

Universidade da Beira Interior

Departamento de Engenharia Electromecânica



***UM SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA A AUTOMAÇÃO DE  
ESPAÇOS RESIDENCIAIS E DE SERVIÇOS***

**Bruno Jorge Ferreira Ribeiro**

*Tese de doutoramento para a obtenção do grau de doutor em  
Engenharia Electrotécnica*

Junho de 2008



Tese realizada sob a orientação do  
**Prof. Doutor Francisco José de Almeida Cardoso**  
Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra

E co-orientação de  
**Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano**  
Departamento de Engenharia Electromecânica  
Universidade da Beira Interior

À Sílvia, minha esposa, e  
ao Lucas e Sara, meus filhos,  
pelo tempo que não lhes pude dedicar e  
que mereciam.

# ***UM SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA A AUTOMAÇÃO DE ESPAÇOS RESIDENCIAIS E DE SERVIÇOS***

## ***Resumo***

Apresenta-se a arquitectura e as tecnologias utilizadas numa plataforma modular para suportar aplicações na área da automação de edifícios e de espaços residenciais. A proposta visa colmatar lacunas existentes nos sistemas actualmente disponíveis e assim, poder vir a potenciar o relançamento do mercado da Domótica.

É proposto um sistema distribuído com elevada flexibilidade e alta capacidade para integrar numerosos dispositivos, devidamente balizados em termos funcionais através de perfis, que, em conjunto e através de ligações lógicas entre os seus *data points*, garantem o funcionamento das aplicações distribuídas, assim como a total integração da informação circulante na rede.

Um particular destaque merece a interface humana, que foi afastada da perspectiva tradicional, com elevada afinidade com o detalhe dos sistemas, para o nível dos serviços complexos (cenários), assim afastando os utilizadores das preocupações de conhecer o funcionamento interno do sistema.

Em cada aplicação, a integração das unidades situadas nos quadros eléctricos (onde se concentram alojados os dispositivos de protecção dos circuitos de potência) é realizada através de rede baseada na tecnologia CANopen, ao passo que as múltiplas unidades dispersas pelo fogo/edifício estão associadas numa rede sem fios, com uma estrutura em *cluster* e baseada na norma IEEE 802.15.4.

Palavras-chave: Domótica; Instrumentação Virtual; redes *fieldbus*; CAN; CANopen; IEEE802.15.4; Sistemas Embebidos.

## *Agradecimentos*

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a Francisco Cardoso e a Sílvio Mariano, na qualidade de meus orientadores, pelo seu valoroso contributo durante a selecção do tema e ao longo do decurso do trabalho, o seu constante encorajamento, generoso suporte, comentários e valorosas sugestões que tanto enriqueceram este trabalho.

Obtive, também, valorosos benefícios de outras pessoas ligadas ao Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, cujas oportunidades que me ofereceram tanto beneficiaram a minha carreira. Um agradecimento especial ao chefe de departamento em funções, Francisco Brojo. Agradecimentos, aos meus colegas de trabalho, em especial a António Espírito Santo, Humberto Santos e Pedro Gaspar, pelos seus valorosos comentários e pela paciência com que tantas vezes me escutaram.

Agradecimentos às pessoas que trabalham no Laboratório de Automação e Instrumentação Industrial do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Covilhã, 23 de Junho de 2008

Bruno Jorge Ferreira Ribeiro

# TABELA DE CONTEÚDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Objectivos	3
1.3	Estrutura da tese	5
<b>2</b>	<b>A CASA INTELIGENTE: CONCEITOS, PERSPECTIVAS E REALIDADES</b>	<b>8</b>
2.1	O Conceito de Domótica	9
2.2	Situação Sociocultural	11
2.2.1	Alterações Socioculturais	11
2.2.2	Grupos Sociais com Necessidades Especiais	12
2.3	Domótica – passado e Presente	13
2.3.1	A Introdução de Novas Tecnologias no Lar	13
2.3.2	Situação Actual de Mercado	16
2.3.3	Caracterização do Mercado da Domótica	16
2.3.3.1	A Oferta	16
2.3.3.2	A Procura	18
2.3.3.3	A Envolvência de Mercado	20
2.3.4	Factores Chave para o Desenvolvimento do Mercado	21
2.4	Modelos de Negócio	22
2.4.1	Intervenientes no Mercado	23
2.4.2	Novos Intervenientes no Mercado	24
2.4.2.1	O Integrador	24
2.5	A integração	25
2.6	Funções e Serviços da Domótica	26
2.6.1	A Automação (Visão Clássica da Domótica)	27
2.6.1.1	Gestão da Energia	27
2.6.1.2	O Conforto	29
2.6.2	Os Sistemas de Segurança	31
2.6.2.1	A segurança – O Sistema de Intrusão	31
2.6.2.2	A segurança Pessoal e “Emocional”	32
2.6.2.3	Protecção – Alarmes Técnicos	32
2.6.3	Os sistemas multimédia	33
2.7	O Conceito de Rede Doméstica	34
2.7.1	Meios de Transmissão	34
2.7.1.1	Transmissão por Cabo	34
2.7.1.2	Radiofrequência	35
2.7.1.3	Infravermelhos	35
2.7.2	Tecnologias para o Controlo e a Automação de Edifícios	35
<b>3</b>	<b>A ARQUITECTURA DO SISTEMA</b>	<b>38</b>

