas tempo-real (por exemplo o Krishna, também de 1997).

Justifica-se ainda a este nível guiar os alunos para lhes facilitar a utilização da bibliografia. Pode-se pois fornecer-lhes indicação sobre quais as partes dos livros relevantes para o programa. Assim, para cada capítulo do programa é possível indicar quais as alternativas de apoio bibliográfico:

Capítulos 1 e 2: Recomenda-se a utilização da obra de Kopetz (“The Real-Time Environment” e “Why a distributed Solution”) ou, em alternativa, a obra de Lawrenz (“Introduction” e “Basic Communication Protocol Characteristics”).

Capítulos 3 e 4: Recomenda-se o recurso ao livro de Lawrenz. Nos capítulos sobre processadores e interfaces CAN, dá-se destaque aos elementos a utilizar em laboratório.

Capítulo 5: Infelizmente não é coberto por qualquer dos elementos bibliográficos base. No entanto está disponível informação com a profundidade adequada em:

- Philippe Leterrier, “*The FIP Protocol*”, WordFip Europe, 1992.

Capítulo 6: Recomenda-se o recurso às obras de Kopetz e Nissanke como base de apoio bibliográfico. Pode-se escolher entre uma abordagem mais sistémica e mais conceptual (também mais simplificada) que é a do primeiro e uma abordagem mais rigorosa, com recurso sistemático ao formalismo matemático, no segundo.

Capítulo 7: Recomenda-se apenas a leitura de:

- John Stankovic et al., “*Strategic Directions in Real-Time and Embedded Systems*”, ACM Computing Surveys, Vol. 28, Nº 4, Dezembro 1996.

para obter uma perspectiva do desenvolvimento da área de sistemas tempo-real, em geral, e dos sistemas distribuídos, em particular.

### **5.3. Bibliografia Base para a Componente Laboratorial**

Exceptuando o que diz respeito a CAN recorre-se à obra de Lawrenz, pelos detalhes de aplicação prática que inclui. No restante, recomenda-se o livro:

- Thomas Schultz, “*C and the 8051: Hardware, Modular Programming and Multitasking*”, Prentice Hall PTR, New Jersey, USA, 1998.

Este livro permite introduzir rapidamente as especificidades da programação e desenvolvimento de sistemas baseados na família 8051. É uma obra rigorosa que liga implementação prática a conceitos importantes de programação de sistemas tempo-real (ver secção IV - “Multitasking”). O livro inclui ainda um capítulo que facilita muito o contacto com o ambiente de desenvolvimento integrado  $\mu$ Vision da Keil Software, utilizado na prática.

Para pormenores relativos aos microcontroladores utilizados deve-se recorrer a:

- Philips, “*80C51 Based Microcontrollers*”, Data Book IC-20, 1997.

Para apoio ao sistema CANivete utilizado no 2º e 3º trabalhos existe o seguinte texto:

- “Manual de Utilizador do Sistema CANivete”, Universidade de Aveiro, Julho de 1998.

E para apoio ao desenvolvimento de programas deve-se utilizar:

- Keil User’s Guide 11.97 - “*8051/251 Evaluation Kit*”, 1997.

#### 5.4. *Bibliografia Adicional*

Com vista a permitir aprofundamento de matérias ou uma abordagem alternativa das mesmas ou ainda para apoio à componente prática, são indicados aos alunos elementos adicionais.

Assim, em primeiro lugar, pode-se obter uma visão alternativa muito sistémica e pouco aprofundada da utilização de comunicações série em vários campos, nomeadamente na indústria, na instrumentação biomédica, nos edifícios inteligentes e em transportes, no livro:

- J. R. Jordan, “*Serial Networked Field Instrumentation*”, John Wiley & Sons Inc, New York, USA, 1995.

Encontram-se inúmeros elementos adicionais sobre redes industriais em geral e sobre o desenvolvimento da área ao nível de normalização, investigação, componentes e sistemas, na Internet. Sugere-se o acesso a motores de pesquisa ou, por exemplo, partir directamente de uma página bem organizada como é o caso de:

- <http://cran.esstin.u-nancy.fr/CRAN/Cran/ESSTIN/FieldBus.html>

Recomenda-se vivamente aos alunos que quiserem obter uma perspectiva mais organizada e uma visão de maior rigor científico sobre barramentos de campo, a leitura do seguinte artigo:

- Jean Pierre Thomesse, “*A Review of the Fieldbuses*”, Annual Reviews in Control 22 (1998) pp. 35-45, Pergamon.<sup>8</sup>

Uma abordagem alternativa sobre o protocolo CAN pode ser obtida através do livro e do CD-ROM indicados a seguir:

- Dominique Paret, “*Le Bus CAN*”, Dunod, Paris, 1996.
- Motorola, “*Integrated CAN Technology CD-ROM*”, CDCAN/D Rev. 4.0, 1998.

ou ainda directamente de um dos relatórios sobre CAN produzidos pela Bosh:

- Bosh, “*CAN specification version 2.0 - Technical Report*”, Robert Bosh GmbH, 1991.

