

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Sistema de Supervisão e Controlo de Estruturas

Pedro Manuel Barbosa Moreira

PREPARAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. Adriano Carvalho

Fevereiro de 2011

© Pedro Manuel Barbosa Moreira, 2011

Resumo

Resumo...

Abstract

Abstract...

Agradecimentos

Agradecimentos...

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Motivação	1
1.2 - Contexto e objectivos	2
1.3 - Organização do documento	3
1.4 - Plano de Trabalho	4
Capítulo 2	5
Estado da Arte	5
2.1 - Sistemas de Automação Industriais	5
2.1.1 - Arquitectura de Sistemas Distribuídos e Tempo Real	7
2.1.2 - Sistemas de Automação para Estruturas Inteligentes	10
2.1.3 - Reconfiguração de Sistemas de Automação segundo a Norma IEC 61499	13
2.1.4 - Rede de Sensores Inteligentes	18
2.1.5 - Segurança em Sistemas de Automação Distribuídos	19
2.1.6 - Considerações finais	20
2.2 - SCADA	21
2.2.1 - Introdução	21
2.2.2 - Arquitectura de sistemas SCADA	23
2.2.3 - Tecnologias da Comunicação	25
2.3 - Redes de Petri	28
2.3.1 - Introdução	28
2.4 - Sistemas de Supervisão e Controlo de Estruturais - Civiónica	31
2.4.1 - Introdução	31

2.4.2 - Medição de Grandezas Estruturais.....	32
Capítulo 3	33
Conclusão	33
Referência	35

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Arquitectura de rede de comunicação para indústrias de Automação [1].....	6
Figura 2.2 - Arquitectura de sistema de controlo distribuído.....	8
Figura 2.3 - Arquitectura de um Sistema de Supervisão e Controlo para Estruturas Inteligentes [6]	12
Figura 2.4 - Interface Externa de um <i>Function Block</i> [1]	15
Figura 2.5 - <i>Function Block</i> Básico [1]	16
Figura 2.6 - <i>Function Block</i> Composto [1]	16
Figura 2.7 - Recurso - Service Interface Function Block [1].....	17
Figura 2.8 - Configuração do Sistema [1].....	17
Figura 2.9 - Estrutura básica de um sistema de supervisão e controlo.....	23
Figura 2.10 - Interface homem-máquina [11].....	24
Figura 2.11 - Exemplo de uma Rede de Petri [13]	29
Figura 2.12 - Representação de arcos múltiplos (esquerda) e representação compacta de arcos múltiplos (direita) [13].....	30

Lista de Tabelas

Não foi encontrada nenhuma entrada do índice de ilustrações.

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
FTU	<i>Fault Tolerance Unit</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
FB	<i>Function Block</i>
ECC	<i>Execution Control Chart</i>
MTU	<i>Master Terminal Unit</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
HMI	<i>Human-Machine Interaction</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Motivação

Sistemas de supervisão e controlo são nos dias de hoje ferramentas quase obrigatórias em qualquer sistema de automação, permitem o acesso, a gestão e a obtenção de dados do processo, bem como a possibilidade de controlar e actuar directamente sobre esse processo. A sua gama de aplicações vai desde aplicação no âmbito industrial, quer para industriais de controlo discreto ou contínuo, aplicação em equipamentos de serviços públicos, como estações de tratamento de águas residuais, sistemas de transmissão de energia, sistemas de transportes, passando também por aplicações na área da domótica, e mais recentemente em estruturas de engenharia civil, como pontes ou edifícios.

Um sistema de monitorização e controlo estrutural representa uma ferramenta poderosa que permite a obtenção de estruturas sustentáveis. Com estas tecnologias, tragédias como a da ponte Hintze Ribeiro, em Entre-os-Rios, que caiu a 4 de Março de 2001 devido à cedência de um pilar, provocando a morte de 59 pessoas, que seguiam a bordo de um autocarro e dois veículos particulares, poderão ser futuramente evitadas.

Parte constituinte dos sistemas de supervisão e controlo são os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Estes permitem a recolha de dados de vários sensores espalhados pelos vários constituintes do processo, centralizando-os num único computador central que os apresenta ao operador. Permitem ainda, a detecção rápida de funcionamentos anómalos do processo em questão, para que possam ser corrigidos o mais rapidamente possível. Actuação no processo por comandos enviados pelo operador é outra das funcionalidades destes sistemas SCADA. Para além de que através da utilização de uma base de dados, estes sistemas permitem guardar um histórico das variáveis obtidas e alteradas ao longo do tempo e representar esse comportamento de forma estatística, numérica ou graficamente.

1.2 - Contexto e objectivos

A monitorização e controlo de estruturas é uma tecnologia, que nos últimos 20 anos se tem desenvolvido largamente, por se apresentar cada vez mais como uma ferramenta que permitirá a prolongação do tempo de vida das estruturas bem como uma redução dos seus custos de manutenção. Este tipo de sistemas permite uma solução ao diagnóstico da deterioração das estruturas, bem como um sistema de controlo activo que permite actuar sobre a estrutura em função das variáveis monitorizadas.

Pretende-se com a presente dissertação um estudo teórico, sob a forma de Estado da Arte, de sistemas de automação de supervisão e controlo, baseados numa arquitectura distribuída e de tempo real, bem como das possíveis aplicações destes sistemas de automação em estruturas, mais especificamente em pontes. Como sistemas SCADA fazem parte integrante destes sistemas, este será outro dos pontos de estudo deste Estado da Arte, no sentido de compreender a sua evolução histórica e arquitectura actualmente utilizada para esses sistemas. Para obtenção ou manipulação dos dados dos níveis de controlo relativamente aos níveis de processo são necessárias redes industriais, de campo, célula ou fábrica, será realizada um estudo dos requisitos da comunicação necessária para cada nível, relativamente à largura de banda, velocidade de transmissão, tipo de tráfego, frequência de transmissão, entre outros. Será ainda elaborado uma análise a redes de petri, para compreender a sua possível aplicação como modelo comportamental do sistema (como máquina de estados), no qual assentará todo o processo de supervisão e controlo.

As grandezas monitorizadas na estrutura (ponte) serão extensões, corrosões, acelerações/vibração e temperatura. Serão estudados as melhores soluções de sensores para obtenção de cada uma destas variáveis, que serão monitorizadas a uma frequência entre 100 e 200Hz. A cedência da ponte, definida como pior caso, será a grande prioridade para análise, que pode ocorrer por vários factores externos, como o embate de um veículo, por exemplo um barco num pilar provocando a sua queda, ou pela erosão de correntes fortes que provoquem a sua cedência, no caso de pontes suspensas a destruição dos cabos que as suportam, que pode ser provocada pelo vento ou corrosão dos materiais, entre outras possibilidades.

Adicionalmente serão apresentados os actuadores para o sistema em causa, que serão actuadores de informação, como alarmes, sinalizadores luminosos e amortecedores hidráulicos que permitirão eliminar a possível ressonância dos cabos de suporte da ponte. O sistema deve assim permitir a geração de alarmes e possivelmente de disparos (actuações locais) para situações anómalas, por exemplo ligar sinais vermelhos que interditem a utilização de uma ponte se algo de grave aconteceu e põe em causa a segurança de quem nela circula.

Será implementada CANOpen como rede de campo do sistema, por ser uma rede que satisfaz todos os requisitos para esse nível, dos quais se destacam a possibilidade de utilizar em tráfegos periódicos ou aperiódicos, têm baixa largura de banda, e funcionam a velocidades muito elevados (real-time).

Como rede de fábrica e de célula serão utilizadas redes Ethernet, com cabos de fibra óptica, que permitem uma elevadíssima largura de banda, bem como transmissão de dados em longas distâncias, porque num sistema de monitorização de pontes podem existir centenas ou até milhares de sensores instalados ao longo de toda a estrutura de pode atingir dezenas de quilómetros.

O design do modelo do sistema será baseado numa Rede de Petri, que se irá desenvolver, testar e por fim implementar nos controladores.

Um dos principais objectivos desta dissertação é também o projecto, design e concepção de um sistema SCADA para a estrutura. Que deverá permitir ao utilizador a partir de uma interface gráfica verificar o estado completo dessa estrutura, bem como actuar directamente sobre ela.

Por fim será implementado um sistema seguro de acesso remoto ao SCADA, via Web, escolhendo um servidor adequado bem como o desenvolvimento do seu código respectivo, e implementação de um sistema cliente para o browser.

1.3 - Organização do documento

Nesta secção será apresentada a estrutura e organização da dissertação...

1.4 - Plano de Trabalho

O plano de trabalho proposto para a realização desta dissertação está apresentado no seguinte diagrama de *ganttt*.

ID	Task Name	Start	Finish	Duration	Nov 2010			Dez 2010				Jan 2011				Fev 2011				Mar 2011				Abr 2011				Mai 2011				Jun 2011			
					7-11	14-11	21-11	28-11	5-12	12-12	19-12	26-12	2-1	9-1	16-1	23-1	30-1	6-2	13-2	20-2	27-2	6-3	13-3	20-3	27-3	3-4	10-4	17-4	24-4	1-5	8-5	15-5	22-5	29-5	5-6
1	Revisão literária e Estado da Arte	01-11-2010	15-02-2011	77d	[Blue bar spanning from 01-11-2010 to 15-02-2011]																														
2	Estudo e selecção das grandezas a monitorizar	08-02-2011	25-02-2011	14d	[Blue bar spanning from 08-02-2011 to 25-02-2011]																														
3	Estudo e selecção dos actuadores do sistema	08-02-2011	25-02-2011	14d	[Blue bar spanning from 08-02-2011 to 25-02-2011]																														
4	Implementação da rede de campo - CANOpen	25-02-2011	10-03-2011	10d	[Blue bar spanning from 25-02-2011 to 10-03-2011]																														
5	Implementação da rede de célula e de fábrica – Fibra Óptica	11-03-2011	24-03-2011	10d	[Blue bar spanning from 11-03-2011 to 24-03-2011]																														
6	Design do modelo do sistema baseado em Rede de Petri	25-03-2011	07-04-2011	10d	[Blue bar spanning from 25-03-2011 to 07-04-2011]																														
7	Projecto, design e concepção do sistema SCADA	08-04-2011	05-05-2011	20d	[Blue bar spanning from 08-04-2011 to 05-05-2011]																														
8	Sistema de Acesso Remoto - Servidor	06-05-2011	23-05-2011	12d	[Blue bar spanning from 06-05-2011 to 23-05-2011]																														
9	Sistema de Acesso Remoto – Cliente (browser)	24-05-2011	08-06-2011	12d	[Blue bar spanning from 24-05-2011 to 08-06-2011]																														
10	Escrita da Dissertação	01-11-2010	30-06-2011	174d	[Blue bar spanning from 01-11-2010 to 30-06-2011]																														

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 - Sistemas de Automação Industriais

A automação industrial consiste no emprego de técnicas, softwares e/ou equipamentos específicos para um determinado equipamento ou processo industrial, isto para que a eficácia do mesmo seja aumentada. Tendo igualmente como finalidade maximizar a produção; diminuir a emissão de resíduos de qualquer espécie; reduzir ao máximo o consumo de energia e/ou matérias-primas; melhorar as condições de segurança, quer seja material, humana ou das informações referentes a esse processo; ou ainda, reduzir o esforço ou a intervenção humana sobre o equipamento ou processo.

Por conseguinte, os sistemas de automação industrial facultam uma importante contribuição adicional na conexão do sistema de supervisão e controle com os sistemas corporativos de gestão das empresas. Esta conectividade possibilita que dados importantes da operação dos processos sejam partilhados, o que contribui para tornar mais ágeis os processos de decisão e mais confiável os dados que sustentam as decisões dentro da empresa, para deste modo melhorar a produtividade.

Um sistema de automação pode apresentar hierarquias de controlo estruturadas em vários níveis, apresentando cada um desses níveis equipamentos e características distintas, permitindo assim uma estruturação hierárquica das funções do sistema.

O número de níveis hierárquicos não é um número fixo, normalmente encontra-se no intervalo de 4 a 6 níveis. A arquitectura mais comum utilizada em indústrias de processo contínuo é de 5 níveis, dispostos de forma descendente da seguinte forma:

- **Empresa**, onde é feita uma gestão de alto nível, de planeamento estratégico e dos sistemas de informação;
- **Fábrica**, onde são realizadas tarefas de escalonamento da produção, monitorização de equipamentos e materiais;
- **Controlo supervisão**, aqui é feito o controlo de cooperação entre as várias unidades que compõe o processo;
- **Controlo regulatório**, é feito o controlo das operações de uma unidade do processo;
- **Dispositivo**, que é o elemento de mais baixo nível do sistema, relativo aos sensores e actuadores utilizados na indústria.