<b>3.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Enquadramento do Sistema .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>Princípio Base de Funcionamento .....</b>	<b>40</b>
3.3.1	Dicionário de Objectos e Perfis Funcionais .....	41
3.3.1.1	Acesso aos Objectos .....	42
3.3.1.2	Perfis Funcionais.....	43
3.3.2	O Conceito de Cenário .....	44
<b>3.4</b>	<b>Estrutura do Sistema .....</b>	<b>46</b>
<b>3.5</b>	<b>As Unidades .....</b>	<b>47</b>
3.5.1	A Unidade Integradora e Supervisora .....	48
3.5.2	A Unidade Controladora .....	48
3.5.3	A Subunidade Controladora Integradora.....	49
3.5.4	As Unidades Remotas .....	51
3.5.4.1	Função da Unidade Remota FFD.....	51
3.5.4.2	Função da Unidade Remota RFD .....	52
3.5.4.3	Modelo de Transferência de Dados .....	52
<b>4</b>	<b>AS COMUNICAÇÕES .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Comunicações Sem Fios.....</b>	<b>55</b>
4.1.1	Camada Física .....	56
4.1.2	Camada de Acesso ao Meio (MAC Layer) .....	56
4.1.3	Topologia de Rede.....	56
4.1.4	Modelo de Transferência de Dados .....	58
4.1.4.1	Modelo Geral .....	58
4.1.4.2	Modelo Adoptado .....	59
4.1.5	A Conformação da Rede .....	60
4.1.5.1	Inicialização da Rede .....	61
4.1.5.2	A Associação .....	62
4.1.6	O Endereçamento .....	64
4.1.7	Mensagens da Camada de Rede .....	66
4.1.8	Encaminhamento (Routing).....	67
4.1.8.1	Protocolos Reactivo e Proactivo .....	68
4.1.8.2	Routing Hierárquico.....	69
4.1.8.3	O Algoritmo de Routing.....	70
4.1.9	A Dinâmica da Rede.....	71
<b>4.2</b>	<b>O Protocolo de Alto Nível (PaN) .....</b>	<b>72</b>
4.2.1	Serviços, Portos e Ligações.....	73
4.2.1.1	O Conceito de Serviço .....	73
4.2.1.2	O Conceito de Porto.....	74
4.2.1.3	O Conceito de Acção .....	74
4.2.1.4	O Conceito de Ligação Lógica (binding).....	74
4.2.2	Endereçamento .....	75
4.2.3	Mecanismo de Detecção e Correção de Erros .....	75
4.2.4	Mensagens do Protocolo .....	76
4.2.5	O Serviço “Dispositivo” .....	77
4.2.6	Serviços de Dados .....	78
4.2.7	Validação da Resposta.....	78
4.2.8	Interface – API (Application Program Interface) .....	79
4.2.9	Procedimento de Ligação .....	80
4.2.9.1	Pedido de Ligação – CONNECT_REQ.....	81
4.2.9.2	Resposta de Ligação – CONNECT_RSP.....	81
4.2.10	Procedimento de Separação.....	82
4.2.10.1	Pedido de Separação – DISCONNECT_REQ .....	82

4.2.10.2	Resposta de Separação – DISCONNECT_RSP.....	83
4.2.11	Procedimento de Ligação lógica ( <i>binding</i> ).....	83
4.2.11.1	Pedido de Ligação Lógica – BIND_REQ.....	84
4.2.11.2	Resposta de Ligação Lógica – BIND_RSP.....	85
4.2.12	Procedimento de Quebra de Ligação Lógica ( <i>unbinding</i> ).....	85
4.2.12.1	Pedido de Quebra de Ligação Lógica – UNBIND_REQ.....	86
4.2.12.2	Resposta de Quebra de Ligação Lógica – UNBIND_RSP.....	86
4.2.13	Procedimento de Escrita Remota de Dados.....	87
4.2.13.1	Pedido de Escrita de Dados – SETDATA_REQ.....	87
4.2.13.2	Resposta de Escrita de Dados – SETDATA_RSP.....	88
4.2.14	Procedimento de Leitura Remota de Dados.....	88
4.2.14.1	Pedido de Leitura de Dados – GETDATA_REQ.....	89
4.2.14.2	Resposta de Leitura de Dados – GETDATA_RSP.....	89
4.2.15	Procedimento de Pesquisa de Serviços.....	89
4.2.15.1	Pedido de Pesquisa de Serviço – SERVIVE_DISCOVERY_REQ.....	90
4.2.15.2	Resposta de Pesquisa de Serviço – SERVIVE_DISCOVERY_RSP.....	90
4.2.16	Procedimento de Identificação.....	91
4.2.16.1	Pedido de Identificação – DEVICE_DESCRIPTION_REQ.....	92
4.2.16.2	Resposta de Identificação – DEVICE_DESCRIPTION_RSP.....	92
<b>4.3</b>	<b>Comunicações Cabladas.....</b>	<b>93</b>
4.3.1	Unidades Escravo.....	93
4.3.2	Unidade Mestre.....	93
4.3.3	Endereçamento.....	94
4.3.4	Camada Física.....	94
<b>5</b>	<b>AS UNIDADES: CONCEPÇÃO E REALIZAÇÃO.....</b>	<b>96</b>
5.1	Arquitectura Geral do <i>Firmware</i> .....	96
5.2	O Núcleo de Sistema Operativo.....	99
5.3	Camada de Abstracção do <i>Hardware</i> .....	101
5.4	Comunicações Sem fios.....	102
5.4.1	Arquitectura Geral.....	102
5.4.2	Abstracção do <i>Hardware</i> para o Rádio.....	103
5.4.2.1	Configuração – Abstracção de nível 1.....	104
5.4.2.2	Driver – Abstracção de nível 2.....	104
5.4.3	MAC – Baixo Nível.....	110
5.4.3.1	Transmissão e Recepção de Mensagens.....	111
5.4.3.2	Gestão do Rádio.....	118
5.4.4	Camadas de Alto Nível.....	119
5.5	Comunicações por Cabo.....	120
5.5.1	Arquitectura Geral.....	120
5.5.2	Abstracção do <i>Hardware</i> para Módulo CAN.....	121
5.5.2.1	Transmissão e Recepção de Mensagens.....	122
5.5.2.2	Controlo do <i>Hardware</i> .....	123
5.6	Ferramentas.....	123
5.6.1	Dicionário de Objectos.....	124
5.6.1.1	Tradução do Endereço.....	125
5.6.2	Sincronismo.....	125
5.6.3	O Sistema de Ficheiros.....	126
5.6.3.1	Unidades Baseadas no Microcontrolador MSP430.....	127
5.6.3.2	Unidades Baseadas no MicrocontroladorC167CR.....	129
5.7	Funções de Interface Local.....	130