---

<sup>8</sup> Ou o artigo do INNOCAP referido em nota de rodapé anterior.

Uma abordagem simples e genérica que se integra bem no espírito do parágrafo 4.3 do programa teórico, dedicado à camada física, pode ser obtida em:

- Texas Instruments, “*Data Transmission Seminar Manual*”, 1996.

Nos capítulos mais teóricos, como é o caso do capítulo 6, dispõe-se, também, de inúmeros elementos adicionais. Apresenta-se em seguida uma série de exemplos.

Assim, uma abordagem rigorosa da problemática da sincronização em sistemas distribuídos é a que se encontra em extractos da seguinte obra (capítulos intitulados “Des Horloges”, bastante formal, e “Solutions pour la Synchronisation”, muito introdutório):

- Pedro Fonseca, “*Modélisation et Validation des Algorithmes Non-Déterministes de Synchronisation des Horloges*”, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro e Institut National Polytechnique de Lorraine, Abril de 1999.

Para fazer a ponte entre os capítulos 4 e 6 e tomar contacto com um dos mais utilizados exemplos de conjunto de variáveis relativas a um sistema distribuído tempo real (“SAE Benchmark”), recomenda-se a leitura de:

- Ken Tindell, Alan Burns, “*Garanteeing Message Latencies on Control Area Network (CAN)*”, 1<sup>st</sup> International CAN Conference (ICC’94), Mainz, 1994.

Uma organização diferente da utilizada na bibliografia de apoio, permitindo cobrir matérias dos capítulos 1, 2, 3 e 6 do programa (é interessante, além das partes sobre escalonamento e sobre comunicações, a discussão sobre *dependability*) pode ser encontrada no livro:

- Sape Mullender, Editor, “*Distributed Systems*”, 2<sup>nd</sup> Ed., Addison-Wesley Publ. Co., 1993.

No que respeita às aulas práticas, os alunos podem obter uma perspectiva rápida do sistema que irão utilizar e comparação com outras soluções para desenvolvimento através de:

- Pedro Fonseca, et al. - “*A Dynamically Reconfigurable CAN System*” *Proceedings ICC’98 - 5<sup>th</sup> International CAN Conference’98*, Novembro de 1998.

Para apoio adicional ao desenvolvimento de programas são indicados dois livros, o primeiro contendo informação interessante para a ligação entre a comunicação e as tarefas a executar nas unidades que constituem nós do sistema:

- Philip A. Laplante, “*Real-Time Systems Design and Analysis: An Engineer’s Handbook*”, IEEE Computer Society Press, 1993<sup>9</sup>.
- Jack G. Ganssle, “*The Art of Programming Embedded Systems*”, Academic Press Inc., S. Diego, USA, 1992.

Finalmente, para apoio ao nível do desenvolvimento de *hardware*, nomeadamente para alunos com dificuldades nessa área, indicam-se os seguintes livros:

- Steve Heath, “*Embedded Systems Design*”, Newnes, Oxford, UK, 1997.
- Stuart R. Ball, “*Embedded Microprocessor Systems: Real World Design*”, Newnes, 1996.

---

<sup>9</sup> Há uma segunda edição ainda não disponível na biblioteca da Universidade de Aveiro.

## 6. Organização da Prática Laboratorial

### 6.1. Organização dos trabalhos práticos

Nesta disciplina os alunos terão de aprender a projectar, desenvolver e ensaiar sistemas baseados em microprocessador capazes de operar em sistemas distribuídos, nomeadamente quando aplicados a monitorização, controlo ou automação. A prática desenvolve-se por etapas, recorrendo a três trabalhos a realizar em laboratório. O 1º trabalho promove o conhecimento do processador e o projecto do núcleo central de *hardware*. O 2º trata da vertente de comunicação e o 3º integra o conhecimento dos dois primeiros e a ligação à aplicação. A execução dos trabalhos deverá ser efectuada por grupos de 2 alunos cada (18 alunos por turma<sup>10</sup>). Os trabalhos são os seguintes:

- Sistemas *Embedded* com Microcontroladores (4 semanas)
- Desenvolvimento de *Software* para Unidades CAN (2 ou 3 semanas)
- Unidades CAN e Aplicação (6 ou 7 semanas)

Os dois primeiros trabalhos são idênticos para todos os grupos. No terceiro os alunos podem optar por privilegiar a vertente de *software* e aplicação utilizando uma plataforma já existente (ver infraestruturas) ou por desenvolver a sua solução *hardware* para construção de uma unidade CAN.

Como se pode verificar pelo guia em apêndice, o 1º trabalho, sendo de sedimentação de conhecimentos, pode desenvolver-se logo de início. O 2º trabalho é efectuado em paralelo com a correspondente matéria teórica o que, sendo por um lado difícil de gerir, permite verificação em tempo-real dos conhecimentos adquiridos.