Numa indústria de automação é fundamental um fluxo de informação ilimitado e atempado, que pode ser tanto vertical como horizontal. No primeiro caso os dados são trocados entre equipamentos em níveis adjacentes, que no caso de ser uma comunicação descendente, poderão ser comandos, ordens ou pedidos de níveis superiores a níveis inferiores; e no caso de serem ascendentes serão informações sobre a execução dos pedidos recebidos ou informação de situações anormais ocorridas, como avarias. Já o fluxo de informação horizontal ocorre entre equipamentos do mesmo nível, os dados são comandos e informação para cooperação dos equipamentos no nível em causa. Para que estes fluxos de dados ocorram, é essencial a existência de uma infra-estrutura de tecnologias de informação especializada, com redes de comunicação individuais, que devem ser escolhidas e integradas de acordo com a necessidade de cada nível. Estas redes distinguem-se, entre si, em termos de funcionalidade e performance que fornecem aos dispositivos onde estão inseridas.

Como nos sistemas de automação existe uma enorme diversidade de dispositivos de campo (sensores e actuadores) e redes de comunicação industriais, é implicativa a utilização várias plataformas de software e linguagens de programação para desenvolver tais aplicações. Fica assim evidente a necessidade de integração de infra-estruturas de comunicação de uma indústria/fábrica para realizar um fiável e atempado intercâmbio de dados [1].

Uma típica arquitectura de uma rede de comunicação em indústrias de automação pode ser visualizada na seguinte ilustração.

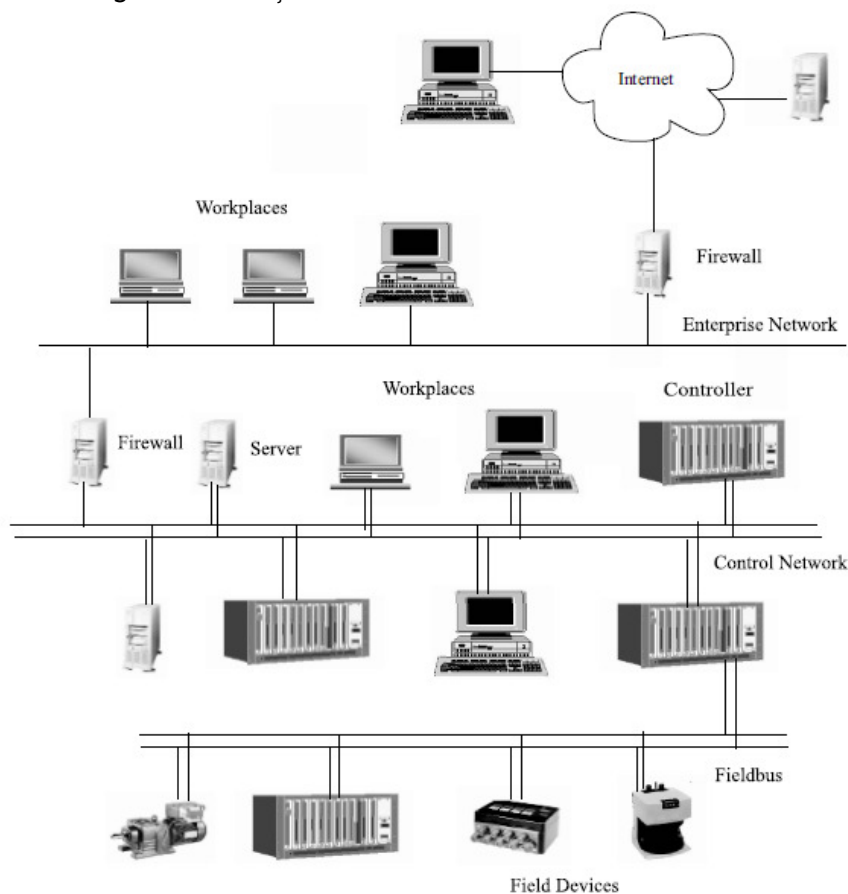


Figura 2.1 - Arquitectura de rede de comunicação para indústrias de Automação [1]

Ao nível dos dispositivos de campo são apenas trocado um conjunto pequeno e restrito de dados, relativos a monitorizações (sinais de sensores) e controlo de actuadores (motores,

ferramentas, luzes, etc), a rede de campo mais utilizada é a *Profibus*, mas não é a única, outra solução para redes de campo são, por exemplo, as redes baseadas em *Ethernet*. Estes dispositivos de campo são conectados a controladores do processo (autómatos programáveis, computadores, etc.) que possuem a sua própria rede - rede de controlo, nesta rede são trocados dados em tempo real entre os vários controladores e/ou estações de controlo. Os dispositivos de nível de controlo servem tanto para controlo do processo como para a sua supervisão. Neste nível, os dados trocados entre dispositivos contêm mais informação. Uma das soluções, actualmente mais utilizada, para estas redes são redes baseadas em *Ethernet* com pacotes TCP/IP.

No nível de gestão da empresa é possível realizar o controlo da execução de processo/manufactura e gestão das várias aplicações da empresa, também aqui, tipicamente se utiliza uma rede *Ethernet* com pacotes TCP/IP, este nível pode porventura ser acedido remotamente, via Web.

Dado numa indústria existir uma enorme variedade de processos, que devem ser monitorizados e controlados, é quase que obrigatório o projecto e implementação de sistemas de controlo e supervisão, que devem ser adaptados a cada tipo de indústria ou processo onde são integrados. Estes sistemas de controlo aplicam-se tanto dentro do mesmo nível, como para níveis hierárquicos distintos. Dentro de um mesmo nível hierárquico o controlo pode ser [2]:

- Centralizado - em que o algoritmo de controlo é implementado num único dispositivo;
- Descentralizado - o algoritmo de controlo é executado num único dispositivo, mas a aquisição de dados do processo é realizada por dispositivos mais simples, esta arquitectura já implica a utilização de redes de comunicação, que normalmente são ponto a ponto;
- Distribuído - onde o algoritmo de controlo é distribuído por diferentes dispositivos. Esta arquitectura implica a existência de redes de comunicação de maior complexidade que a anterior, como é o caso das redes de campo.

A interface programática entre os níveis de controlo de equipamentos e os de gestão da empresa pode ser especificada segundo a norma IEC 62624 ou ISA 95, como é mais conhecida. Esta norma foi desenvolvida para ser aplicada em qualquer tipo de processo utilizado nas fábricas, sejam elas de processos por lotes, processos contínuos ou processos repetitivos. E tem como principais objectivos: proporcionar uma terminologia consistente que será a base de comunicação entre o fornecedor e o fabricante; proporcionar modelos de comunicação consistentes; e fornecer modelos de operação consistentes que permitam simplificar a funcionalidade das aplicações e definir a informação a utilizar [3].

2.1.1 - Arquitectura de Sistemas Distribuídos e Tempo Real

Sistema de Controlo Distribuído

Actualmente cada vez mais se utilizam estruturas computacionais de sistemas distribuídos com redes de comunicação, substituído a primitiva organização de sistemas centralizados. A arquitectura distribuída tem uma implementação mais complexa, pois exige uma coordenação muito sofisticada entre os vários controladores, implicando um maior custo inicial na sua implementação relativamente a outras soluções. No entanto a relação qualidade-preço grande parte das vezes, essencialmente para soluções de média ou elevada complexidade, é compensatória. Pois, com esta arquitectura, é possível ter um desempenho elevadíssimo do

sistema, graças à execução dos algoritmos de controlo em paralelo, um aumento da flexibilidade do sistema e uma maior tolerância a falhas do sistema.

A capacidade de tolerar falhas por parte de um sistema de controlo distribuído é devida à utilização de unidades redundantes configuradas, como unidades tolerantes a falhas (FTU). Esta característica é uma vantagem tremenda para aplicações que necessitam de um elevado grau de segurança e confiabilidade, tais como aviões, carros, etc [4].

Um exemplo de aplicação de sistemas deste tipo é o uso, em automóveis, de um controlador digital avançado, que lhe permite melhorar a estabilidade, performance, segurança, redução dos consumos de combustível, redução das emissões de dióxido de carbono, etc [4].

Estes sistemas de controlo, como já foi apresentado, são implementados de forma distribuída e comunicam entre si por uma ou mais redes de comunicação. As tarefas de controlo, sensorização, actuação ou processamento (algoritmo de controlo) são repartidas por diferentes módulos e interligadas pela rede de comunicação. Uma representação esquemática de um sistema de controlo distribuído pode ser visualizada na seguinte figura.

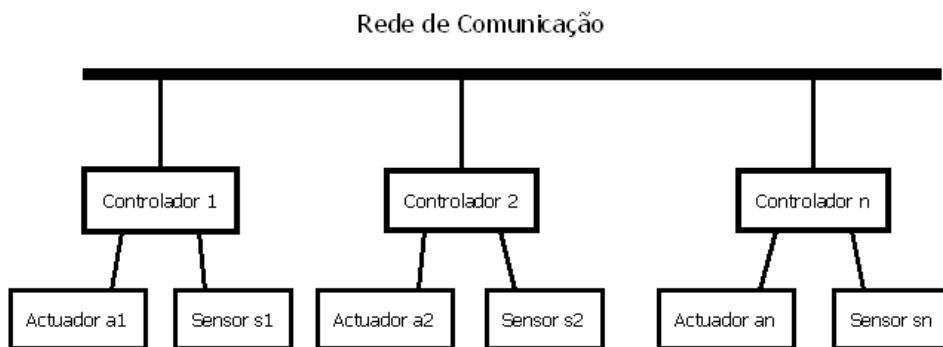


Figura 2.2 - Arquitectura de sistema de controlo distribuído

Um controlador i , os actuadores a_i e os sensores s_i ilustrados no esquema anterior representam uma unidade do processo.

Num sistema de controlo tradicional as tarefas de medição/sensorização, execução do algoritmo de controlo e actuação são estritamente sequenciais. Num sistema distribuído essas tarefas são executadas em paralelo ou de modo sobreposto, introduzindo assim alguns problemas relativos à sincronização destas acções que necessitam de ser correctamente tratados na fase de projecto do sistema [4].

Começa a ficar cada vez mais visível a necessidade da utilização de um modelo de comunicação que garanta para além da sincronização das várias tarefas do sistema (sensorização, actuação e execução do algoritmo de controlo), também um correcto e controlado fluxo de dados entre os vários nós do sistema distribuído, pois uma errada circulação destes dados terá reflexos inevitáveis no funcionamento e desempenho do sistema. Existem vários modelos de sincronização para tratar estes problemas, dos quais se destacam o modelo Cliente-Servidor, o modelo Productor-Consumidor, o modelo Publicador-Subscritor e o modelo Mestre-Escravo.

O mais utilizado em sistemas distribuídos é o modelo Cliente-Servidor, aqui existem dois tipos de componentes: os servidores, que fornecem os serviços; e os clientes de usam os serviços (comunicação *unicast*). A comunicação neste modelo é iniciada sempre pelo cliente que invoca um serviço ao servidor, que apenas responde a esse pedido. Os pedidos podem ser feitos síncrona ou assíncronamente, sendo esta última a mais comum. Ao utilizar uma

comunicação assíncrona neste modelo não é fácil estimar o atraso da comunicação provocado pelo tempo de resposta do servidor, por não se conhecer, à partida, a carga do servidor, ou seja, quantos clientes querem aceder a um servidor no mesmo instante. Por este motivo, este modelo é considerado temporalmente imprevisível.

O modelo Productor-Consumidor é constituído por dois componentes: os produtores, que produzem os serviços; e os servidores que consomem os serviços. A comunicação é realizada por iniciativa do produtor, que publicam um serviço que os consumidores podem consumir ou ignorar (comunicação *broadcast*). Este modelo é temporalmente previsível, pois o fluxo de dados é unidireccional, através de um conjunto de componentes, tornando a ordem de execução e o atraso ponta a ponta altamente previsível.

O modelo Publicador-Subscritor é parecido com o modelo anterior, o Publicador produz e publica os serviços por iniciativa própria e o Subscritor consome estes serviços. A diferença para com o modelo anterior reside no facto de, neste caso, o Subscritor ter “subscriver” o conjunto de serviços oferecidos pelo Publicador que pretende consumir, evitando assim receber informação que não lhe interessa (comunicação *multicast*). Se o conjunto de serviços a que os subscritores se subscvem estiver bem explícito, este modelo tal como o anterior torna-se temporalmente previsível.

No modelo Mestre-Escravo, existem dois componentes: os mestres que coordenam a execução das actividades; e os escravos que executam os pedidos/ordens dos mestres, estas ordens podem ser de pedidos de informação/dados ou ordens de execução. A comunicação neste modelo é sempre iniciada pelo mestre, através do envio de pedidos (dados ou execução de tarefas) a um escravo, que lhe responde com os dados pedidos ou com a execução das tarefas pretendidas. Neste modelo como as funções são distribuídas pelos vários escravos torna-se simples estimar o atraso na realização de uma determinada tarefa, considerando-se assim este modelo temporalmente previsível.