<b>5.8</b>	<b>O hardware.....</b>	<b>131</b>
5.8.1	A Unidade Controladora Integradora .....	131
5.8.1.1	O Núcleo Central .....	132
5.8.1.2	A Alimentação .....	133
5.8.1.3	A Interface de Comunicação.....	134
5.8.2	As Subunidades Remotas .....	134
5.8.2.1	A Placa Controladora.....	135
5.8.2.2	A Alimentação .....	136
5.8.2.3	As Comunicações .....	136
5.8.2.4	A Aplicação .....	136
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....</b>	<b>138</b>
<b>6.1</b>	<b>Sumário dos Objectivos .....</b>	<b>138</b>
<b>6.2</b>	<b>Construção e Exploração do Sistema .....</b>	<b>140</b>
6.2.1	A Aplicação de Teste .....	141
6.2.2	A Bancada de Teste .....	141
6.2.3	Perfis de Dispositivos .....	144
6.2.3.1	Acesso aos Recursos .....	144
6.2.3.2	Definição dos Dispositivos (Controlo Automático de Iluminação) .....	144
6.2.3.3	Serviços nas Unidades Remotas .....	153
6.2.4	O Hardware .....	154
6.2.4.1	Unidade de Quadro .....	155
6.2.4.2	Unidade Coordenadora .....	156
6.2.4.3	Unidade Terminal .....	157
6.2.5	O Firmware .....	160
6.2.5.1	Unidade de Quadro .....	162
6.2.5.2	Unidade Coordenadora .....	162
6.2.5.3	Unidade Terminal .....	164
6.2.6	A Parametrização .....	165
6.2.6.1	Gestão das Prioridades no SOUBI.....	165
6.2.6.2	Parametrização do <i>Stack</i> das Comunicações Sem Fios .....	165
6.2.7	Dicionário de Objectos .....	165
6.2.8	Validação de Resultados .....	166
6.2.8.1	Conformação da Rede Sem Fios.....	166
6.2.8.2	Procedimentos da Camada de Alto Nível .....	170
<b>6.3</b>	<b>O Futuro: Linhas de Orientação.....</b>	<b>175</b>
<b>6.4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>176</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>177</b>
<b>A</b>	<b>ANEXO A – TECNOLOGIAS PARA A DOMÓTICA .....</b>	<b>185</b>
<b>A.1</b>	<b>O Conceito de <i>Fieldbus</i> .....</b>	<b>186</b>
<b>A.2</b>	<b>O Sistema X-10.....</b>	<b>187</b>
<b>A.3</b>	<b>A tecnologia <i>LonWorks</i> .....</b>	<b>188</b>
<b>A.4</b>	<b>Convergência de Tecnologias – A Iniciativa KONNEX.....</b>	<b>189</b>
A.4.1	A Tecnologia EHS (European Home System).....	189
A.4.2	A Tecnologia EIBUS (EUROPEAN INSTALLATION BUS).....	190
A.4.3	A Tecnologia Batibus.....	190
A.4.4	A Tecnologia KNX .....	190

A.5	O sistema CEBus.....	192
A.6	A tecnologia Sem Fios Zigbee.....	192
A.7	Tecnologias para Transferência de Dados e Entretenimento.....	193
<b>B</b>	<b>ANEXO B – CONFIGURAÇÃO DO <i>FIRMWARE</i> .....</b>	<b>194</b>
B.1	Unidade de quadro.....	195
B.2	Unidade router .....	197
B.3	Unidade remota (interruptor).....	199
<b>C</b>	<b>ANEXO C - DICIONÁRIO DE OBJECTOS.....</b>	<b>201</b>
C.1	Dicionário de Objectos da Unidade de Quadro.....	202

# TABELA DE FIGURAS

Figura 2-1 Os sistemas e a Domótica na forma clássica .....	10
Figura 2-2 Principais factores que influenciam o mercado .....	17
Figura 2-3 Caracterização básica dos interesses do utilizador de serviços e aplicações de Domótica em função da idade .....	17
Figura 2-4 Resumo das interações dos vários intervenientes no processo da construção de uma habitação domótica .....	22
Figura 2-5 O Papel do integrador .....	24
Figura 3-1 Arquitectura geral de um sistema para Domótica .....	39
Figura 3-2 Exemplo de bloco funcional (objecto) .....	40
Figura 3-3 Exemplo de aplicação baseada em ligações virtuais entre blocos funcionais .....	41
Figura 3-4 Modelo de dispositivo CANopen .....	42
Figura 3-5 Estrutura do dicionário de objectos das unidades CANopen .....	44
Figura 3-6 Procedimento de programação de cenários.....	45
Figura 3-7 Arquitectura do sistema de automação e controlo.....	47
Figura 3-8 Estrutura das unidades controladoras.....	49
Figura 3-9 Modelo de transferência de dados da subunidade de quadro.....	50
Figura 3-10 Modelo de transferência de dados nas unidades remotas .....	51
Figura 4-1 As comunicações no sistema.....	54
Figura 4-2 Exemplo de relação de parentesco entre nós.....	57
Figura 4-3 Modelo de transferência de dados para topologia estrela/ <i>cluster</i> :.....	58
Figura 4-4 Procedimento de transferência de mensagens entre unidades.....	59
Figura 4-5 Cenário de transmissão de mensagens adoptado .....	60
Figura 4-6 Procedimento genérico de conformação da rede sem fios.....	61
Figura 4-7 Mecanismo genérico de associação à rede .....	63
Figura 4-8 Troca de mensagens durante associação de unidades à rede.....	64
Figura 4-9 Mecanismo de atribuição de endereços.....	65
Figura 4-10 Exemplificação do mecanismo de atribuição de endereços.....	66
Figura 4-11 Formato dos pacotes da camada de rede .....	67
Figura 4-12 Classificação dos protocolos de <i>routing</i> para redes <i>ad-hoc</i> .....	68
Figura 4-13 Algoritmo de <i>routing</i> de mensagens.....	71
Figura 4-14 Modelo de comunicações do protocolo PaN .....	72
Figura 4-15 Exemplo de um dispositivo que apresenta dois serviços em dois portos diferentes .....	73
Figura 4-16 Ligação criada pelo interruptor com o sentido de <i>output</i> .....	74
Figura 4-17 Mecanismo de tradução de endereços.....	75
Figura 4-18 Mecanismo de transmissão de mensagens, a) sucesso, b) insucesso .....	76
Figura 4-19 Formato dos pacotes do protocolo PaN .....	77
Figura 4-20 Princípio de funcionamento da interface do PaN .....	80
Figura 4-21 Procedimento de associação entre duas unidades de rede .....	81