O último trabalho é um pequeno projecto. Um sistema distribuído integrando em simultâneo os trabalhos (com sucesso) de cada turma deverá funcionar demonstrando as potencialidades da solução. Utilizar-se-ão entradas e saídas analógicas e digitais para injectar e extrair sinais do sistema. Neste trabalho a liberdade do recurso a soluções é grande existindo no entanto uma permanente observação da evolução dos trabalhos de cada grupo por parte dos docentes das aulas práticas.

Em apêndice apresentam-se as folhas de especificação dos três trabalhos. Aí estão indicados os objectivos, o material e equipamento necessário. É feita uma descrição das tarefas a realizar no âmbito dos trabalhos. Indica-se a bibliografia de apoio e algumas notas sobre a sua utilização.

## **6.2. Infraestruturas laboratoriais e acessórias**

No 1º trabalho parte-se de componentes (microcontrolador e memórias) e implementam-se e ensaiam-se circuitos mínimos. A prototipagem é efectuada recorrendo a *wire-wrapping*, por questões de fiabilidade e porque os circuitos poderão vir a ser utilizados no 3º trabalho. Introduce-se já a utilização de um IDE, neste caso uma versão de utilização livre da Keil Software designada por  $\mu$ Vision (limitada a 2K de programa), a qual obviamente integra todos os utilitários necessários.

No 2º trabalho utiliza-se uma placa e *software* de apoio desenvolvidos pela equipa de investigação do autor<sup>11,12</sup>. O sistema é designado por CANivete e o programa de apoio por CANguru. Trata-se de um sistema baseado no microcontrolador Philips 80C592 que pode receber e executar programas carregados via porta série do computador de desenvolvimento ou via barramento CAN. As placas do sistema dispõem de entradas e saídas analógicas e digitais, além de outras interfaces. Podem pois ser facilmente ligadas a um gerador de sinais ou osciloscópio para aquisição ou visualização de sinais. Os alunos podem aí desenvolver e ensaiar os programas e estudar o barramento CAN. Pode-se também interligar, sobre CAN, vários dos sistemas associados a cada grupo de alunos.

No 3º trabalho os alunos dispõem de um leque alargado de microcontroladores, de vários compiladores e ferramentas auxiliares (para família Intel 8051, Motorola 68HC11 e Microchip PIC). Dispõem ainda de várias licenças do ambiente integrado

---

<sup>10</sup> Face ao tipo de trabalhos habitualmente realizados nas aulas práticas da LEET, tem-se utilizado este número como o limite máximo para garantir um apoio com qualidade aos alunos. Tenta-se sempre que possível que os grupos sejam de dois alunos. Os laboratórios estão, por isso, quase sempre equipados para 9 grupos.

<sup>11</sup> Pedro Fonseca, Fernando Santos, Alexandre Mota, José A. Fonseca - "A *Dinamically Reconfigurable CAN System*" *Proceedings ICC'98 - 5<sup>th</sup> International CAN Conference'98*, S. Jose, USA, 8 a 9 de Novembro de 1998.

<sup>12</sup> José A. Fonseca, Pedro Fonseca, Alexandre Mota, Fernando Santos, "Sistema para Ensaio de Unidades Baseadas em Microcontrolador Interligadas por Barramento de Campo" Patente de Invenção Nº 102232V, submetida ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Direcção de Serviço de Patentes, 11 de Dezembro de 1998.

IAR Embedded Workbench. Podem então optar por utilizar o sistema CANivete ou desenvolver a sua unidade com razoável liberdade de opção.

Os laboratórios onde se desenvolvem as aulas práticas da disciplina estão equipados em cada bancada com um osciloscópio de pelo menos 60MHz, uma fonte de alimentação (+5V/5A e  $\pm 15V/1A$ ), um gerador de formas de onda (sinusoidal, quadrado e triangular) de 2 MHz e um multímetro de 3½ dígitos. Existe também para cada bancada uma das placas do sistema CANivete e um computador tipo IBM-PC. Cada laboratório dispõe de 9 bancadas.

Refira-se ainda a respeito de condições logísticas que, por decisão política do Departamento de Electrónica e Telecomunicações, os alunos têm acesso aos laboratórios sempre que não existam neles aulas e quando o Departamento se encontra aberto, ou seja, todos os dias úteis até às 24 horas e sábados até às 17 horas. O acesso inclui ferramentas. Existe também um técnico em permanência para apoio a pequenas questões funcionais durante as aulas ou mesmo fora delas, em horário normal de trabalho. O Departamento dispõe de um armazém onde se encontram os componentes electrónicos necessários, não existindo limitação de requisição nesta disciplina. Os alunos podem ainda requisitar, entre aulas, a placa do sistema CANivete.