A utilização de um sistema distribuído de controlo exige, normalmente, características de controlo em tempo real, de forma a garantir que as operações executadas pelo sistema terminam antes do seu tempo máximo estabelecido. Estas características de tempo real são alargadas até às redes de comunicação, pois em sistemas deste tipo, o controlo da execução do código de dados está distribuído em todos os nós que comunicam por estas redes, e as restrições temporais aplicam-se a todo o conjunto. Obrigando assim à utilização de protocolos de comunicação determinísticos, ou seja, com tempos máximos de transmissão previsíveis.

Sistemas de Controlo em Tempo Real

Genericamente um sistema de tempo real é um sistema de controlo ou monitorização que consegue acompanhar o estado de um dado processo físico e, se necessário, actuar a tempo sobre.

Designa-se por tempo real o ritmo de evolução (dinâmica) de um dado processo físico que não pode (ou não deve, no caso de simuladores) ser controlado externamente. Sendo assim o meio envolvente quem impõe ao sistema os requisitos temporais. Um sistema só é de tempo real se conseguir actuar a tempo sobre esse meio envolvente, de acordo com o seu tempo real. Estes sistemas não necessitam de ser muito rápidos, devem é ser mais rápidos que o ritmo do seu meio envolvente.

Os sistemas de tempo real são normalmente sistemas embarcados, porque controlam um sistema genérico do qual fazem parte [5]. O controlo computadorizado de um automóvel, o

controlo de um avião, o controlo de um robô, ou o controlo de produção numa fábrica são alguns exemplos de sistemas de controlo em tempo real.

Os sistemas de tempo real podem ser classificados de dois tipos:

- Sistemas de tempo real críticos (*Hard Real-Time Systems*) - nestes sistemas o incumprimento de uma restrição temporal pode resultar numa falha no sistema;
- Sistemas de tempo real não críticos (*Soft Real-Time Systems*) - aqui uma falha nas restrições, não crítica, pode não ser sinónimo de uma falha no sistema.

Um sistema que controle um central nuclear, ao contrário de um sistema de base de dados de tempo real, é claramente um sistema crítico, pois uma falha neste sistema poderia implicar uma catástrofe, pondo em risco vidas humanas.

No caso prático de monitorização de estruturas físicas, pode ser não possível utilizar um sistema totalmente de tempo real. Como o número de sensores instalados numa estrutura pode atingir valores muito elevados, até milhares, é fácil compreender que não existem processadores tão poderoso que permita fazer a monitorização atempada de tantos sensores, a utilização de sensores inteligentes pode minimizar esta lacuna. Estes sensores serão analisados mais detalhadamente numa secção posterior.

2.1.2 - Sistemas de Automação para Estruturas Inteligentes

Cada vez mais, os proprietários de obras de engenharia civil são confrontados com a necessidade de as monitorizar continuamente, com intuito de avaliar o seu desempenho e a sua integridade estrutural. Uma solução a este problema passa pela utilização de um sistema de automação de supervisão e controlo.

Com a evolução das tecnologias dos materiais e estruturas inteligentes, cada vez mais existem condições de actuar sobre estas questões de forma inteligente.

Uma estrutura inteligente consiste numa estrutura dotada de sensores, que lhes são embebidos como partes integrantes, e por actuadores, que respondem em função de uma unidade de controlo dependente das informações recolhidas pelos sensores. Estas estruturas possuem a capacidade de agir e reagir de forma programada e inteligente, em função das solicitações e do meio ambiente. Desta forma, as estruturas inteligentes são dotados de um sistema de controlo activo, que permite, a partir de actuadores mecânicos especializados, que produzem forças ou deformações, actuar sobre as estruturas em função dos sistemas de monitorização.

A utilização de controlo activo em estruturas tem sido reconhecido como uma das áreas de maior desafio na engenharia estrutural nos últimos anos, com especial destaque na área da dinâmica estrutural. Utilizando estes controladores é possível modificar o comportamento da estrutura durante acções dinâmicas, como impactos, ventos ou sismos [6].

Soluções deste tipo trazem enormes vantagens, quer no aumento do tempo de vida útil da estrutura, quer na prevenção de danos estruturais, ou ainda na construção de estruturas cada vez mais arrojadas e atractivas. Por exemplo, através de controlo activo em pontes é possível limitar a deformação da estrutura dentro do limite elástico e, portanto, prevenir danos estruturais e não estruturais. A prevenção de danos não estruturais permite evitar o aparecimento de danos que no seu contexto, podem ser mais graves a longo prazo do que propriamente danos estruturais, dos quais são exemplos, o aparecimento de fissuração, ou a corrosão das armaduras das estruturas [6].

Numa estrutura inteligente pode-se dimensionar um determinado número de membros activamente controlados, onde cada membro tem um sensor ou um actuador. O sensor mede,

por exemplo os deslocamentos dos graus de liberdade, e o actuador aplica a força necessária para correcção apropriada na resposta. Um outro exemplo será para ponte suspensas por cabos, quando se verifica pelos sensores que estes estão em alta ressonância pode ser activado um amortecedor para a eliminar. Toda a comunicação é realizada por um sistema de monitorização, em malha fechada que, que garante um permanente *feedback* entre os sensores, computador central e os actuadores. O controlo activo das estruturas pode ser realizado de duas formas. Uma delas em que a estrutura reage quando uma grandeza de entrada ultrapassa certos limites previamente estabelecidos. Outra, em que as grandezas de entrada são processadas em níveis hierárquicos superiores do sistema de supervisão e controlo, para, posteriormente ser formulada uma resposta adequada na estrutura.

Será seguidamente realizada uma pequena abordagem a uma arquitectura possível, para um sistema de supervisão e controlo, aplicável ao conceito de estrutura inteligente.

Arquitectura de um Sistema de Supervisão e Controlo para Estruturas Inteligentes

Na seguinte figura, está apresentado uma possível arquitectura hierárquica para um sistema de supervisão e controlo aplicável a Estruturas Inteligentes.

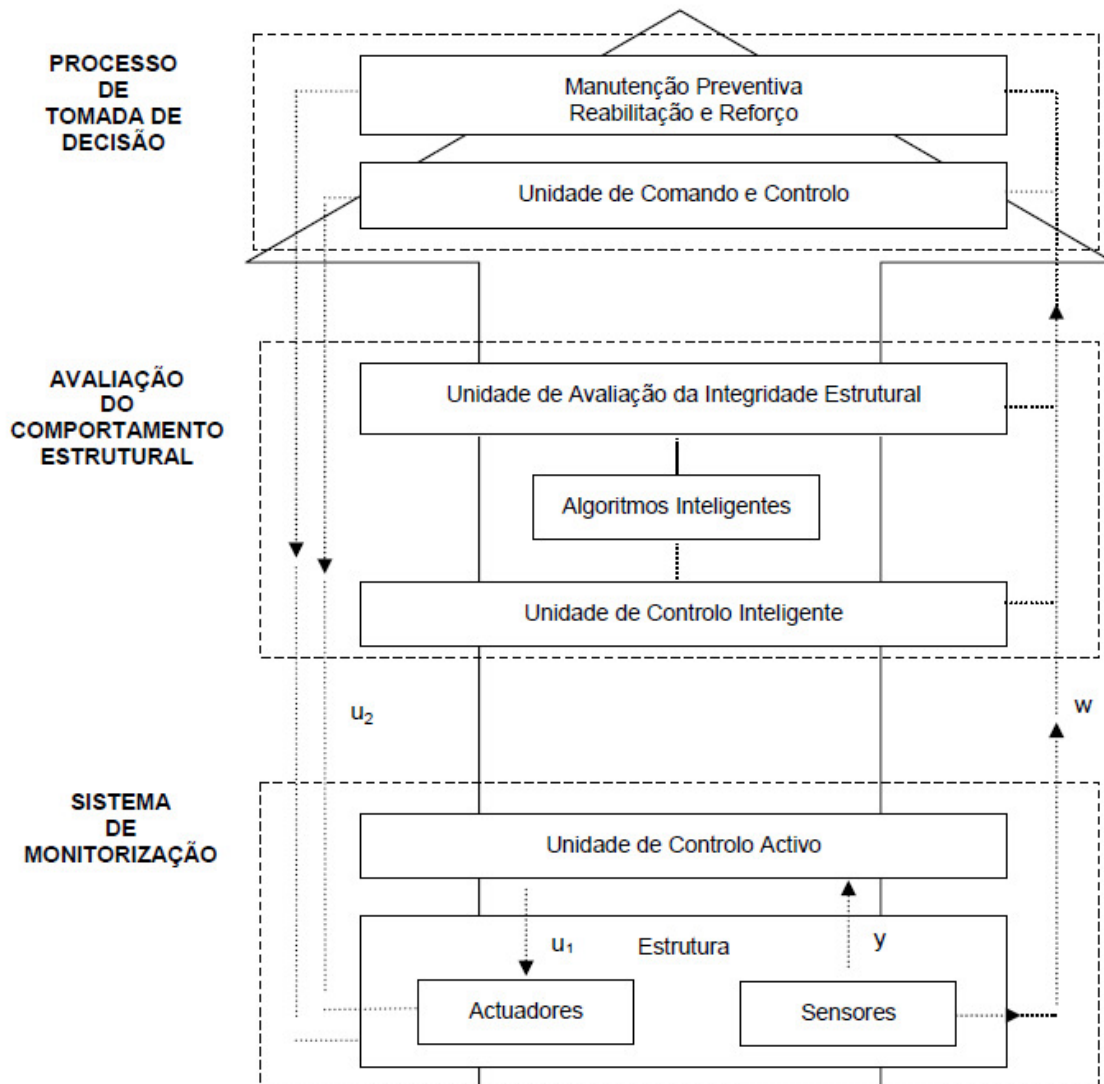


Figura 2.3 - Arquitectura de um Sistema de Supervisão e Controlo para Estruturas Inteligentes [6]

No esquema em cima, y representa o conjunto de dados analógicos recolhidos pelos sensores directamente para o computador periférico (unidade de controlo activo), w representa o vector de dados analógico que transitam directamente para o computador central e u_i representa as instruções enviadas pelos elementos de controlo para os actuadores, sendo u_1 e u_2 originários de unidades de controlo de níveis hierárquicos distintos, a primeira instrução originária da unidade de controlo de mais baixo nível, unidade de controlo activa e a segunda proveniente de uma unidade de controlo de mais alto nível, referente à unidade de gestão do processo, representada como unidade e comando e controlo.

O elemento chave de uma monitorização deste tipo reside no tratamento inteligente de dados num computador central, relativos à avaliação do comportamento estrutural, através dos chamados algoritmos inteligentes. Estes algoritmos tratam os dados com dois objectivos bem definidos ao nível de duas unidades: (i) unidade de controlo inteligente; e (ii) unidade de avaliação da integridade estrutural.

- Ao nível da unidade de controlo inteligente, os algoritmos devem ser capazes de avaliar comportamentos, prever respostas e propor ajustes estruturais à unidade de comando e controlo.
- Ao nível da avaliação da integridade estrutural, os algoritmos devem se capazes de identificar danos estruturais para, em função do tipo de danos, prever operações de manutenção, reabilitação ou reforço.

Relação entre Arquitectura de Sistemas de Monitorização de Estruturas Inteligentes e Arquitectura de Indústrias de Processos Contínuos

No início deste capítulo, foi apresentada uma possível arquitectura de 5 níveis para um processo de produção contínuo. Esses níveis são: empresa, fábrica, controlo supervisão, controlo regulatório e dispositivo. Sendo a empresa o mais alto nível e o dispositivo o nível mais baixo desta hierarquia.

Empresa, elemento de mais alto nível da arquitectura de uma indústria de processo contínuo, é responsável pelo planeamento estratégico de produção da empresa, este nível na arquitectura de sistemas de monitorização de estruturas físicas está representado pela unidade de comando e controlo, realiza a gestão de alto nível do processo global, podendo enviar comandos aos actuadores do processo.

A fábrica da indústria de automação está representada na arquitectura das estruturas pelas unidades de avaliação e de controlo inteligente. No nível da fábrica são realizadas as tarefas de escalonamento da produção, monitorização e dos materiais utilizados, que são tarefas semelhantes às tarefas realizadas nas unidades que as representam nesta nova arquitectura, apresentadas em cima, de avaliação de comportamentos do processo e apresentação de propostas de actuação ao nível superior.

O nível de controlo supervisão é responsável pelo controlo de coordenação entre as várias unidades que compõe o processo, ou seja, pelas unidades de controlo activo e dos dispositivos de campo (sensores e actuadores). Este nível não está representado na arquitectura para estruturas inteligentes representada na Figura 2.3, pois nesta apenas se encontra representada uma unidade de processo. No entanto, este é um nível essencial numa arquitectura de sistemas distribuídos.