Figura 4-22 Procedimento de separação entre duas unidades de rede .....	82
Figura 4-23 Procedimento de <i>binding</i> entre dois serviços em unidades distintas .....	83
Figura 4-24 Procedimento para desligar dois serviços em unidades distintas .....	86
Figura 4-25 Procedimento de escrita remota de dados .....	87
Figura 4-26 Procedimento de leitura remota de dados .....	88
Figura 4-27 Procedimento de Pesquisa de Serviços.....	89
Figura 4-28 Procedimento de Identificação .....	92
Figura 5-1 Arquitectura geral do <i>firmware</i> .....	97
Figura 5-2 Estrutura interna do <i>firmware</i> .....	98
Figura 5-3 Formato das mensagens de comando.....	99
Figura 5-4 Controlo de posicionamento na cadeia de interrupções .....	100
Figura 5-5 Estrutura da camada de abstracção do <i>hardware</i> .....	101
Figura 5-6 Arquitectura geral – comunicações sem fios .....	103
Figura 5-7 Abstracção do <i>hardware</i> para módulo de comunicações IEEE802.15.4.....	104
Figura 5-8 Arquitectura interna do módulo temporizadores (módulo <i>tímer</i> da Figura 5-7) .....	106
Figura 5-9 Algoritmo de gestão do temporizador – exemplo.....	107
Figura 5-10 Arquitectura interna do módulo SPI .....	108
Figura 5-11 Algoritmo de acesso ao meio (actividade TX) .....	108
Figura 5-12 Arquitectura do módulo <i>chiptx</i> .....	109
Figura 5-13 Diagrama de estados do módulo SFD .....	110
Figura 5-14 Arquitectura interna do módulo SFD.....	110
Figura 5-15 Mecanismo de transmissão e recepção de mensagens .....	112
Figura 5-16 Diagrama de estados do modo recepção .....	113
Figura 5-17 Algoritmo do procedimento RX .....	114
Figura 5-18 Buffer de recepção .....	115
Figura 5-19 Diagrama de estados modo transmissão .....	116
Figura 5-20 Algoritmo do procedimento de TX.....	117
Figura 5-21 <i>Buffer</i> de transmissão .....	118
Figura 5-22 Máquina de estados da gestão de energia do rádio.....	119
Figura 5-23 Estrutura interna das tarefas do <i>stack</i> (comunicações em fios) .....	120
Figura 5-24 Arquitectura geral das comunicações com fios .....	121
Figura 5-25 Estrutura interna do <i>driver</i> CAN .....	122
Figura 5-26 Mecanismos de transmissão e recepção de mensagens CAN .....	123
Figura 5-27 Estrutura do dicionário de objectos .....	125
Figura 5-28 Estrutura interna do módulo gerador de eventos de sincronismo.....	126
Figura 5-29 Estrutura geral do sistema de ficheiros para unidades as unidades remotas.....	127
Figura 5-30 Procedimento de compactação das partições de memória .....	128
Figura 5-31 Estruturas de dados de controlo do sistema de ficheiros nas unidades remotas.....	129
Figura 5-32 Estrutura geral do sistema de ficheiros em unidades baseadas no microcontrolador C167 .....	130

Figura 5-33 Arquitectura da camada de interface local .....	131
Figura 5-34 Diagrama de blocos do <i>hardware</i> da unidade SCI .....	133
Figura 5-35 Arquitectura do <i>hardware</i> .....	135
Figura 5-36 Diagrama de blocos da placa controladora .....	135
Figura 5-37 – Diagrama de blocos da alimentação .....	136
Figura 6-1 A estrutura do protótipo de avaliação .....	141
Figura 6-2 Fotografia ilustrativa da bancada de teste.....	142
Figura 6-3 Aplicação para testes .....	143
Figura 6-4 Cenário de utilização do interruptor/actuador de lâmpada .....	145
Figura 6-5 Protótipo da unidade de quadro.....	155
Figura 6-6 Protótipo da unidade coordenadora .....	156
Figura 6-7 Placa controladora para as unidades coordenador.....	157
Figura 6-8 Placa de alimentação para unidades coordenadora com conversor ac/dc .....	157
Figura 6-9 protótipo da unidade terminal.....	158
Figura 6-10 Placa controladora para as unidades terminal.....	158
Figura 6-11 Placa de alimentação para unidades remotas com bateria e bomba de carga.....	159
Figura 6-12 Placa de aplicação – interruptores .....	159
Figura 6-13 Algoritmo da aplicação da unidade coordenadora de rede (unidade de quadro) .....	161
Figura 6-14 Algoritmo da aplicação na unidade coordenador .....	163
Figura 6-15 Algoritmo da aplicação para unidades Terminal (Interruptor) .....	164
Figura 6-16 Arquitectura da rede .....	166
Figura 6-17 Procedimento de associação da unidade interruptor.....	167
Figura 6-18 Procedimento de associação da unidade router .....	168
Figura 6-19 Procedimento de associação da unidade actuador .....	169
Figura 6-20 Procedimento para a acção CONNECT_REQ.....	171
Figura 6-21 Procedimento para a acção CONNECT_RSP.....	172
Figura 6-22 Procedimento para a acção SETDATA_REQ.....	173
Figura 6-23 Procedimento para a acção SETDATA_RSP.....	174