## **7. Métodos de Ensino e Avaliação**

### ***7.1. Ensino teórico e prático***

As disciplinas de opção do 5º ano da LEET seguem normalmente um regime de escolaridade com 2 horas teóricas e 2 horas práticas semanais. Este regime é adequado para esta disciplina em face da importância que se confere à componente laboratorial. É habitual nestas disciplinas que a componente teórica seja organizada numa só aula por semana, logo com a duração de 2 horas. Esta organização facilita a interactividade e a discussão de assuntos.

Pretendendo-se promover a participação activa dos alunos nas aulas teóricas, até porque algumas delas são essenciais para apoio às práticas, há que restringir o número máximo de alunos. Deve-se pois permitir, no máximo, a frequência de 36 alunos, logo dando origem a duas turmas práticas.

Pretende-se que os métodos de ensino teórico sejam baseados na exposição e demonstração. Deve-se fomentar o aparecimento de questões pelos alunos e posterior discussão. Nalguns casos devem-se utilizar exemplos numéricos para manter a abordagem de engenharia dos assuntos (temporizações, limites de utilização, *benchmarking*, etc.). A exposição, para as vertentes mais teóricas e que utilizam sistematicamente formalismo matemático, será baseada em acetatos. Utiliza-se habitualmente projecção sobre quadro branco pois possibilita a introdução, no momento, de notas manuscritas.

A existência de material em suporte electrónico, nomeadamente em CD-ROM, e a enorme quantidade de elementos que podem ser obtidos via Internet (por exemplo demonstrações, textos introdutórios, artigos avançados, folhas de características sobre componentes) faz com que a projecção a partir de computador seja indispensável. Pode-se assim explorar a riqueza dos materiais existentes. Para tal torna-se então necessário dotar a sala de aulas teóricas e o laboratório de computador, projector e acesso a rede. Estes elementos são já correntes no Departamento. Acresce ao facto a existência de programas de demonstração que permitem ilustrar partes do programa teórico, por exemplo o funcionamento de FIP. Esta metodologia permite acelerar drasticamente processos inevitáveis nas aulas práticas como é o caso da operação com

ferramentas de suporte (por exemplo o IDE ou o CANivete). A utilização planeada de elementos já existentes permite também encurtar muito o tempo de preparação das aulas e facilitar drasticamente a sua actualização. O risco de dificuldades de acesso à Internet pode ser minorado recorrendo à gravação dos elementos mais importantes a utilizar em cada aula.

No que se refere às aulas práticas, trabalha-se como já foi referido com turmas cujo número máximo de alunos é 18, divididos por 9 grupos de 2. Cada grupo dispõe de bancada própria dotada de todos os instrumentos básicos de electrónica incluindo computador tipo PC. Para os trabalhos 2 e, se necessário, para o trabalho 3 os alunos dispõem de placa CAN integrante do sistema CANivete já largamente referido.

As aulas práticas, também com duração de duas horas, incluem apoio sistemático por parte de docente e apresentação sumária de algumas matérias tais como estrutura interna do microcontrolador, elementos do *Assembly* do microcontrolador, operação do IDE  $\mu$ Vision, entre outras.

Face à duração das aulas e à complexidade dos trabalhos é impensável que os alunos as utilizem para planeamento e montagem. Incentiva-se assim que algumas partes do projecto, desenvolvimento de *software*, trabalhos de montagem em *Wire-Wrapping*, desenho de esquemático e outras actividades cuja orientação não seja essencial sejam desenvolvidas fora das aulas. Estas devem ser então utilizadas para discussão de projecto e planeamento e para ensaio de *hardware*, de *software* que interaja com *hardware* ou com o barramento e de aplicações.

A promoção de hábitos e práticas de organização é, também, um dos papeis importantes do ensino. Em engenharia tais questões são fundamentais. Duas práticas são então sugeridas na disciplina. A primeira é a utilização sistemática de esquemas eléctricos sempre actualizados. Incentiva-se o recurso à ferramenta ORCAD, disponibilizando-se as licenças existentes no Departamento mas permite-se qualquer outro sistema desde que a apresentação seja a adequada. A segunda prática recomendada é a do registo de ocorrências, alterações, resultados e outros elementos importantes durante as aulas práticas. Recomenda-se aos alunos a utilização sistemática de um livro de registo.

Todos os trabalhos têm de ser documentados através de um relatório. Incentivam-se os alunos a elaborar os relatórios com profissionalismo. Para tal é-lhes lembrada a existência de regras, indicações e bibliografia fornecidas em disciplinas anteriores. Confere-se também ao relatório significativo peso na avaliação da componente laboratorial.

Refira-se ainda que, em face das características do último trabalho e da enorme importância da capacidade de síntese e de comunicação em engenharia, se exige a apresentação oral do que foi feito (cerca de 10 minutos). A qualidade da apresentação é objecto de avaliação. A apresentação, já praticada pelo autor em disciplinas do 4º ano e pelo Departamento em projectos do 5º ano, tem ainda a vantagem adicional de (normalmente) demonstrar a justiça da avaliação.