No controlo regulatório é feito o controlo directo das operações de uma unidade do processo, este controlo é equivalente ao representado na arquitectura de estruturas inteligentes como unidade de controlo activo.

Por fim, está representado na Figura 2.3, como “Estrutura” o nível mais inferior desta arquitectura, relativo aos sensores e actuadores do processo. Este nível é representativo do nível dos dispositivos da arquitectura de um processo contínuo.

2.1.3 - Reconfiguração de Sistemas de Automação segundo a Norma IEC 61499

O desenvolvimento desta norma vem de encontro a novas necessidades impostas pelas indústrias de manufactura e pelos novos conceitos e capacidades de hardware e software de engenharia de controlo.

Os sistemas de controlo industriais actuais são baseados em sistemas de controlo distribuído, existindo um ou mais controladores centrais, que controlam e supervisionam toda

a planta da fábrica, com as entradas e saídas distribuídas por uma rede em níveis hierárquicos inferiores. Esses controladores centrais podem ser Autómatos Programáveis (PLCs).

Um PLC (*Programmable Logic Controller*) é um computador especializado, baseado num microprocessador, que utiliza uma memória programável onde são armazenadas internamente um conjunto específico de instruções e funções, específicas de cada aplicação, que controlam, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

A norma IEC 61131 é a norma actualmente mais utilizada para a programação de PLCs, esta norma recai sobre uma programação de controladores centralizados que executam programas cíclica ou assíncronamente. A integração de sistemas programados segundo esta norma em redes de comunicação requer processos de sincronização bastante complexos. Sendo esta sincronização, normalmente, feita pela troca do estado de variáveis do processo. Para além disso, aplicações desenvolvidas segundo esta norma são, normalmente, incompatíveis entre diferentes fabricantes.

O desenvolvimento da norma IEC 61499 foi impulsionado por todas as necessidades apresentadas anteriormente, esta define conceitos e mecanismos que facilitam o desenvolvimento de aplicações concorrentes (com processos que disputam o acesso a um mesmo recurso partilhado), distribuídas e sincronizadas.

A norma IEC 61499 não é uma linguagem de programação, ela define uma *framework*/metodologia de organização/modelação de uma aplicação de supervisão e controlo distribuída, bem como a forma como esse modelo será interpretado e executado. Esta norma é baseada em *function blocks* (FBs), que são unidades reutilizáveis de software, que possuem dados e um código associado, fornecendo uma solução de controlo para um determinado problema. Uma aplicação, segundo esta norma, constrói-se interligando vários *function blocks*. Na Figura 2.4 em baixo está representado o esquema de um *function block* da norma IEC 61499. O *function block* é constituído por uma parte superior, a “cabeça” e uma parte inferior, o “corpo”, deve conter entradas e saídas, sendo que estas entradas/saídas (E/S) podem ser de dados, associados ao corpo do bloco, ou eventos, associados à cabeça do bloco. Os dados de E/S referem-se ao conceito de dados adoptado por qualquer linguagem de programação, como pela norma IEC 61131. Já os eventos são os elementos que permitem a sincronização e interacção entre os mecanismos de controlo de execução em redes de *function blocks* interligados. Assim a sequência de eventos trocados entre *function blocks* define a sua ordem de execução, porque: um FB só executa quando recebe um evento; um FB só lê uma entrada quando recebe um evento; um FB pode como consequência da sua execução gerar um evento de saída, para além de actualizar os valores das suas saídas.

Em *function blocks* de serviço de interface, que serão apresentados mais à frente, é possível associar eventos a dados, como está representado na Figura 2.4. Com esta associação é possível que variáveis associadas a um determinado evento apenas sejam actualizadas aquando da ocorrência desse evento.

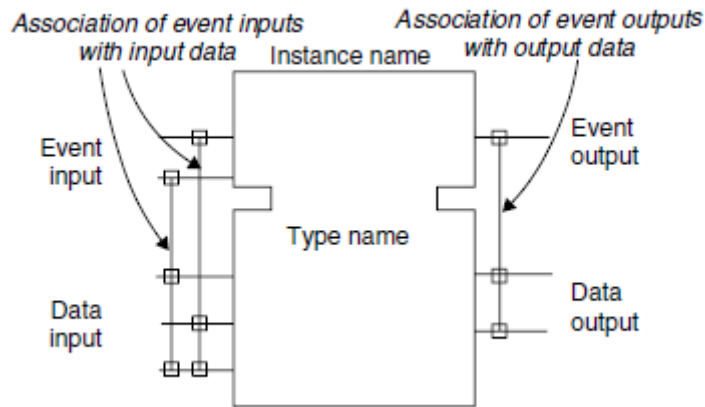


Figura 2.4 - Interface Externa de um *Function Block* [1]

Com esta norma depois de definir um *function block* é possível coloca-lo numa livraria e utiliza-lo o número de vezes que forem necessárias (permite várias instâncias de uma mesmo FB).

Tipos de Function Blocks

Nesta norma existem 3 tipo de *function blocks* associados: básicos, compostos e de interface de serviço.

Function Blocks Básicos

São utilizados para implementar funções básicas de controlo numa aplicação de controlo distribuído. A norma diz que estes *function blocks* para além de incluírem entradas e saídas, devem ainda possuir variáveis internas, um ou mais algoritmos e um *execution control chart* (ECC), como é ilustrado na Figura 2.5. Permitem ainda memorizar internamente os dados e eventos de entrada e saída.

O algoritmo representa a parte de software do *function block* que opera sobre as entradas, saídas e variáveis internas, sendo que, estas variáveis internas apenas podem ser acedidas internamente ao *function block*, através do algoritmo. Este algoritmo pode ser desenvolvido em qualquer linguagem de programação, incluindo pelas linguagens definidos na norma IEC 61131.

O ECC é uma máquina de estados finita que especifica um algoritmo a ser invocado, depois da ocorrência de um determinado evento num determinado estado de execução, para determinar os eventos de saída que o *function block* deve produzir, perante certas condições de entrada. A invocação do ECC é feita depois da ocorrência de um certo evento de entrada. Como em todas as máquinas de estados, o ECC possui um estado inicial, estados com certas acções associadas e transições entre estados. As acções contêm algoritmos, que determinarão os eventos de saídas a activar. As transições são activas por condições lógicas (booleanas) que utilizam um ou mais eventos de entrada e/ou variáveis internas, de entrada e/ou de saída.

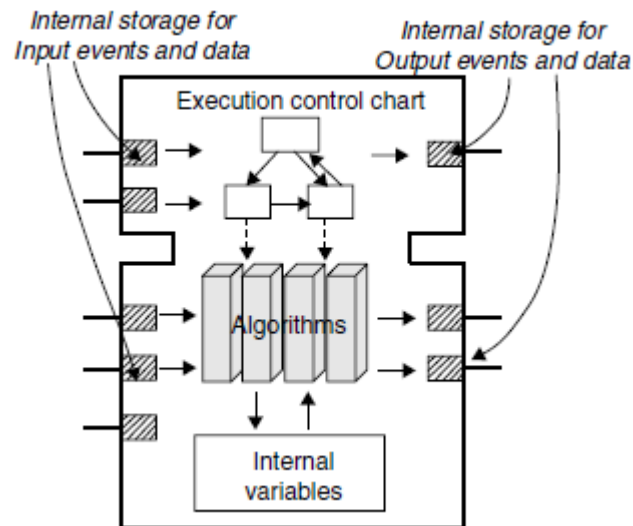


Figura 2.5 - *Function Block* Básico [1]

Function Blocks Compostos

São compostos por vários *function blocks* interligados por uma rede entre si. Como é apresentado na Figura 2.6. Mais detalhadamente, um *function block* composto é constituído por várias instâncias de *function blocks*, que podem ser *function* básicos ou mesmo *function blocks* compostos. Permitindo assim a construção de aplicações mais complexas e hierárquicas, com níveis de hierarquias ilimitados.

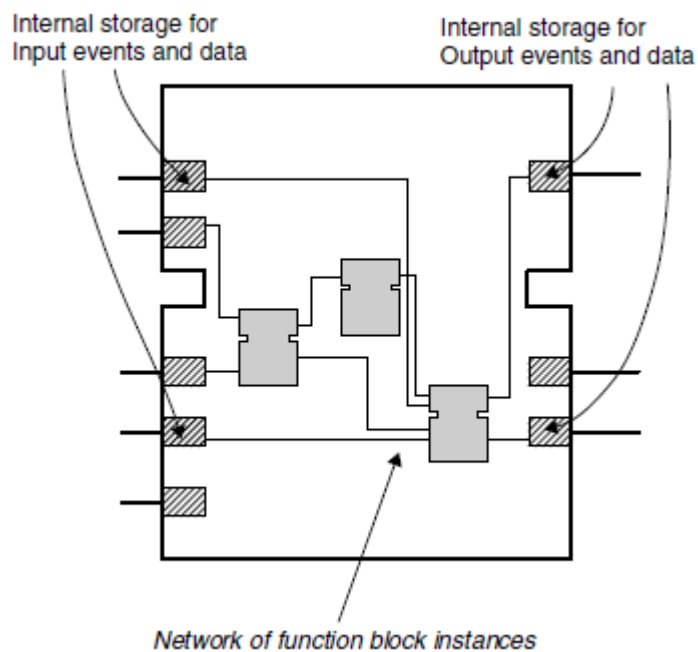


Figura 2.6 - *Function Block* Composto [1]

Function Blocks de Serviço de Interface

Ao contrário dos *function block* básicos e compostos, estes não são concebidos para o desenvolvimento da aplicação em si. Estes *function blocks* são utilizados para interligação das aplicações às redes de comunicações e às entradas e saídas do processo. Como se pode verificar na seguinte figura.

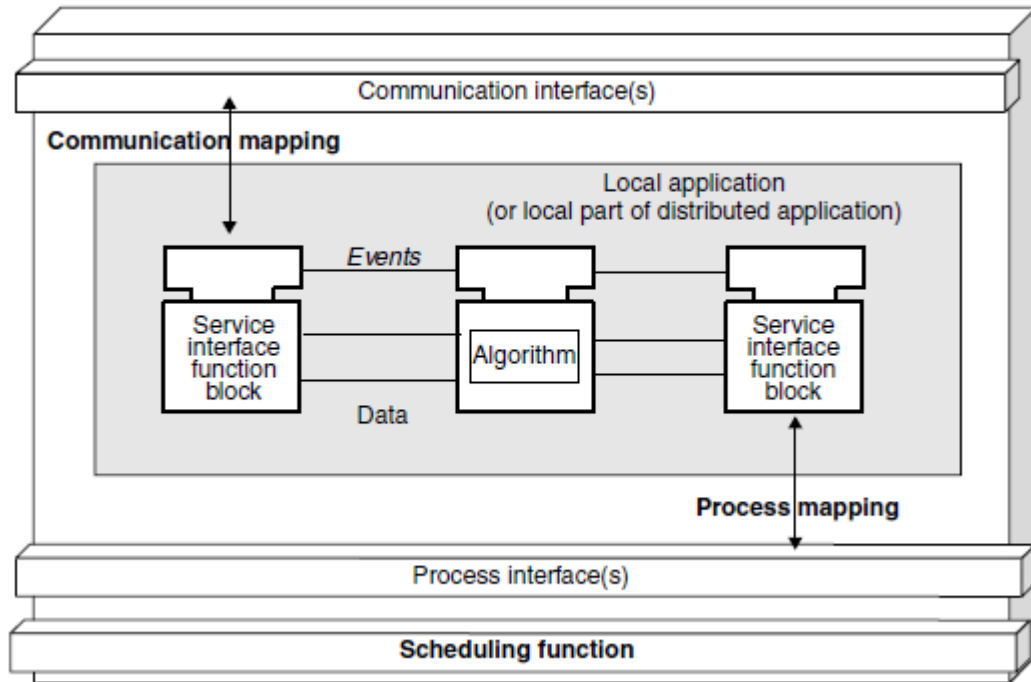


Figura 2.7 - Recurso - Service Interface Function Block [1]

Especificação da Arquitectura do Sistema

Uma aplicação em IEC 61499 segue uma arquitectura composta pelos seguintes elementos: sistema; dispositivo; recurso; aplicação; sub-aplicação e *function block*. A configuração do sistema pode ser visualizada na ilustração seguinte.