# TABELA DE QUADROS

Quadro 2-1 Iniciativas de sistemas para Domótica .....	37
Quadro 4-1 Tipos de mensagem da camada de rede .....	67
Quadro 4-2 Comandos da camada de rede .....	67
Quadro 4-3 Acções do serviço “Dispositivo” .....	78
Quadro 4-4 Acções base dos serviços de dados .....	78
Quadro 4-5 Códigos de validação de resposta definidos pelo protocolo .....	79
Quadro 4-6 Campo de dados da acção CONNECT_REQ .....	81
Quadro 4-7 Campo de dados da acção CONNECT_RSP .....	82
Quadro 4-8 Campo de dados da acção DISCONNECT_RSP .....	83
Quadro 4-9 Campo de dados da acção BIND_REQ .....	84
Quadro 4-10 Campo de dados da acção BIND_RSP .....	85
Quadro 4-11 Campo de dados da acção UNBIND_REQ .....	86
Quadro 4-12 Campo de dados da acção UNBIND_RSP .....	87
Quadro 4-13 Campo de dados da acção SETDATA_REQ .....	88
Quadro 4-14 Campo de dados da acção SETDATA_RSP .....	88
Quadro 4-15 Campo de dados da acção GETDATA_RSP .....	89
Quadro 4-16 <i>Campo de dados</i> da acção SERVICE_DYSCOVERY_REQ .....	90
Quadro 4-17 Campo de dados da acção SERVICE_DYSCOVERY_RSP .....	91
Quadro 4-18 Campo de dados da acção DEVICE_DESCRIPTION_RSP .....	92
Quadro 6-1 Estrutura de dados referente ao actuador de ponto de luz (ACTUADOR_ON/OFF).145	
Quadro 6-2 Estrutura de dados referente ao objecto interruptor (INTERRUPTOR_ON/OFF).....	146
Quadro 6-3 Estrutura de dados referente ao objecto unidade remota (UNIDADE_RMT).....	146
Quadro 6-4 Descrição do objecto - Actuador de Ponto de Luz .....	147
Quadro 6-5 Descrição da entrada - Actuador de Ponto de Luz.....	147
Quadro 6-6 Descrição do objecto - Interruptor ON/OFF .....	148
Quadro 6-7 Descrição da entrada - Interruptor ON/OFF .....	149
Quadro 6-8 Descrição do objecto - Remoto.....	150
Quadro 6-9 Descrição da entrada - Remoto.....	151
Quadro 6-10 Serviços do protocolo de alto nível (PaN).....	153
Quadro 6-11 Estrutura do serviço SERVICIO_INTERRUPTOR_ON/OFF .....	154
Quadro 6-12 Estrutura do serviço SERVICIO_ACTUADOR_ON/OFF .....	154
Quadro 6-13 Atribuição de prioridades no SOUBI.....	165

# GLOSSÁRIO

ACK	<i>Acknowledgment frame</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
AVAC	<i>Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado</i>
CAL	<i>CAN Application Layer</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CCA	<i>Clear Channel Assessment</i>
CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>
CiA	<i>CAN in Automation</i>
CSMA	<i>Carrier Sense Multiple</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance</i>
DIP	<i>Dual in-line package</i>
EDS	<i>Electronic Data Sheet</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
FIFO	<i>First In, First Out</i>
GPIO	<i>General Purpose Input / Output</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LQI	<i>Link Quality Indicator</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
OLE	<i>Object Link Embedded</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PaN	<i>Protocolo da Camada de Alto Nível</i>
PDO	<i>Process Data Object</i>
PLC	<i>Power line carrier</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>

RFD	<i>Reduced Function Device</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
SCI	Subunidade Controladora Integradora
SCWF	Subunidade Controladora <i>wireless</i> – <i>Full Function</i>
SCWR	Subunidade Controladora <i>Wireless</i> – <i>Reduced Function</i>
SDO	<i>Service Data Object</i>
SFD	<i>Start of Frame Delimiter</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UC	Unidade Controladora
UIS	Unidade Integradora e Supervisora

---

---

# **1** INTRODUÇÃO

## **1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO**

O fim último da Domótica, enquanto disciplina de conhecimento e de prática profissional, consiste em promover o bem-estar dos ocupantes de espaços habitados – sobretudo residenciais, mas também de trabalho e de lazer – pela automatização dos equipamentos e dispositivos instalados para proporcionar conforto, segurança e entretenimento, a fim de potenciar a sua exploração e simplificar a sua operação. Isto envolve o recurso a tecnologias de informação e comunicação, constituindo sistemas de gestão da exploração (operação e manutenção, à semelhança dos sistemas industriais) dos espaços, com vantagens muito significativas de comodidade pessoal, de segurança pessoal e das instalações, e de economia de energia.

Apesar de tal conjunto de vantagens potenciais, a resposta do mercado tem sido pertinazmente tímida ao longo dos anos, apenas com alguma relevância na forma de soluções isoladas (i.e., não integradas) em domínios específicos de aplicação, como a segurança contra intrusão e o entretenimento – esta indiferença do mercado contraria a

atitude geral de expectativa e, mesmo, de aceitação de soluções equivalentes no âmbito dos *sistemas ubíquos* noutras áreas de aplicação, como em diversas indústrias de manufactura e, sobretudo, na indústria automóvel. As causas para este alheamento não decorrerão apenas de características peculiares do seu mercado potencial – sendo um mercado de bens de consumo, tem a expectativa de um longo ciclo de vida para estes produtos, comparável (ou superior) à Indústria – mas, principalmente, dos seguintes factores: (i) a fraca convivialidade destes sistemas, (ii) a natural reserva por parte das pessoas em confiar o controlo dos seus ambientes a máquinas, (iii) a geral inadequação dos sistemas existentes, inicialmente desenvolvidos para o mercado de edifícios de grandes dimensões, e (iv) as limitações tecnológicas que conduziram a sistemas com fraca capacidade de integração e, portanto, a uma centralização excessiva.

Ora, a Domótica é uma área multidisciplinar, abrangendo uma grande variedade de domínios e saberes, do mesmo modo que são múltiplos os campos de aplicação que podem ser objecto de estudo no seu âmbito, tais como a iluminação, a segurança, o controlo de acessos, a racionalização de energia e, num registo diferente, o entretenimento – com tal diversidade de objectivos, a maioria das soluções oferecidas foi orientada para estes diferentes nichos de aplicação, com particular sucesso no domínio dos sistemas de alarme contra intrusão. Para inverter esta excessiva focagem em mercados de nicho, cuja satisfação concorre, afinal, para a estagnação da Domótica, será necessário recentrar esta nas pessoas (não nas tecnologias), contemplando a diversidade de utilização dos espaços a individualidade dos ocupantes respectivos, bem como a racionalidade económica associada à capacidade de crescimento incremental das soluções, pela utilização generalizada de sistemas embebidos distribuídos.