## **7.2. Avaliação**

A avaliação teórica segue as regras internas da Universidade relativamente às notas mínimas e acesso a provas Complementares e a exames de Setembro. Os alunos dispõem portanto de um exame teórico na época normal e de uma prova de recurso. Se se encontrarem dentro das condições instituídas, podem também aceder a um exame teórico na época de Setembro.

Qualquer dos exames teóricos é sem consulta já que se considera importante avaliar os conhecimentos que o aluno adquiriu a dois níveis: o nível conceptual ou, se se quiser, de sistema e o nível operacional. No primeiro caso propõem-se problemas concretos e solicita-se resposta com um aceitável nível de abstracção e de síntese da solução que apresentam. No segundo caso propõem-se problemas simples que podem surgir na resolução de uma situação concreta. Como, na primeira situação, se pretende avaliar a aquisição de conceitos e se quer evitar a cópia e colagem de elementos tirados de livros e como, na segunda, a complexidade dos problemas propostos nunca é exagerada, opta-se por utilizar avaliação sem consulta. Esta abordagem tem sido adoptada com êxito na avaliação de disciplinas do mesmo tipo.

No que respeita a quantificação, temos:

- Avaliação Teórica: 50%
- Avaliação Prática: 50%

Na avaliação teórica conta a nota mais elevada que o aluno tiver conseguido nas provas a que se sujeitou.

Na avaliação prática existe um peso por trabalho que tem a ver com a sua duração e a sua complexidade. O terceiro trabalho é portanto mais valorizado.

- 1º Trabalho prático: 20%
- 2º Trabalho prático: 20%
- 3º Trabalho prático: 60%

A nota do trabalho depende da avaliação que o docente faz do desempenho dos alunos durante as aulas, do relatório e, no 3º trabalho, da qualidade de uma apresentação oral sumária (10 minutos). As proporções são as seguintes:

1º e 2º Trabalhos:

- Avaliação nas aulas: 50%
- Relatório: 50%

3º Trabalho:

- Avaliação nas aulas: 30%
- Relatório: 45%
- Apresentação oral: 25%

Este sistema tem sido também testado anteriormente e permite uma avaliação da componente prática com razoável objectividade, principalmente quando as turmas são de dimensão reduzida e quando o número de docentes também o é.

## 8. Conclusões

A crescente tendência de utilização de sistemas distribuídos *embedded* em aplicações de instrumentação confere a esta matéria uma significativa importância implicando, quase obrigatoriamente, a sua inclusão em cursos de engenharia. Pareceu-nos portanto este o momento oportuno para elaborar uma proposta de disciplina que se integrasse adequadamente no espírito do curso de Engenharia Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.

A disciplina proposta respeita a tradição de “saber fazer” que tem sido apanágio daquele curso ao longo dos anos e apoia esse espírito em fundamentos teóricos sólidos. Pensa-se poder assim construir uma disciplina que reforçará a formação dos alunos na área dos sistemas *embedded*, conferir-lhes-á competências para o projecto desses sistemas em ambientes distribuídos em especial quando associados a barramentos de campo e, finalmente, introduzirá a teoria de sistemas distribuídos de tempo real. Julga-se ainda que esta disciplina, à semelhança de outras que têm sido leccionadas com base em organização semelhante, pode despertar inequívoco interesse por parte dos alunos.

Constituindo esta uma proposta, é natural que apenas após a(s) primeira(s) realização se possam corrigir algumas imperfeições. No entanto, o capital de experiência acumulado no já razoável leque de disciplinas anteriormente preparadas e leccionadas em domínios conexos garante o cumprimento dos objectivos essenciais.

Refira-se ainda que, em face das características horizontais do curso, os fundamentos de redes tempo-real são estudados essencialmente a um nível introdutório. Abre-se pois a possibilidade de dar sequência a esta disciplina por meio de uma segunda opção de 5º ano ou ainda, como está previsto a curto prazo, de a articular com uma disciplina mais teórica sobre Sistemas Distribuídos. Outra possibilidade em estudo é a de dar continuidade ao assunto, reforçando a componente teórica, através de uma disciplina de mestrado.