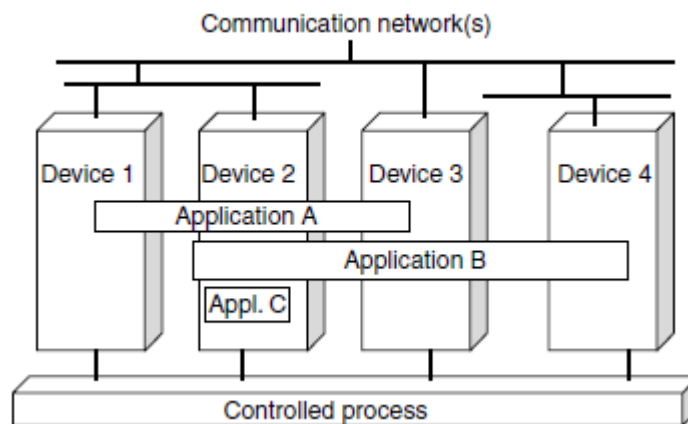


Figura 2.8 - Configuração do Sistema [1]

Os dispositivos são especificados pela sua interface de processo e pela sua interface de comunicação, pois comunicam entre si por redes de comunicação e são conectados ao processo controlado, ou seja, aos sensores e actuadores do processo. São compostos por nenhum, um ou vários recursos.

O sistema é elemento de mais alto nível desta arquitectura que suporta todos os outros elementos, é constituído por um ou mais dispositivos.

Um recurso, representado na Figura 2.7, é uma unidade funcional, contida nos dispositivos, que tem controlo independente da sua execução, isto é, pode ser criada, configurada, parametrizada, iniciada, eliminada, etc., sem afectar os outros recursos contidos no dispositivo [1]. Este tem como função receber dados ou eventos originários do processo e/ou da interface de comunicação e retornar-lhes os dados ou eventos especificados pela aplicação que nele está implementada.

As aplicações são desenvolvidas nos dispositivos, e são compostas por vários *function block* interligados devidamente entre si que desempenharão as tarefas de controlo pretendidas. Uma mesma aplicação pode ser desenvolvida em vários dispositivos que comunicam por uma rede de comunicação, dão-se o nome de sub-aplicação a uma parte de uma aplicação que está desenvolvida num dispositivo específico. Por exemplo na Figura 2.8, a aplicação A é composta por sub-aplicações implementados nos dispositivos 1, 2 e 3.

2.1.4 - Rede de Sensores Inteligentes

Os sensores são componentes utilizados em vários dispositivos e sistemas, que fornecem informação sobre os parâmetros que se pretendam mensurar, ou para identificar estados de controlo do sistema. Em sistemas de supervisão e controlo é essencial uma escolha apropriada dos tipos de sensores a utilizar, de acordo com as potencialidades dos sensores e dos objectivos que se pretendem obter de cada sensor. Para que forneçam a informação pretendida com maior a precisão possível.

Com auxílio de microcontroladores é possível tornar sensores dotados de inteligência. Este facto só foi possível a partir da migração verificada, nos últimos anos das redes de comunicação para a comunidade dos sensores. Que tornando possível, a utilização dos sensores inteligentes, que transmitem as suas medidas directamente a um qualquer instrumento ou sistema de supervisão. Ou seja, consegue-se assim descentralizar a inteligência e o controlo dos dispositivos de controlo, para os níveis dos transdutores (sensores e actuadores). Utilizando sensores inteligentes consegue-se mais flexibilidade no sistema, melhorar as suas performances, maior facilidade da sua instalação, actualização e manutenção. Por todas estas vantagens, cada vez mais, ao nível industrial, são utilizados este tipo de soluções, de uma arquitectura de controlo distribuída com sensores inteligentes [1].

Para aplicações de supervisão de estruturas físicas, é necessário realizar um estudo cuidadoso sobre o número e localização dos sensores na estrutura em causa. Sendo que, em aplicações deste tipo, se pretende detectar qualquer tipo de dano estrutural antes que este seja considerado crítico. Por outro lado, a aplicação de sensores numa estrutura não deve introduzir qualquer alteração no comportamento da mesma, assim a presença de sensores, de cabos de ligação entre eles, postos de observação e outros acessórios necessários devem ser considerados na fase do projecto destes sistemas.

Redes de sensores sem fios e redes de sensores de fibra óptica são duas possíveis soluções para redes de sensores inteligentes, que poderão ser aplicadas em estruturas (pontes, edifícios, etc.).

As redes de sensores de fibra óptica têm vindo cada vez mais a ser utilizadas em sistemas de monitorização, graças às suas inúmeras vantagens como: imunidade a interferências electromagnéticas; capacidade transmissões de sinais a longas distâncias; dimensão e peso reduzido; elevada resistência à corrosão e água; entre outros [7].

A tecnologia de redes de sensores sem fios está ainda em fase de estudo e desenvolvimento, mas espera-se que se torne uma alternativa a curto prazo, pois apesar de serem mais lentas e menos confiáveis, prevê-se que com a utilização de redes sem fios se reduza substancialmente o custo de sistemas de monitorização estrutural. Dado que em aplicações convencionais destes sistemas 25% do seu custo total e 75% do tempo de instalação se devem à instalação dos cabos [7].

A estrutura destas redes de sensores sem fios consiste em dispositivos autónomos, que possuem os sensores acoplados, espalhados pela rede, normalmente designados por nós-sensores. Estes dispositivos têm capacidade de comunicar entre si e com estações locais que armazenam os valores medidos. Posteriormente estes valores serão enviados a uma estação central, o *gateway*. Este *gateway* colecta todos os dados medidos em cada nó e envia-os para um computador através de uma conexão, que poderá ser por exemplo, do tipo Ethernet ou USB [8].

2.1.5 - Segurança em Sistemas de Automação Distribuídos

A possibilidade de acesso remoto ao sistema de automação expõe-no a ataques externos, que podem facilmente comprometer a integridade do sistema e pôr em perigo o seu correcto funcionamento.

A segurança de um sistema computacional pode ser definida pela sua capacidade de prevenir e detectar acções não autorizadas. É necessário em sistemas seguros garantir:

- Integridade, impedindo modificações de informação não autorizada;
- Confidencialidade, impedindo o acesso não autorizado à informação;
- Disponibilidade, permitindo o acesso autorizado à informação.

É necessária a realização de uma análise específica das possíveis ameaças do sistema, para definir a sua política de segurança, ou seja, para definir quais as acções autorizadas ou não autorizadas e a que utilizadores. A implementação desta política de segurança é realizada recorrendo a mecanismos de segurança.

Na concepção de um sistema de segurança há um conjunto de aspectos a ter em conta. O primeiro aspecto diz respeito à escolha da camada onde se devem implementar estes mecanismos de segurança (nos sistemas de comunicação, na aplicação, etc.). Em seguida estudar o sistema e perceber se este deve ser mais funcional, ou seja mais simples, ou se deve garantir um grau de confiança elevado, implicativo de um sistema mais complexo. Por fim é necessário perceber de que componentes depende a segurança do sistema, para escolher se a concepção de mecanismos de segurança deve ser centralizada ou descentralizada.

Um mecanismo de segurança, mais utilizado, para impedir o acesso à informação relevante a utilizadores não autenticados, isto é, que permite o acesso apenas a utilizadores devidamente autenticados é o mecanismo de criptografia, baseado em algoritmos de encriptação/descriptação. Deste mecanismo existem dois tipos distintos:

- Chave Partilhada, é mecanismo que cifra as suas mensagens com a mesma chave que as decifra, e apenas as entidades autorizadas têm acesso a essa chave;

- Chave Pública, é um mecanismo que utiliza uma chave para cifrar pública, que todas as entidades podem ter acesso, mas para decifrar utiliza uma chave privada, diferente da chave utilizada para cifrar, a que apenas entidades autorizadas têm acesso.

Um exemplo de mecanismo de segurança que pode ser utilizado em sistemas de autenticação é o algoritmo de encriptação de chave pública MD5 (*Message-Digest algorithm 5*). Este é um algoritmo de *hash* de 128 bits unidireccional utilizado na verificação da integridade de arquivos e logins. Algoritmo de *hash* significa que são gerados, por um algoritmo próprio, um conjunto de bits, neste caso 128, a partir dos dados originais, que são visualizados no formato de números hexadecimais. A segurança na utilização deste método deve-se ao facto de ser um algoritmo unidireccional, ou seja, uma trama *hash* MD5 depois de criada não pode ser novamente convertida no seu valor original. A entidade que irá verificar a integridade desta trama compara-a com uma outra trama MD5 com mensagem confiável, que apenas ela possui e apenas se essa comparação for bem sucedida o utilizador é autenticado.

Ao nível das redes de campo normalmente não existem grandes recursos de segurança, pois estas estão geralmente situados em instalações que requerem acesso autorizado, e a eliminação ou deturpação de informação destas redes implica um acesso ao seu meio.

2.1.6 - Considerações finais

Um sistema de informação industrial é constituído por vários níveis hierárquicos desde de gestão da empresa e da produção, a supervisão e operação directa do processo de produção. Que têm como principais componentes: sensores que asseguram a interface de medida entre sistema e processo; actuadores que convertem instruções de comando em acções efectivas; interfaces para assegurar a ligação do sistema informático e dos sensores e actuadores; redes de comunicação que permitem a interligação dos vários sistemas envolvidos; equipamento informático (computadores) utilizados nos diferentes níveis hierárquicos; o software do sistema, de desenvolvimento e/ou aplicação que oferece características específicas a cada nível.

Os SCADAs (*Supervision, Control and Data Aquisition*) são sistemas de software que permitem realizar funções tanto de supervisão, como de actuação directa de equipamentos do processo. Entre outras funções, estes softwares incluem a possibilidade de monitorização do processo e da sua evolução; controlo do processo de forma automática e manual; e ainda a possibilidade de comunicação e integração do processo no sistema de gestão da produção. Estes sistemas serão aprofundados no capítulo seguinte.

A estrutura de um sistema distribuído pode ser definida recorrendo a Redes de Petri, estas redes são uma representação matemática, segunda uma linguagem de modelação e definem graficamente a estrutura de um determinado sistema distribuído. Um sistema de supervisão e controlo pode, assim, assentar sobre uma rede de petri, de forma a garantir a sua controlabilidade, isto é, é possível representar numa rede de petri todos os comportamentos do sistema de controlo (actuação) face ao sistema de supervisão (medição/sensorização). As redes de Petri serão abordadas na secção 2.3 deste Estado da Arte.

2.2 - SCADA

2.2.1 - Introdução

Um SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é um software que permite monitorizar e controlar um processo, pelo acesso remoto a dados desse processo, que são compilados e posteriormente apresentados ao operador, permite ainda, através de ferramentas de comunicação específicas a cada caso, controlar o mesmo. Para além disso faculta uma interface entre os níveis de controlo do sistema e os níveis superiores de gestão.

Um sistema SCADA deve respeitar os seguintes objectivos [9]:

- Funcionar em qualquer computador standard, com sistema operativo *Windows*;
- Arquitectura aberta que permita a sua combinação com aplicações standard, possibilitando ao programador a criação de soluções de gestão e supervisão optimizadas;
- Instalação simples, sem grandes exigências a nível do hardware, fáceis de utilizar e com interfaces simples para o utilizador;
- Permita a integração com ferramentas de gestão e produção;
- Fácil de reconfigurar, permitindo uma adaptação ou crescimento a mudanças na empresa;
- Ser independente do ramo de actividade e da tecnologia utilizada;
- Conter integradas funções de gestão e supervisão;
- Comunicações flexíveis e transparentes, que permitam que o operador comunique de forma simples com a equipa da fábrica e com a restante empresa, a partir de redes de locais e de gestão.

História dos SCADAs

Um dos primeiros sistemas de telemetria (medição de dados remotos) foi utilizado em sistemas ferroviários para controlar a aproximação de comboios de uma bifurcação e seleccionar/controlar o caminho que estes deveriam seguir. As redes de comunicação destes sistemas eram cabladas e utilizavam *switchs* electrónicos junto das linhas que permitiam o envio de informações para uma estação central. Estas informações eram visualizadas em sinais luminosos que indicavam a proximidade de um comboio e o estado da bifurcação, podendo assim os operados alterar o estado da bifurcação, se necessário. Foram sistemas de telemetria como estes que deram origem a sistemas SCADA.

Este tipo de soluções era uma boa escolha para sistema fixos (sem mobilidade), como era o caso, mas não se podiam utilizar para sistemas onde a estação de recolha de dados era móvel.

Nos anos 20, com o desenvolvimento da indústria aeronáutica, tornava-se cada vez mais necessária a aquisição de dados para sistemas deste género, ou seja, para sistemas móveis. Por exemplo, os voos iniciais de aviões e foguetões normalmente acabam em despenhamentos ou em locais indesejados, pelo que colocar humanos para realizar estes testes era difícil e perigoso.