Neste contexto, a capacidade de integração constitui um dos factores-chave para o almejado sucesso da Domótica, explorando as virtualidades da troca de informação entre unidades e subsistemas funcionalmente diferenciados, no sentido de alcançar um melhor aproveitamento dos recursos instalados, optimizando o seu funcionamento e atribuindo-lhes novas funcionalidades, tudo com recurso a uma única forma de interface com os utilizadores, onde quer que estes se encontrem. Para uma plena integração, é necessários que os vários elementos constitutivos dos sistemas cumpram determinados requisitos de compatibilidade de comunicação entre si: (i) garantir a compatibilidade da

camada física, (ii) assegurar a troca de mensagens entre dispositivos, e (iii) acautelar a correcta interpretação da informação.

Em geral, os sistemas de automação têm sofrido profundas alterações, em que o surgimento de tecnologias de comunicação modernas baseadas no conceito de *fieldbus* [Bruno01], [Berge02] – como se ilustra no ANEXO A – Tecnologias – foi o factor chave para estas alterações. Mais recentemente, um novo fôlego na evolução destes sistemas irá acontecer, pelas oportunidades decorrentes da exploração de tecnologias de comunicação sem fios (*wireless*), principalmente na banda dos 2,4 GHz, com baixo consumo e baixa taxa de transmissão de dados – a drástica redução de custos e de complexidade de instalação, conjugada com a possibilidade de utilização de dispositivos autónomos, alimentados por bateria, serão factores determinantes para um novo fôlego e a uma nova oportunidade para os sistemas de automação de espaços residenciais.

Este é, pois, um caminho necessário para o sucesso da vertente da Domótica que respeita à capacidade de gestão automática das funções de conforto, de segurança e de logística, maximizando a economia na exploração dos recursos instalados. A outra vertente, complementar daquela, suporta o acesso aos recursos de entretenimento audiovisual; a generalizada digitalização destes recursos facilitará a integração das duas vertentes referidas e, exigindo recursos telemáticos mais “pesados”, constitui, mesmo, uma oportunidade para o desenvolvimento das capacidades de automatização.

## **1.2 OBJECTIVOS**

Modernamente, a Domótica poderá ser entendida como congregando quatro domínios de especialidade: (i) a automação, (ii) a segurança, (iii) o entretenimento, e (iv) as comunicações.

No respeitante à automação propriamente dita, as suas principais funções visam a gestão da energia e o conforto ambiente (térmico e luminoso), para tal envolvendo o controlo de variados equipamentos domésticos e, em particular, da climatização e da iluminação (natural e artificial). Mas, nos termos de desagregação funcional acima referido, um sistema de automação em aplicações de Domótica não é responsável pelo controlo da totalidade dos equipamentos eléctricos e electrónicos das habitações, já que

não integra as componentes de segurança – por força do mercado, contrariando a natural integração de plataformas tecnológicas <sup>1</sup> – e de entretenimento.

Assim, no sentido de obviar aos pontos fracos e, deste modo, criar uma nova oportunidade para a Domótica, apresenta-se um novo conceito de arquitectura de sistema para a “Domótica-automação” que, baseando-se num conceito de sistema fortemente distribuído e integrador, possui a capacidade de estabelecer ligações lógicas entre dispositivos (interruptores, lâmpadas, controladores, etc.), a aptidão para proporcionar altos níveis de integração de informação (sistemas abertos) e, acima de tudo, de suportar, intrinsecamente, a definição de “cenários” de funcionamento na linha de abordagem da instrumentação virtual.

Em seguida, são indicadas as principais características e consequentes vantagens da plataforma de sistema aqui realizada:

- A plataforma utiliza duas tecnologias de comunicação diferenciadas: na sua origem, o sistema proposto está baseada em comunicação cablada, segundo a norma CANopen, [CAN08], [DS301], [Farsi00], e, a fim de aumentar a flexibilidade do sistema e a facilidade de instalação, faz-se a sua extensão através de unidades remotas interligadas sem fios;
- A plataforma oferece a capacidade de integrar sistemas de múltiplos fabricantes: a espinha dorsal do sistema é baseada numa rede *fielbus* normalizada e aberta – CANopen –, que está especialmente dotada de meios que possibilitam a inclusão de diferentes unidades pertencentes a diferentes fabricantes, com um esforço mínimo de configuração;
- A plataforma possui um elevado grau de modularidade, que é essencial no suporte a características de expansibilidade e de adaptabilidade a novas necessidades, facilitando a integração de novos sistemas e simplificando os processos de remoção ou modificação de sistemas já integrados;

---

<sup>1</sup> A segurança como domínio de especialidade independente surge da existência de legislação apertada neste âmbito de aplicação sendo, em alguns países, necessário cablagens independentes dos restantes componentes do sistema, dificultando desta forma, a integração desta domínio de aplicação na Domótica.

- A plataforma é flexível, suportando a definição de novas funções, quer no âmbito de um único sistema, quer afectando as relações de cooperação entre vários sistemas – esta capacidade constitui um elemento chave no suporte à evolução e expansão do sistema global, permitindo que as funcionalidades existentes possam ser expandidas ou adaptadas a novas necessidades;
- A plataforma possui uma arquitectura distribuída, de modo a suportar duas características fundamentais: flexibilidade funcional e expansibilidade incremental; a plataforma é configurável por medida para uma grande variedade de situações (em dimensão e complexidade funcional), potenciando, ainda, as capacidades de auto-diagnóstico e de robustez acrescida.

Estes factores determinantes para a concepção da plataforma, em arquitectura e em tecnologias, não se encontram confinadas a aplicações na área da Domótica, antes sendo comuns à área da Automação Industrial. Contudo, foram os requisitos e as condicionantes de mercado da Domótica – tal como entendidos e formulados no Capítulo 2 – que, particularmente, conduziram aos resultados aqui apresentados, sustentando uma proposta inovadora e abrangente.