## ***Glossário***

CAL - *CAN Application Layer*

CAN - *Controller Area Network*

CiA - *CAN in Automation Organisation*

CIM - *Computer Integrated Manufacturing*

CNC - *Comando Numérico por Computador*

EDF - *Earliest Deadline First*

ETFA - *Emerging Technologies for Factory Automation Conference (IEEE)*

Euromicro RTS - *Euromicro Conference on Real-Time Systems*

FeT - *Fieldbus Technology*

FIP - *Factory Instrumentation Protocol*

ICC - *International CAN Conference*

IDE - *Integrated Development Environment*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IFAC - *International Federation of Automatic Control*

IFIP - *International Federation for Information Processing*

LEET - *Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações*

LLC - *Logical Link Control*

MAC - *Medium Access Control*

OSI - *Open Systems Interconnect*

PLC - *Programmable Logic Controller*

QoS - *Quality of Service*

RMS - *Rate-Monotonic Scheduling (ou RM - Rate Monotonic ou RMA - Rate Monotonic Algorithm)*

RTAS - *Real-Time Technology and Applications Symposium (IEEE)*

RTCSA - *International Workshop on Real-Time Computing Systems and Applications (IEEE)*

RTS - *Real-Time Systems*

RTSS - *Real-Time Systems Symposium*

SDS - *Smart Distributed System*

SICICA - *Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Application (IFAC)*

WFSC - *Workshop on factory Communication Systems* (IEEE)

WPDRTS - *Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems* (IEEE)

WRTP - *Workshop on Real-Time Programming* (IFAC/IFIP)

# *Apêndices*

Guias de Trabalhos Práticos

e

Exemplo de Exame Final

**Redes para Aplicação Industrial**  
**Trabalho Laboratorial Nº 1**  
**Sistemas *Embedded* com Microcontroladores**

**Duração:** 4 Aulas x 2 Horas

**Objectivos:**

- Introduzir a arquitectura interna de microcontroladores típicos (ênfase na família Intel 8051) e as diferentes possibilidades de os utilizar em sistemas *embedded*.
- Analisar algumas especificidades do *Assembly* do  $\mu$ C Intel 8051.
- Iniciar o desenvolvimento e ensaio de sistemas baseados em  $\mu$ C.
- Iniciar o desenvolvimento de programas em linguagem C para sistemas baseados em  $\mu$ C, utilizando ambientes de desenvolvimento integrados.

**Equipamento necessário e outro material:**

- Computador tipo PC equipado com *software* correspondente ao Ambiente de Desenvolvimento  $\mu$ Vision da empresa Keil.
- Programador de EPROMs com capacidade para programação do  $\mu$ C87C552, emulador de EPROMs fastROM ou SED98 ou equivalente e equipamento de laboratório habitual (osciloscópio, fonte de alimentação, etc.).
- $\mu$ C87C552 e  $\mu$ C80C592, ambos da Philips; EPROM 27C256 e memória RAM 62256 ou equivalentes; placa de Wire-Wrapping (WW) Eurocard Simples; ferramenta de WW; sockets de WW para PLCC68, EPROM e RAM.

**Descrição:**

O presente trabalho consiste numa série de pequenos e muito simples projectos que o levarão a atingir os objectivos atrás definidos. Pela ordem indicada, execute as seguintes implementações:

1. Com base apenas no  $\mu$ C87C552 da Philips, desenvolva um contador binário de 8 bits na Porta 4 do circuito. O contador deve contar em anel a uma frequência que dependerá apenas dos tempos de execução das instruções. Utilize linguagem *Assembly* e o *Macro-Assembler A51* integrado no ambiente  $\mu$ Vision. Utilize o simulador dScope-51 para verificar a correcta execução do programa. Grave o  $\mu$ C87C552, instale-o na placa de WW ligando apenas as alimentações e o cristal. Verifique a execução do programa.

2. Introduza agora um socket para EPROM e efectue as ligações da mesma ao  $\mu\text{C}$  por forma a que ela esteja endereçada na zona de memória externa de dados. Desenvolva agora um programa que leia, em anel, as primeiras 256 posições da EPROM (0000H a 00FFH) e que as envie para a saída PWM0. Idealize e ensaie um processo para visualizar a forma de onda obtida se utilizar uma das EPROMs que o docente lhe poderá fornecer.
3. Substitua agora o  $\mu\text{C}87\text{C}552$  pelo  $\mu\text{C}80\text{C}592$ . Altere as ligações da EPROM, por causa da localização das portas (0 e 2) de acesso à memória, e a sua configuração para que passe a residir no espaço de endereçamento de código. Instale agora memória RAM também externa. Utilize o programa da implementação 1 e altere-o por forma a que ele passe a ser executado a partir de uma EPROM entretanto gravada. Verifique o seu funcionamento.
4. Substitua agora a EPROM pelo conector do emulador de EPROMs que lhe for fornecido (fastROM ou SED98). Verifique a carga do programa a partir do PC assim como o seu bom funcionamento.
5. Repita o programa da implementação 1 com as seguintes alterações: o programa passa a ser desenvolvido em C; a frequência de contagem passa a ser 1kHz. Utilize temporizadores e interrupções para imposição da frequência.

### **Bibliografia de Apoio:**

- Schultz, T. - “C and the 8051: Hardware, Modular Programming and Multitasking”, Prentice Hall PTR, 1998.
- Philips Data Book IC20 - “80C51-Based 8-Bit Microcontrollers”, 1997.
- Keil User’s Guide 11.97 - “8051/251 Evaluation Kit”.
- Computer Solutions “fastROM User Manual”, 1998.
- Manual de Utilização do Emulador SED98, 1998.