Por esta altura ocorria uma significativa evolução das tecnologias de transmissão dados por frequência de rádio, que cada vez se tornavam mais fiáveis e permitiam maiores transmissões de dados, apresentavam-se assim como uma solução possível para este problema. No entanto, esta tecnologia continuava a ter uma enorme limitação, por apenas

permitir uma transmissão de dados unidireccional. Assim apenas era possível realizar uma recolha de dados não se conseguia actuar/controlar o sistema [10].

As comunicações por fios sofriam, ao mesmo tempo que as tecnologias anteriores, uma enorme evolução. Conduzindo assim a melhorias muito significativa da fiabilidade destas comunicações e introduzindo o conceito de comunicações bidireccionais, possibilitando assim efectuar numa mesma rede não só a recolha de dados como a execução de funções de controlo. Ficava apenas a faltar a possibilidade de utilizando comunicações rádios, sem fios, realizar também uma comunicação bidireccional.

Por volta dos anos 60 apareciam os primeiros computadores digitais que permitiram uma enorme flexibilidade para sistemas de telemetria, essencialmente nas estações de recolha de dados, permitindo-lhes centralizar todos os dados recolhidos no terreno, o que tornava estes sistemas mais simples e eficazes. No entanto todos os problemas de automatização de processos em indústrias eram da responsabilidade de cada fabricante. Cada um deveria resolver os seus problemas por si mesmo, desenvolvendo elementos electrónicos específicos para cada solução. Normalmente estes sistemas tinham uma quantidade de memória reduzida pelo que necessitavam de comunicar constantemente com os seus sistemas de controlo para lhes enviar os dados e utilizavam normalmente linguagens de programação pouco conhecidas.

Ainda nos anos 60, fabricantes de sistemas electrónicos como a Siemens, Square-D ou a Allen-Bradley apareceram com uma nova geração de autómatos, capazes de controlar uma enorme quantidade de entradas e saídas. Travam-se de controladores desenhados para ambientes muito severos (industriais), eram muito grandes e pesados, mas eram bastante caros. Graças à constante evolução dos componentes electrónicos, que são cada vez mais baratos e pequenos, origina-se uma constante redução do tamanho, peso e custo destes autómatos. Como resultados apareceram os micro PLCs (autómatos programáveis), por volta dos anos 80. Que permitiam um controlo modular, adaptando-se às necessidades das fábricas e utilizam linguagens de programação genéricas, tornam-se num êxito imediato em ambientes industriais [9].

A designação de SCADA, para os sistemas de telemetria e controlo, foi utilizada pela primeira vez no início dos anos 70. Nesta década, dava-se também uma grande evolução em tecnologias de rádio que iam cada vez mais substituindo as comunicações cabladas.

A evolução constante dos computadores origina uma previsível evolução também para os sistemas SCADA. Verificam-se melhorias significativas quer ao nível das interfaces com o operador, quer nos dados que fornecem, podendo oferecer informações estatísticas por valores numéricos ou por gráficos. Como se verificavam que os computadores estavam cada vez mais baratos, deixava de ser necessária a utilização de uma arquitectura de sistemas SCADA centralizada, podendo-se optar por arquitecturas distribuídas [10].

Também por esta altura as redes industriais e redes de campo eram cada vez mais eficazes, permitindo uma recolha de dados muito robusta, bem como a execução de funções de controlo cada vez mais fiável, para além disto estas trocas de dados realizam-se a velocidades cada vez maiores. Deixam ainda de ser utilizadas as comunicações de rádio, apostando em outros tipos de comunicações sem fios, como comunicações por satélite ou *wireless*.

Desde então, até aos dias de hoje, foram sendo acrescentadas cada vez mais funcionalidades aos sistemas SCADA. Como a inclusão de bases de dados, permitindo um registo de históricos mais eficazes e completo; possibilidade de acesso simultâneo das funcionalidades do sistema de diversos operadores do sistema; desenvolver estas tecnologias

na Web, permitindo o acesso aos SCADAS remotamente, em qualquer hora e local, para utilizadores devidamente autenticados, implicando a necessidade de implementar mecanismos de segurança adequados para não comprometer o bom funcionamento do sistema por possíveis ataques externos.

2.2.2 - Arquitectura de sistemas SCADA

Como já vem sendo referido, os SCADAS são sistemas com capacidade para fornecer a um operador o estado de um determinado sistema e ainda a possibilidade de executar funções de controlo sobre o mesmo. Estes SCADAS são uma das principais partes integrantes dos sistemas de supervisão e controlo utilizados em indústrias de automação, dos quais também fazem parte os dispositivos de campo (sensores e actuadores), bem como os sistemas de comunicação (redes industriais e de redes de campo). Uma estrutura básica de um sistema de supervisão e controlo pode ser visualizado no seguinte esquema.

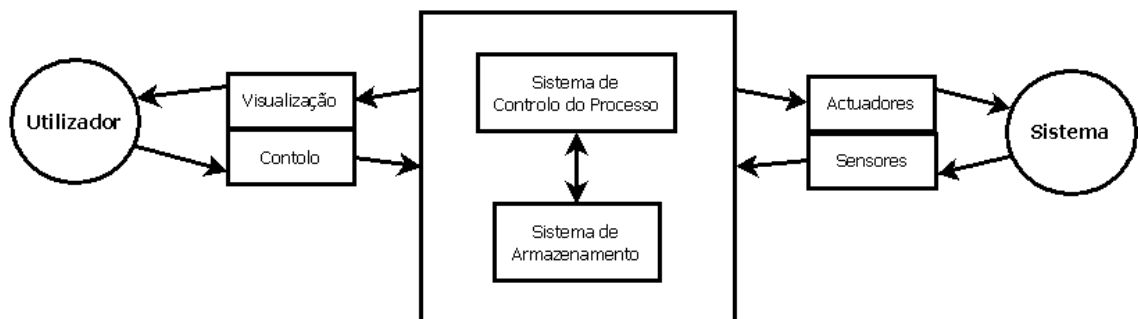


Figura 2.9 - Estrutura básica de um sistema de supervisão e controlo

O utilizador, a partir de ferramentas específicas, de visualização e controlo, tem acesso ao sistema de controlo do processo, sendo a comunicação entre estes dois elementos, normalmente feita recorrendo a redes de comunicação industriais, que podem ser, por exemplo, baseadas em Ethernet.

O sistema de controlo do processo, unidade central do sistema SCADA (*MTU, Master Terminal Unit*) consegue visualizar o estado do sistema/processo recolhendo os dados dos sensores de campo e mostra-os ao utilizador, a partir de uma interface homem-máquina (HMI). Baseando-se em comandos recebidos do usuário, o sistema de controlo do processo executa as acções de controlo pelos actuadores. Esta unidade central pode ainda guardar todas as informações geradas da supervisão e controlo em sistemas de armazenamento, permitindo a sua posterior análise.

O sistema interage com os dispositivos de campo a partir de unidades remotas conhecidas por RTU (*Remote Terminal Unit*), que podem estar implementados em autómatos programáveis.

Um sistema SCADA é então composto pelos 3 seguintes elementos: Interface Homem-Máquina (HMI); Unidade Central (MTU); e Unidade Remota (RTU).

Interface Homem-Máquina

A interface homem-máquina permite, tal como o nome indica, é uma interface gráfica entre o operador e o sistema controlado e supervisionado. Apresenta um sinóptico do sistema,

isto é, oferece uma “imagem” do sistema de forma gráfica, a partir de esquemas e/ou figuras que permitem uma visualização, de forma simultânea, dos seus constituintes e do seu estado de funcionamento. Um exemplo de interface deste género pode ser visualizado na Figura 2.10.

Normalmente, uma HMI permite para além da visualização do sinóptico do sistema, também um controlo das suas variáveis.

Uma característica importante no desenvolvimento de uma interface deste tipo é o tratamento dos alarmes, pois a detecção de situações anómalas, permitindo que sejam resolvidas rapidamente, é uma das principais funcionalidades de um sistema SCADA. Por este motivo, quando ocorre uma “situação de alarme” no sistema, esta deve ser demonstrada na interface o mais rapidamente possível e numa zona de fácil visualização.

Existem ainda, nestas interfaces, a possibilidade de analisar o comportamento do sistema ao longo do tempo, através de um registo histórico e de dados estatísticos, apresentados em valores numéricos ou gráficos, que podem ser utilizados para melhorar o desempenho do sistema, tornando assim os SCADA uma ferramenta bastante atraente também para sistemas de gestão de produção e da qualidade.

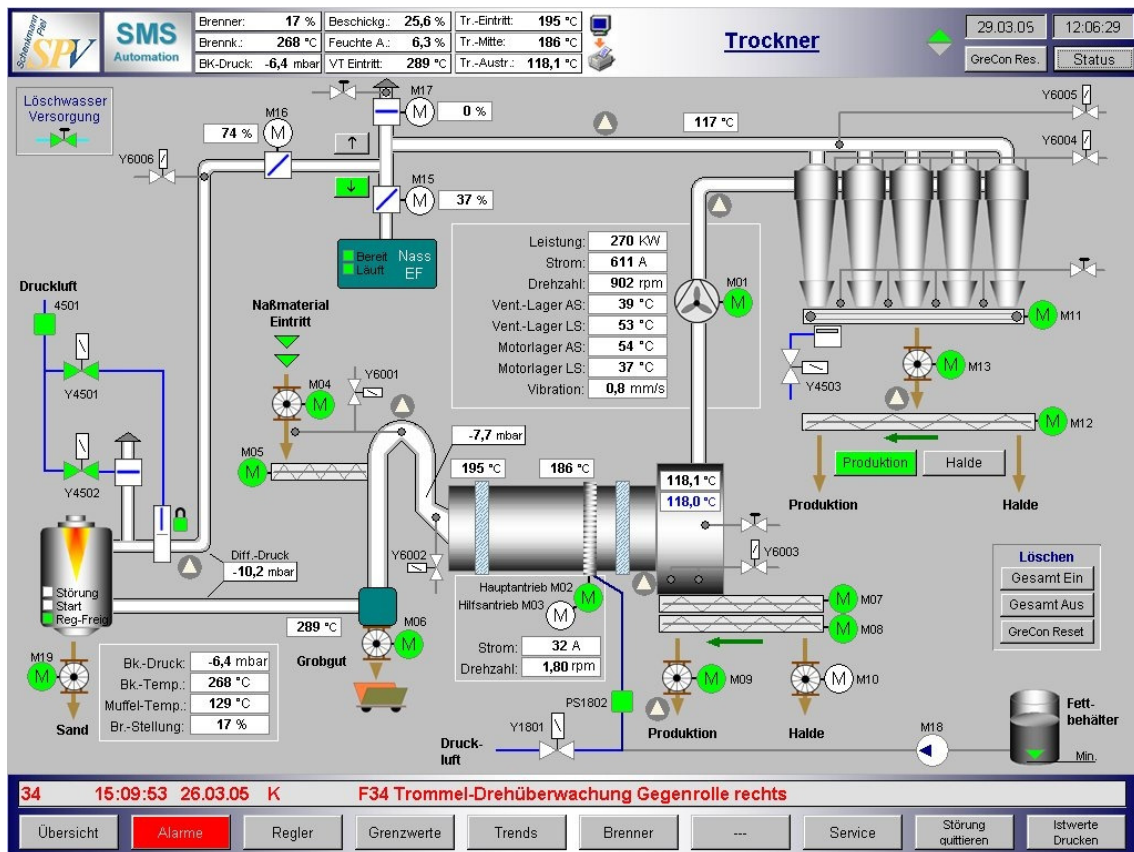


Figura 2.10 - Interface homem-máquina [11]

Remote Terminal Unit

Os RTUs são as unidades constituintes de um SCADA situadas mais proximamente do processo que se pretende supervisionar e controlar. Podem ser utilizado para sistemas simples apenas um RTU, aumento esse número com a complexidade do sistema, podendo atingir até

as centenas de RTUs nos sistemas mais complexos. São utilizadas tanto para recolher os dados dos sensores de campo e envia-los para a unidade central, como para executar, a partir dos actuadores, os comandos recebidos da unidade central. Estas unidades devem ainda conseguir memorizar todas as suas variáveis, permitindo à unidade central aceder-lhes quando quiser. A qualidade de um RTU avalia-se com a fiabilidade, qualidade e segurança dos dados que transmite. É também nestas estações que são implementados os algoritmos de controlo básicos locais, ou seja, os algoritmos de controlo activo ou controlo regulatório apresentado na secção 2.1 do Estado da Arte.

Todas as tarefas pelas quais os RTUs são responsáveis estão actualmente implementadas nos PLCs, pelo que se utilizam estes processadores em grande parte dos sistemas deste género. No entanto, em vez de PLCs podem utilizar-se também microprocessadores.