### **1.3 ESTRUTURA DA TESE**

A presente tese apresenta-se estruturada em cinco capítulos, que integram três partes fundamentais: (i) uma primeira parte, correspondente ao capítulo 2, de revisão crítica e sistematização de conceitos em Domótica e da evolução de produtos e soluções neste mercado, (ii) uma segunda parte, que compreende os capítulos 3 e 4, onde são apresentadas as ideias fundamentais e a consequente estruturação do sistema proposto – no capítulo 3 é apresentada a arquitectura do sistema, e no capítulo 4 é descrito o mecanismo de comunicações adoptado, com ênfase no protocolo da camada de alto nível das comunicações sem fios –, e (iii) uma última parte constituída pelos capítulos 5,6 e 7, dando conta da materialização do sistema, nos seus mais relevantes aspectos construtivos – de *hardware* e de *firmware* – e da avaliação de desempenho efectuada.

De modo mais detalhado:

- No Capítulo 2 é discutido o conceito de Domótica, tomando em consideração e relacionando o enquadramento social, as passadas propostas tecnológicas e a conseqüente evolução do mercado, sendo apontadas as principais barreiras que determinaram a sua estagnação; é, ainda, perspectivado um futuro possível para este mercado, em condições que aqui são discutidas, envolvendo novos “actores” intervenientes no mercado – dos quais o mais importante será o integrador de sistemas – e culminando com a apresentação dos serviços com maior potencial que podem ser suportados pelas novas tecnologias telemáticas;
- No capítulo 3 é descrita a arquitectura desta plataforma, relacionando a sua estrutura com as funcionalidades gerais características da Domótica, é apresentado o modelo de transferência de dados entre as várias unidades que constituem este sistema, e, finalmente, é efectuada a definição funcional das diferentes unidades que resultam da definição estrutural da plataforma apresentada;
- O capítulo 4 é um capítulo importante no contexto do trabalho, onde se define o funcionamento dos mecanismos de comunicação do sistema, enquanto peças fundamentais para o sucesso final desta plataforma: é realizado o enquadramento das funções CANopen nas unidades do sistema, são definidas as camadas de rede e de aplicação das comunicações sem fios, e, sobretudo, é apresentada a especificação da função da camada de alto nível, por forma a potenciar as ligações lógicas entre serviços das unidades remotas e as unidades de quadro;
- O capítulo 5 é dedicado à concepção e materialização das várias unidades do sistema, contemplando o *hardware* – com base na vocação funcional das diferentes unidades, é explicada a sua estrutura física – e o *firmware* respectivo; aqui é apresentada a estratégia de realização do *firmware* para cada tipo de unidade, que foi organizado com base num sistema operativo para tempo real – projectado e construído com a finalidade principal de isolar o *hardware* das camadas de *firmware*, pela definição de camadas de abstracção daquele –, sendo, por fim, apresentada a forma de implementação

do *stack* das comunicações sem fios, onde é clara a estratégia de articulação entre as várias entidades do *stack*;

- O capítulo 6 conclui o presente trabalho, contendo uma circunstanciada apresentação da avaliação de desempenho realizada com base num protótipo de sistema constituído por três unidades diferenciadas, que foi configurado para o controlo automático de iluminação, cujos resultados permitiram validar conceitos, ideias e formas de realização apresentadas nos capítulos precedentes, cuja súmula conclusiva seguidamente se apresenta, bem como sugestões de orientação para trabalho futuro.

---

---

# 2

## **A CASA INTELIGENTE: CONCEITOS, PERSPECTIVAS E REALIDADES**

Desde muito cedo que o homem tem vindo a aplicar os avanços tecnológicos à sua habitação. Os motivos têm sido diversos ao longo do tempo: primeiro (e sempre), aumentar a segurança e transformar a habitação num lugar mais confortável e acolhedor; mais recentemente, mas não menos importantes, a poupança de energia e a melhoria das condições de higiene e saúde.

Assim, sendo certo que, hoje em dia, a existência de energia eléctrica, telefone ou televisão é trivial em qualquer lar do mundo desenvolvido, também não será difícil encontrar outros sistemas e dispositivos que complementam as motivações básicas referidas anteriormente, como, por exemplo, controlo de iluminação, climatização, persianas motorizadas, rega de jardim automática, controlo de acessos, alarmes contra intrusão, alarme de incêndio, câmaras de vigilância, etc. No entanto, na grande maioria das aplicações, estes sistemas encontram-se isolados, faltando a integração dos respectivos serviços.

O desenvolvimento das TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) e a sua aceitação pelo mercado de massas conduziu ao facto de, com relativa frequência, se falar em Domótica, “edifícios inteligentes” e até “cidades inteligentes”. O desenvolvimento destes conceitos, em particular os que dizem respeito à Domótica, está condicionado por três grandes factores: (i) evolução da tecnologia, (ii) alterações socioculturais, e (iii) oportunidades de negócio.

## **2.1 O CONCEITO DE DOMÓTICA**

Domótica é o termo que resulta da junção da palavra *domus* (casa/domicílio), com a palavra robótica. É utilizado para designar a parte da tecnologia (eléctrica e informática) que compõem os edifícios de habitação, e cuja função está intimamente ligada ao controlo e supervisão dos vários elementos neles existentes. Uma outra designação para o mesmo conceito é de “edifício inteligente”, embora esta seja preferencialmente aplicada a edifícios de grandes dimensões destinados a serviços: bancos, hospitais, hotéis, universidades, etc. [Nune95].

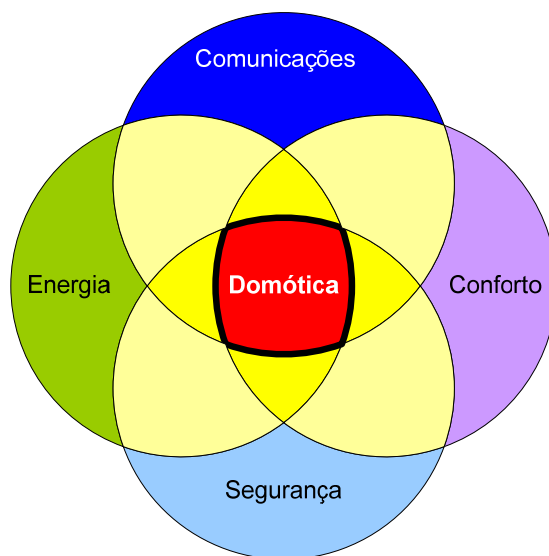
Não obstante, o objectivo ser de índole semelhante, existem diferenças no conceito, ao nível da orientação das funcionalidades e serviços oferecidos, que, para as habitações estão focadas no utilizador e no seu conforto, enquanto que, para grandes edifícios, estão dirigidos para o suporte eficaz das organizações, conduzindo ao aumento de produtividade das actividades por elas desenvolvidas [Nune95].