### **Notas Adicionais:**

Utilize preferencialmente o livro de apoio (Schultz) do seguinte modo:

- Antes das implementações 1 a 4 recorra às partes finais do capítulo 2 e ao início do capítulo 3. Utilize depois o Data Book para detalhes e aprofundamento.
- Antes da implementação 5 recorra aos capítulos (7) 8 e 9 e ao primeiro parágrafo do capítulo 11.

## **Redes para Aplicação Industrial**

### **Trabalho Laboratorial Nº 2**

#### **Desenvolvimento de *Software* para Unidades CAN**

**Duração:** 2 (no máximo 3) Aulas x 2 Horas

**Objectivos:**

- Sedimentar os conceitos teóricos sobre barramentos de campo com ênfase nas questões relacionadas com a camada ligação de dados e interface com a camada aplicação.
- Introduzir a vertente de programação do projecto e desenvolvimento de unidades para sistemas distribuídos baseados em  $\mu$ C e em barramento CAN.
- Observar e analisar a técnica de arbitragem no acesso ao meio de comunicação do barramento CAN e a sua repercussão nas características tempo-real do sistema global.

**Equipamento necessário e outro material:**

- Computador tipo PC equipado com *software* correspondente ao Ambiente de Desenvolvimento  $\mu$ Vision da empresa Keil e *software* CANguru (para geração de programas para a Placa CANivete).
- Equipamento de laboratório habitual (osciloscópio, fonte de alimentação, etc.) acrescido de acesso a analisador de estados lógicos.
- Placa de  $\mu$ C com barramento CAN designada por CANivete.

**Descrição:**

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma série de pequenos programas destinados a introduzir os mecanismos básicos de CAN e a observar efeitos da respectiva arbitragem e de técnicas de escalonamento. Utilizar-se-á uma série de placas CAN baseadas no  $\mu$ C80C592, designadas por CANivete. Cada grupo de trabalho deverá dispôr de uma placa CANivete contendo o *software* necessário para carga de programas via RS232.

1. Utilizando programação em C, desenvolver um programa que envie para o barramento CAN, à taxa de 125KBits/s, um dado constante constituído por um ou dois *bytes*. O período de envio deve depender apenas da capacidade do processador. Verifique o funcionamento do programa e o formato das tramas com o

- osciloscópio e/ou analisador lógico. Meça o período de envio. Analise as causas que levam ao valor que mediu. Utilizando o temporizador e interrupções, implemente um esquema que permita a medição desse tempo pelo próprio  $\mu\text{C}$ . Utilize a porta série para enviar para o PC os registos da medição. Verifique o funcionamento do esquema introduzindo tempos de espera entre envios sucessivos.
2. Sem destruir o anterior, modifique o programa por forma a poder seleccionar, a partir do seu PC e via porta RS232, a frequência de envio para o barramento. Acrescente ainda uma função que envie o(s) valor(es) da variável produzida para o PC mantendo simultaneamente o envio do valor do intervalo de tempo entre duas tramas consecutivas. Verifique mais uma vez o funcionamento do programa para valores vários do intervalo entre tramas.
  3. Em conjunto com pelo menos 2 dos outros grupos, interligue as interfaces CAN das placas CANivete. Sob supervisão do docente, acorde na especificação de conjuntos de variáveis com diferentes identificadores e períodos de transmissão. Efectue medições dos intervalos de envio em cada uma das placas CANivete. Analise os resultados obtidos.
  4. Desenvolva agora a programação necessária à recepção de dados via CAN. Verifique o respectivo funcionamento utilizando o PC para visualização dos dados recebidos. Em conjunto com um dos outros grupos desenvolva um programa de comunicação entre os dois CANivetes com envio e recepção de dados em cada um deles, mantendo a visualização no PC.

#### **Bibliografia de Apoio:**

- Fonseca P., Fonseca J., Santos F., Mota A. - “Manual de utilizador do sistema CANivete”, Universidade de Aveiro, 1998.
- Lawrenz, W. - “CAN System Engineering, From Theory to Practical Applications”, Springer-Verlag, New-York, 1997.
- Bosh - “CAN Specification Version 2.0 - Technical Report”, Robert Bosh GmbH, 1991.
- Paret, D. - “Le Bus CAN”, Dunod, Paris, 1996.
- Schultz, T. - “C and the 8051: Hardware, Modular Programming and Multitasking”, Prentice Hall PTR, 1998.
- Data Book IC20 - “80C51-Based 8-Bit Microcontrollers”, 1997.

- Keil User's Guide 11.97 - "8051/251 Evaluation Kit".

**Notas Adicionais:**

- Antes de iniciar o trabalho leia com atenção o Manual de Utilizador da placa CANivete.
- Se necessita de estudo adicional sobre CAN utilize o parágrafo 4.1 do Lawrenz para obter informação resumida sobre o protocolo CAN e os parágrafos 4.2.1 e 4.3.1 para um sumário sobre a interface CAN do  $\mu$ C80C592.