Master Terminal Unit

O MTU é a unidade central do sistema. É responsável pela gestão da interface dos HMIs e dos RTUs, funcionando muitas vezes como uma *gateway* de comunicações. Realiza a leitura dos dados recolhidos nas RTUs, traduz esses dados para o contexto do sistema e fornece-os à interface HMI, numa semântica que lhe seja perceptível. Executa também a comunicação em sentido inverso, lendo e interpretando os comandos enviados pela HMI que posteriormente comunica ao RTU, para que este active os actuadores desejados. Uma outra importante funcionalidade destas unidades é a sua capacidade de guardar, em bases de dados (sistemas de armazenamento), as informação que vão sendo recolhidas ao longo do tempo, só assim essas informação podem ser utilizadas pelas HMIs para que estas apresentem, ao utilizador, a evolução histórica e estatísticos do sistema.

2.2.3 - Tecnologias da Comunicação

Desde a primeira máquina automatizada baseada em componentes electromecânicos até às grandes instalações de várias máquinas que trabalham coordenadamente, houve sempre um domínio comum: a ligação entre as máquinas e o seu meio ambiente. Uma máquina isolada necessita sempre de informações do seu meio ambiente para trabalhar correctamente, precisa por exemplo de sinais de fim de curso, sinais de presença de objecto, sinais de medida, etc. Como estamos imersos num mundo onde tudo, ou quase tudo, se baseia na electricidade, percebe-se facilmente que uma forma cómoda de transmitir um sinal de um sensor para uma máquina será a partir de um sinal eléctrico, transmitido por um cabo eléctrico que os une.

Este conceito de comunicação entre máquina e sensor aplica-se também entre máquina e sistema de controlo, coordenação e gestão das empresas. Dito isto, é evidente a necessidade de coordenação entre todos estes elementos. As redes industriais são elementos fundamentais numa da empresa, responsáveis pela interacção entre todas as suas áreas constituintes de forma simples atempada e eficaz, contribuindo assim muito activamente para uma melhoria da qualidade e eficácia de uma empresa, bem como para o aumento dos lucros, através da redução dos custos de produção, distribuição e venda dos produtos.

Os requisitos de comunicação utilizados nos diferentes níveis hierárquicos de uma empresa são muito distintos. Podem ser o número de equipamentos que comunicam entre si; o tamanho das mensagens; o tipo de tráfego, periódico (processos contínuos) ou aperiódico (processos discretos); a velocidade de transmissão; entre outros. Assim é necessária a

selecção do tipo de rede de comunicação a utilizar em cada uma das áreas da empresa, que individualmente consigam cumprir, com eficácia as suas funções, originando um sistema global o mais eficaz possível. Pode-se então considerar também uma estrutura hierárquica para o sistema de comunicação de uma indústria, dividida em 3 tipos de redes: redes de fábrica, redes de célula e redes de campo.

Redes de Fábrica

As redes de fábrica são as redes utilizadas nos níveis mais superiores da arquitectura hierárquica de uma empresa. São responsáveis pela comunicação entre as áreas de gestão e engenharia de uma empresa, ou seja, pela comunicação entre elementos do mesmo nível hierárquico, mas deve ainda fornecer serviços de comunicação com os níveis inferiores e o exterior, com serviços de acesso à internet ou e-mail. A comunicação com níveis inferiores realizada de forma descendente, baseia-se em comandos de ordens de fabrico e do seu escalonamento, já a comunicação em sentido contrário centra-se em dados relativos ao comportamento do processo de fabrico, que permitam análise do mesmo no sentido de o procurar melhorar. Como nos níveis hierárquicos que estas redes estão inseridas são utilizadas equipamentos bastante complexos, as redes devem ser escolhidas de forma a que possam ser utilizadas por esses equipamentos, sendo no entanto o número de equipamentos utilizados é bastante reduzido. Outras características deste tipo de redes são: a sua capacidade de transmissão de um volume de dados bastante elevado, na ordem dos *G/Mbytes*; a sua frequência de transmissão pode ser baixa, na ordem dos segundos; os tempos de resposta também não têm necessariamente que ser muito elevados, podendo ser superiores a 1 segundo; comunicação aperiódica (por eventos); cobertura geográfica muito abrangente; largura de banda elevada (na ordem dos *G/Mbits* por segundo), que se deve conseguir partilhar com outras aplicações (de voz, vídeo, etc.). Um tipo de comunicação utilizada nestes níveis, que respeita todas estas restrições são as comunicações baseadas em redes Ethernet com pacotes TCP/IP.

Redes de Célula

As redes de célula situam-se no centro desta hierarquia, tendo como principal função a interligação dos dois níveis a si adjacentes. Realizam, no caso de comunicações descendente, a tradução de ordens de fabrico originárias das redes de fábrica, para ordens de execução das tarefas pretendidas, a ser enviadas aos dispositivos do nível inferior. Ou no caso de comunicação ascendente, é responsável pela compilação dos recolhidos pelos dispositivos do nível inferior, relativos ao desempenho do sistema ou à evolução das tarefas ordenada, que serão posteriormente enviadas ao nível superior. Neste nível estão normalmente situados os dispositivos de média complexidade, dos quais fazem parte os sistemas SCADA, autómatos programáveis, controladores de robots, etc. Neste nível, o número de equipamentos utilizados face ao nível anterior e posterior, pode ser considerado um número médio. As mensagens a enviar são de dimensão média/elevada, na ordem dos *Kbytes*. Quanto à frequência de transmissão, devem ser de velocidade média/elevada, entre os milissegundos e os segundos. Os seus requisitos temporais podem ser considerados de *soft real-time*, com tempos de respostas inferiores a 100ms. Tal como as redes anteriores, estas funcionam normalmente, para tipos de tráfegos aperiódicos, devem ter uma cobertura geográfica

bastante abrangente e uma largura de banda elevada. Ethernet TCP/IP é também, uma solução possível para estes tipos de redes. Uma outra solução possível, no caso de serem necessários tempos de resposta mais elevados, é a rede ControlNet.

Redes de Campo

As redes de mais baixo nível, são as redes de campo. Estas utilizam-se para interligar os muitos dispositivos e controladores de campo existentes, como autómatos, microprocessadores, sistemas embebidos, sensores, actuadores, etc. São estas as redes responsáveis pelo funcionamento e controlo do processo de produção de uma fábrica. As mensagens que trocam são de curta dimensão, na ordem dos bytes; o seu tráfego pode ser periódico e/ou aperiódico; as mensagens devem ser trocadas a velocidades muito elevadas; podem ter restrições de tempo real críticas e/ou não críticas (*hard /soft real time*); média ou baixa largura de banda; têm cobertura geográfica limitada; e devem ser redes de baixo custo. Uma solução possível para este tipo de redes é a rede CANOpen.

Anteriormente há existências de redes de campo, a ligação entre os dispositivos e controladores de campo era feita a partir de ligações com anéis de corrente 4-20mA e com ligações 0-24V. Este método era muito caro, implicava um uso excessivo de cablagem, que complicava o seu projecto, implementação e manutenção. Com o aparecimento das redes de campo para além de solucionar estes problemas, criaram-se redes bastante eficazes que podem mais facilmente ser alteradas de forma a incluir novos dispositivos na rede.

Uns dos principais problemas deparados para as redes de campo foram os problemas causados pelos ambientes industriais em que estão inseridas. Estes ambientes são bastante adversos a comunicações, pois possuem condições atmosféricas muito desfavoráveis, com temperaturas muito altas, grandes percentagens de humidade, muita sujidade, etc., para além de que nestes ambientes existe, normalmente, um elevado ruído electromagnético devido ao elevado número de máquinas que normalmente existe. O que impõe requisitos adicionais a estas redes, em termos mecânicos e electromagnéticos.

O modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), que é um modelo que define uma forma possível de comunicação entre sistemas computacionais, que divide estas redes em 7 camadas: aplicação; apresentação; sessão; transporte; rede; ligação; e física, serviu de base para a concepção de um modelo para redes de campo, que permitisse representar todos os aspectos relacionados com este tipo de redes. Este novo modelo é constituído apenas por 3 dessas camadas, são elas a camada de aplicação, ligação e física.

A princípio, quando foi criado este modelo, não foi desenvolvida nenhuma norma que especificasse a forma como o modelo devia ser cumprido. O que levou a que fossem desenvolvidas soluções para implementar as funções de cada camada adaptadas às aplicações para as quais eram desenvolvidas. A utilização deste método tornava praticamente impossível a adaptação dos dispositivos para diferentes fabricantes. Este problema levou, a que no início dos anos 90 se iniciasse um longo processo de criação de um standard para este modelo. Este processo demorou mais de 10 anos, e o seu resultado foram as normas internacionais IEC 61158 e IEC 61784 [12].

Resolvida a ausência de uma norma para o modelo de redes de campo, os fabricantes apostaram no desenvolvimento de ferramentas que permitissem um fácil desenvolvimento e configuração de novas redes, carência que surgiu do cada vez maior número de dispositivos utilizados em processos industriais. Surgindo assim nesta área também problemas de

padronização dessas ferramentas. Estes problemas podem ser resolvidos recorrendo ao conceito de *function block*, pela norma IEC 61499 apresentada na secção 2.1.3.

2.3 - Redes de Petri

2.3.1 - Introdução

As indústrias modernas são, como se foi realçando, cada vez mais complexas. Por isso, o seu design e operação requerem cada vez mais uma elaborada análise e modelação. Com um correcto e adequado mecanismo de modelação pode-se obter a melhor alternativa de design bem como a melhor política de operação para um determinado sistema. Esse processo de modelação pode contribuir, de forma muito activa, na redução do tempo e custo de desenvolvimento da indústria.

As redes de petri são uma ferramenta matemática e gráfica, que fornece um mecanismo de modelação, análise formal e design de sistemas de eventos discretos. Proporcionam numa ferramenta gráfica uma poderosa interface entre o meio, tipicamente entre requisitos de engenharia, e o seu utilizador. A especificação de requisitos complexos utilizando os ambíguos métodos de descrição textual ou notações matemáticas são bastante difíceis de entender para o utilizador. Com redes petri essa especificação fica muito mais simplificada por ser realizada graficamente. Combinando esta propriedade com ferramentas dos computadores puderam-se desenvolver simuladores gráficos interactivos, que contribuem significativamente no processo de desenvolvimento de sistemas complexos. Como ferramenta matemática as redes petri podem ser descritas pela combinação de equações algébricas, ou de modelos matemáticos que reflectem o comportamento de um sistema [13].

Uma das maiores vantagens das redes petri é que o mesmo modelo pode ser utilizado tanto para análise das propriedades comportamentais de um processo e da sua performance de evolução, como para construção de um modelo estrutural para simuladores e controladores de sistemas de eventos discretos.

As redes de petri (*petri nets*) desenvolvidas em 1962 por Carl. A. Petri, como uma ferramenta matemática para estudo de comunicações entre autómatos. Mas mais tarde percebeu-se que estas redes podiam ser utilizadas também para modelar propriedades de processos síncronos; assíncronos a eventos; e concorrentes. Propriedades que caracterizam sistemas de eventos discretos como sistemas automáticos, sistemas de comunicação e sistemas computacionais. Por todas estas propriedades pode concluir-se que as redes petri são uma promissora tecnologia a ser utilizada em indústrias de automação. Hoje em dia, as redes de petri têm uma vasta área de utilização como: em modelos de tempo real tolerantes a falhas; sistemas de segurança críticos; sistemas de detecção de falhas em processos de monitorização; modelação e análise de protocolos de comunicação; modelação e análise de sistemas de manufactura, através da representação por estas redes de linhas de produção, funcionamento de máquinas, sistemas de produção automáticos, linhas de montagem automática, partilha de recursos, sistemas de fabricação *just-in-time* e *kanban*, etc.; modelação de sequencias de controlo; redes de comunicação; entre outras. Para utilizações mais complexas, desenvolveram-se, a partir de redes de petri originais, as redes de petri coloridas (*Colored Petri nets*) que permitem uma estruturação e decomposição hierárquica das redes de petri sem comprometer as suas qualidades originais, são utilizadas por exemplo para design, especificação, simulação, implementação e validação de sistemas de software.

Outras extensões foram introduzidas às redes de petri, como são exemplo as propriedades temporais, que podem ser utilizadas para modelação e análise da dinâmica de processos contínuos, bem como em aplicações que necessitem de planeamento temporal [13].

Descrição e funcionamento das Redes de Petri

Uma rede de petri é uma linguagem de modelação que representa graficamente a estrutura de um sistema distribuído, como um grafo direccionado com comentários. São construídas a partir de 3 objectos: posições, transições e arcos que ligam posições com transições e transições com posições. As posições representam as variáveis de estados, como condições iniciais, recursos existentes ou resultados de acção, já as transições representam as acções realizadas pelo sistema. Uma posição pode posição de entrada se existe um arco que liga essa posição a uma transição, nestas posições pode representar por exemplo a disponibilidade de um recurso; ou uma posição de saída, onde deve existir um arco que liga uma transição a essa posição, e aqui pode ser representada por exemplo a libertação de um recurso.