**Redes para Aplicação Industrial**  
**Trabalho Laboratorial Nº 3**  
**Unidades CAN e Aplicação**

**Duração:** 6 / 7 Aulas x 2 Horas

**Objectivos:**

- Projectar, desenvolver e ensaiar sistemas baseados em microcontrolador com interfaces de comunicação CAN.
- Estudar e ensaiar processos de ligação entre o *software* de comunicação e o de aplicação.
- Observar e analisar o funcionamento de sistemas distribuídos no que se refere a produção e utilização de informação com características tempo real.

**Equipamento disponível:**

- Computador tipo PC equipado com *software* correspondente ao Ambiente de Desenvolvimento  $\mu$ Vision da empresa Keil e *software* CANguru (para geração de programas para a Placa CANivete).
- Equipamento de laboratório habitual (osciloscópio, fonte de alimentação, etc.) acrescido de acesso a analisador de estados lógicos.
- Placa de  $\mu$ C com barramento CAN designada por CANivete.
- Ambiente de desenvolvimento “IAR Embedded Workbench”.

**Descrição:**

O presente trabalho consiste no projecto, desenvolvimento e ensaio de uma unidade que constitua um nó de sistema distribuído com interface CAN. A unidade deve ser capaz de produzir pelo menos uma variável com 1 *byte* de comprimento e de consumir uma variável do mesmo tipo. O trabalho pode ser focado mais na vertente *hardware*, logo:

- Deve ser desenvolvido um módulo seja baseado no  $\mu$ C80C592 seja noutro processador ou microcontrolador dentre os disponíveis no Departamento (80188, 68HC11, PIC, etc.); os requisitos mínimos de *software* mantêm-se. Pode, neste caso, ser utilizado o controlador CAN SJA1000.

ou na vertente *software*:

- Utilizando a placa CANivete, desenvolver um sistema capaz de ser programado para consumir ou produzir até 4 variáveis de comprimento entre 1 e 8 *bytes*.

A produção de variáveis deve ser proveniente do exterior, recomendando-se a utilização de sinais digitais de, por exemplo, um contador e/ou de sinais analógicos provenientes de gerador. No trabalho focado em *software*, o consumo de variáveis deve poder ser utilizado pelo processador para envio para a ADC interna a fim de se poder visualizar o sinal no osciloscópio.

As temporizações associadas ao consumo, produção, transmissão e visualização dos sinais devem ser cuidadosamente verificados e analisados.

1. Os ensaios devem ser efectuados em conjunto com outro grupo ou recorrendo ao sistema disponibilizado pelo docente.

#### **Bibliografia de Apoio:**

- A mesma dos trabalhos anteriores.
- Manuais dos processadores escolhidos.
- *Application Note AN97075 - “SJA1000 Stand-Alone CAN Controller”*, Philips Semiconductor, 1997.

## Redes para Aplicação Industrial

### Exemplo de Exame Final

Duração (1H30 a 2H00)

1. Caracterize sumariamente as redes específicas para aplicações industriais. Localize-as na estrutura habitual da organização de indústria no que respeita a comunicações. Aponte as propriedades que as fazem diferir das demais redes.
2. Considere uma rede baseada em FIP na qual apenas se produzem mensagens periódicas.
  - a) Classifique a rede do ponto de vista do sincronismo do tráfego. Justifique.
  - b) Explique sumariamente qual a solução que esta norma adopta para protocolo da subcamada MAC.
3. Na tabela abaixo apresentam-se as características de um conjunto de dados necessários para a operação dos sistemas electrónicos existentes nos veículos automóveis. Esses dados, que têm de ser transmitidos pelas redes de comunicação inseridas nesses veículos, constituem um subconjunto do habitualmente designado *benchmarking* PSA (designação do grupo Peugeot-Citroen).

Nº de Ordem	# de Bytes	Período (ms)	Deadline (ms)
1	8	10	10
2	3	14	14
3	3	20	20
4	2	15	15

- a) Considerando que cada dado é produzido numa unidade diferente e que se utiliza CAN, indique, justificando, que problemas se encontram para garantir as restrições de tempo-real dos dados.
- b) Supondo que a taxa de transmissão é de 500kb/s, quantifique o máximo atraso que pode sofrer a transmissão de uma instância do dado nº 3.

- c) Determine a máxima velocidade de transmissão que se pode utilizar na rede quando o comprimento total do barramento é de 50 metros. Despreze os atrasos de propagação internos às unidades que constituem os nós do sistema. Justifique.
4. Verifique se o conjunto de dados anteriores pode ser escalonado numa rede com base em EDF quando a velocidade de transmissão é de 250kb/s. Apresente e justifique os cálculos. Considere que o *overhead* total de comunicação por mensagem é fixo e igual a 20 *bits*.