Um exemplo de rede petri pode ser visualizado na seguinte ilustração.

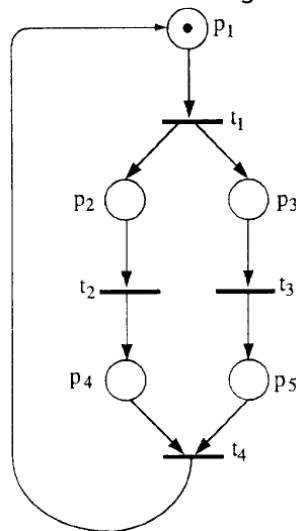


Figura 2.11 - Exemplo de uma Rede de Petri [13]

A rede da Figura 2.11 consiste numa rede com 5 posições, 4 transições e arcos que ligam posições a transições e transições a posições. Nesta rede a posição $p1$ representa uma posição de saída para a transição $t1$ e as posições $p2$ e $p3$ representam posições de entrada da transição $t1$. Cada posição pode conter um número inteiro de marcas (*tokens*), como representado na posição $p1$, que sob certas condições se podem mover pelos arcos respeitando o seu sentido, permitindo assim estudar o comportamento dinâmico do modelo. A existência ou inexistência de uma marca numa posição pode indicar se a condição associada a essa posição é verdadeira ou falsa, por exemplo no caso de a posição representar a disponibilidade de um recurso, a não existência de uma marca indica que o recurso não está disponível e a existência de marcas indica que esse recurso está disponível, sendo o número de marcas representativo do número de recursos disponíveis. A distribuição das marcas pelas posições (marcação), num determinado instante representa o estado do sistema nesse

instante. A marcação de uma rede petri com m posições pode ser representada por um vector M ($m \times 1$). No exemplo anterior $M = (1, 0, 0, 0, 0)^T$.

Formalmente uma rede de petri (PN) pode ser definida da seguinte forma: $PN = (P, T, I, O, M_0)$, onde $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ representa as posições da rede; $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ representa as transições da rede; 'I' representa os arcos direccionados de posições para transições; 'O' representa os arcos direccionados das posições para as transições; e ' M_0 ' representa a marcação inicial da rede.

Podem ainda, representa-se arcos múltiplos (paralelos), ou então de forma mais compacta atribuindo-lhes pesos k , essas duas formas estão representadas na figura em baixo.

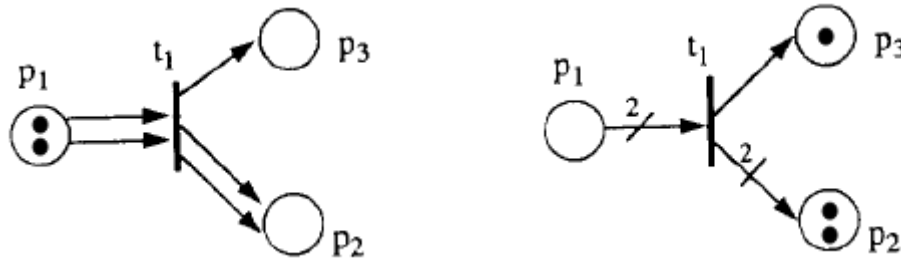


Figura 2.12 - Representação de arcos múltiplos (esquerda) e representação compacta de arcos múltiplos (direita) [13]

Como já foi referido, a movimentação das marcas pelas várias posições reflectem o comportamento dinâmico do modelo. Essa movimentação dá-se de acordo com as seguintes regras:

Regra da permissão: Uma transição t pode ser executada se para cada posição de entrada p da transição t existir um número de marcas igual ou superior ao peso do arco que liga directamente a posição p ao arco t .

Regra de disparo: Uma transição activa pode ou não ser disparada dependendo de interpretação adicionais, quando é disparada a transição t remove de cada posição de entrada p_i o número de marcas igual ao peso do arco que liga directamente essa posição p_i à transição t e são depositados nas posições de saída p_o o número de marcas igual ao peso dos arcos que ligam a transição t a essa posição p_o .

Também na Figura 2.12, pode ser observado o funcionamento das regras em cima enumeradas. Repare-se, à esquerda, que a transição pode ser executada porque existem 2 marcas (igual ao peso do arco) na posição de entrada p_1 , e repare-se, à direita, que a transição t_1 foi disparada, colocando em cada posição de saída p_2 e p_3 o número de marcas igual ao peso do arco que liga a transição a cada posição respectiva.

Mais propriedades podem ser inseridas nas redes petri, uma delas são os arcos inibidores, que conectam apenas posições de entrada a transições, representam-se graficamente como linhas que terminam com um pequeno círculo, em vez da tradicional seta dos arcos comuns. Na presença destes arcos uma transição só é activa se para todas as posições de entrada que lhes estão conectadas por um arco comum existir pelo menos o número mínimo de marcas igual ao peso do arco respectivo e não existir nenhuma marca nas posições de entrada conectadas à transição por um arco inibidor. A regra de disparo não é alterada com os arcos inibidores.

A rede petri é considerada pura ou com ciclo próprio se não existir nenhuma posição que para uma transição seja tanto uma posição de entrada como uma posição de saída [13].

2.4 - Sistemas de Supervisão e Controlo de Estruturais - Civiónica

2.4.1 - Introdução

A sociedade moderna, actualmente depende de um conjunto extenso e complexo de infra-estruturas para manter a sua prosperidade económica e qualidade de vida dos cidadãos. Durante muito tempo, as infra-estruturas, essencialmente as de serviço de público, como pontes ou edifícios, sofreram de negligência e uso descontrolado, o que levava à sua rápida deterioração. Por estes factos vive-se actualmente uma situação de crise estrutural iminente, impulsionado pelo elevado número de estruturas que necessitam de ser reforçadas, reabilitadas ou mesmo substituídas.

Foram vários os factores que conduziram a esta má condição das obras de engenharia civil, como efeitos da corrosão em armaduras de betão armada, corrosão das estruturas metálicas, o aumento dos seus requisitos estruturais ao longo do tempo que levam a um aumento da sua carga e até a própria deterioração por envelhecimento. As estruturas chegaram este estado essencialmente, devido à sua má inspecção e monitorização, que resulta numa constatação tardia destes problemas. Grande parte das estruturas, que sofreram com estas falhas dos responsáveis pelas obras, encontram-se em tal estado que o seu custo de reparação muitas vezes se aproxima do custo de substituição. Esta realidade levou a que os Donos das Obras procurassem novas tecnologias, como sistemas de supervisão e controlo estrutural, que espera-se que prolonguem o tempo de vida das estruturas e reduzam significativamente os seus custos de manutenção.

Nos últimos 20 anos, as tecnologias associadas a sistemas de monitorização e controlo de estruturas têm-se desenvolvido largamente, sendo esta uma área emergente na engenharia civil. Civiónica é a designação da área que combina a aplicação da electrónica às estruturas. A civiónica baseia-se essencialmente na aplicação de sistemas de automação de supervisão e controlo recorrendo a componentes electrónicos, sensores e actuadores para estudos dos comportamentos estruturais de obras de engenharia civil. Entenda-se então por monitorização e controlo estrutural o acesso a informação relativa ao comportamento de estruturas, utilizando técnicas de medição electrónicas e actuação inteligente no sentido de responder da melhor forma a um determinada situação. As estruturas supervisionadas e controlados de forma inteligente são conhecidas como estruturas inteligentes, tema que foi aprofundado na secção 2.1.2.

A evolução dos sistemas de supervisão e controlo de estruturas não ocorreu apenas pela necessidade as monitorizar a longo prazo para uma melhor gestão da mesma, deve-se também à necessidade de avaliar o comportamento de novas soluções arquitectónicas e novos materiais utilizados em estruturas, para garantir que mesmo não se tratando de estruturas anteriormente testadas, a sua segurança não está comprometida.

A instalação de sistemas de monitorização é actualmente muito valorizada pelas responsáveis pela exploração das obras, na medida em que fornecem dados essenciais aos modelos de decisão que permitem tanto actuação instantânea sobre essas estruturas, como calendarizar e tipificar intervenções em estruturas existentes, possibilitando a sua reparação ou reabilitação, no caso de apresentar sinais evidentes de deterioração e/ou diminuição do seu desempenho do ponto de vista estrutural. Desta forma os sistemas de monitorização são reconhecidos como ferramentas indispensáveis para o incremento da eficácia das respostas no âmbito do controlo de segurança de das estruturas, cujos níveis de exigência são

progressivamente acrescidos, permitindo assim melhorar as correspondentes condições de utilização e aumentar a sua longevidade [14].

2.4.2 - Medição de Grandezas Estruturais

Na concepção de sistema de supervisão e controlo estruturais, importa perceber, quais as grandezas estruturais que importa medir e a melhor solução para o fazer, ou seja, conhecer os sistemas mais eficientes para a sua aquisição, processamento e tratamento de dados necessários, com vista a extrair a informação essencial ao estudo das condições da estrutura motorizada e ainda, compreender as formas de actuação em tempo-real e não tempo-real nessas estruturas de forma a melhorar o seu desempenho estrutural.

Na observação de estruturas podem distinguir-se grandezas caracterizadoras tanto para o seu comportamento global como para o seu comportamento local. De entre as grandezas do comportamento global podem destacar-se deslocamentos, flechas, rotações, reacções de apoio e aberturas de juntas de dilatação. Como exemplos de grandezas de comportamento local das estruturas podem referir-se a medição de tensões (cargas), extensões e abertura de fendas. Para além destas grandezas podem ainda ser medidas, nas estruturas, outras grandezas relativas à durabilidade da estrutura e às suas condições ambientais, como por exemplo a corrosão das armaduras ou medição da temperatura ambiente. O estudo da temperatura assume particular importância, uma vez que a acção térmica introduz variações de estado de deformação, tensão nos elementos estruturais e afecta também as características do próprio sistema de medição. Devem por isto ser instalados termómetros em número suficiente, sobretudo nas secções instrumentadas [15].

(Grandezas a medir - sensores utilizados e parâmetros a actuar - actuadores utilizados, serão temas a abordar nesta secção posteriormente)

Capítulo 3

Conclusão

Conclusão...

Referência

- [1] R. Zurawski, *Integration technologies for industrial automated systems*. Boca Raton, FL :: CRC Taylor & Francis, 2007.
- [2] P. J. L. M. Portugal, *et al.*, *Avaliação da confiança no funcionamento de redes de campo : contribuição no domínio dos sistemas industriais de controlo*: [s.n.], 2004.
- [3] D. Brandl, *Design Patterns for Flexible Manufacturing*. [S. l.]: ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2007.
- [4] J. R. P. a. M. Salazar, "Dependability of distributed control system fault," 2002.
- [5] S.-T. Levi and A. K. Agrawala, *Real-time system design*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
- [6] E. J. F. Figueiredo, *Monitorização e avaliação do comportamento de obras de arte*. Porto: [s.n.], 2006.
- [7] A. M. M. P. Faria, "Avaliação do Desempenho de Sistemas de Monitorização de Estruturas," 2010.
- [8] S. Cho, Yun, C.-B., Lynch, J. P., Zimmerman, A. T., Spencer Jr, B. F., & Nagayama, T. , "Smart Wireless Sensor Technology for Structural Health Monitoring of Civil Structures," 2008.
- [9] A. Rodriguez Penin, *Sistemas Scada* vol. 2.^a ed. Barcelona: Marcombo, Ediciones Técnicas, 2007.
- [10] S. Boyer, *Scada supervisory control and data acquisition* vol. 2nd. North Carolina: Instrument Society of America, 1999.
- [11] Siemens, "SIMATIC WinCC flexible - Runtime Software," pp. <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-runtime/Pages/Default.aspx>, 2009.
- [12] J.-P. Thomesse, "Fieldbus Technology in Industrial Automation," 2005.
- [13] R. Zurawski, "Petri Nets and Industrial Application: A Tutorial," 1994.
- [14] A. Hejll, "Civil Strutural Health Monitoring - Strategies, Methods and Applications," 2007.
- [15] J. M. a. Y. Lu, "Feature Extraction and Sensor Fusion for Ultrasonic Structural Health Monitoring Under Changing Environmental Conditions," 2009.
- [16] M. P. Groover, *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* vol. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentce-Hall, 2001.
- [17] R. W. Lewis, *Modelling control systems using IEC 61499 applying function blocks to distributed systems*. London: <<The>> Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [18] A. S. Tanenbaum and M. v. Steen, *Distributed systems principles and paradigms* vol. 2nd ed. Uper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2007.

- [19] R. Zurawski, *The industrial information technology handbook*. Boca Raton :: CRC Press, 2005.
- [20] R. Zurawski, *The industrial communication technology handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2005.