*“O conceito de Domótica está associado a sistemas integrados que permitem, de uma forma simples, controlar com um só equipamento, tudo o que diz respeito a uma habitação. São sistemas em que as tecnologias da informação são amplamente utilizadas em ambiente doméstico”*<sup>2</sup>. Esta definição toca num ponto fundamental para a existência de um sistema domótico: a integração, enquanto capacidade de comunicação e colaboração dos vários sistemas e dispositivos de automação de edifícios, para ser atingido um objectivo global comum [Nune95]. A Figura 2-1 ilustra os quatro grandes domínios/sistemas de aplicação que constituem um sistema domótico, nela podendo ser observado que a Domótica apenas existe na área de intersecção daqueles – portanto, a

---

<sup>2</sup> Definição de domótica pela enciclopédia da Porto Editora versão de 2005

existência, em separado, dos vários domínios, por si só, não corresponde à existência de uma aplicação domótica.



**Figura 2-1 Os sistemas e a Domótica na forma clássica**

Ultimamente, um novo conceito está a emergir, em resultado da *massificação* das TIC, constituindo uma ideia mais ampla do que a enunciada anteriormente, no sentido em que deixa de existir uma referencia estrita à tecnologia. Este novo conceito é designado por “casa inteligente” (*smart house*), e baseia-se nos serviços e nas funcionalidades resultantes da interacção entre eles – de certa forma, esta ideia resulta de uma convergência dos sistemas: comunicações, entretenimento, segurança e o controlo automático da habitação. Este novo conceito será, certamente, relevante para uma maior aceitação da Domótica.

O objectivo primário da utilização da Domótica consiste em aliviar os moradores de tarefas rotineiras, a serem executadas automaticamente sobre os equipamentos eléctricos e electrónicos da habitação. Esta será a Domótica, como referido anteriormente, vista pelo prisma tradicional, onde os sistemas funcionam isolados ou não incluindo os novos serviços proporcionados pelas novas TIC.

Numa visão mais moderna do conceito (casa inteligente), onde os vários subsistemas se encontram interligados, a integração da informação tem um alcance mais profundo, potenciando o surgimento de novas funcionalidades de controlo integral da habitação, aumento da segurança, aumento de conforto, melhoria das comunicações interpessoais, e significava poupança de recursos naturais, de dinheiro e de tempo.

## **2.2 SITUAÇÃO SOCIOCULTURAL**

A procura de casa é sempre condicionada pela necessidade criada pelas alterações demográficas. Estudos recentes mostram que a pirâmide populacional nas sociedades ocidentais sofreu alterações muito significativas nos últimos anos, isto é, a população ocidental está a envelhecer, conduzindo à redução da necessidade de novos fogos habitacionais. Em particular, em Portugal, a taxa de crescimento de novos fogos foi sistematicamente superior a 1,5% até 2003, havendo descido para 1,0% em 2006, com acentuação da tendência de descida que este indicador manifesta desde 2002 [INE06].

Um outro factor, não menos importante no contexto da sociedade actual, é representado pelos grupos sociais com necessidades especiais: a tendência para aumentar o grau de independência destas pessoas poderá condicionar o conceito de habitação, bem como a procura de nova habitação – em Portugal, em 2005, assistiu-se a um aumento da proporção da população idosa (65 e mais anos) na população total, passando de 16,4% em 2000 para 17,1% em 2005 [INE05-2].

Por outro lado, é relevante perceber de que forma as alterações económicas, demográficas e sociais na população do mundo ocidental, poderão afectar as necessidades de equipamentos eléctricos e electrónicos, e a sua automatização no suporte da vida corrente, e, finalmente, as consequentes alterações no mercado habitacional.

### **2.2.1 Alterações Socioculturais**

O modelo de tipologia das famílias, que, tradicionalmente, era constituído por um casal e vários filhos, está a mudar: hoje em dia, muitos casais optam por não ter filhos e, em todo o caso, existe uma maior independência dos elementos do agregado familiar e, como consequência, a família passa menos tempo reunida. Esta independência conduz à necessidade crescente de espaços individualizados no seio da habitação que, por sua vez, deverão possuir melhores infra-estruturas de comunicação. Assim, existe uma procura crescente de habitação com tipologias T0 e T1, muito embora as tipologias mais oferecidas pelos promotores imobiliários sejam o T2 e T3 – a

redução da taxa de natalidade e a saída tardia dos jovens das casas dos pais são os factores que mais têm vindo a condicionar a tipologia preferencial da habitação.

Por outro lado, as alterações de atitude na forma como a habitação é utilizada estão intimamente ligadas com a tecnologia nela instalada [Gann99]: o rápido crescimento da procura de bens para entretenimento sugere que o modo de vida das populações actuais está mais centrado na sua casa, podendo-se especular se esta alteração vai contribuir para acelerar o mercado de bens e serviços relacionados com a Domótica. Uma outra alteração social que poderá ter impacto na procura de habitações equipadas com sistemas domóticos é a alteração dos regimes de trabalho, em resultado da globalização dos mercados: as próprias empresas estão mais descentralizadas, através do recurso a sofisticados sistemas de comunicação, com uma progressiva tendência para levar trabalho para casa, sobretudo ao nível de quadros médios e superiores.

### **2.2.2 Grupos Sociais com Necessidades Especiais**

A população das sociedades ocidentais está a envelhecer, em resultado da redução da natalidade e de uma subida acentuada da esperança de vida, com o decorrente impacto no mercado habitacional. A prevalência de doenças crónicas e incapacitantes é maior na terceira idade, o que poderá conduzir a um maior número de pessoas, na nossa sociedade, com menor mobilidade e autonomia pessoal, com necessidade de maiores cuidados médicos e com maiores dificuldades ao nível do relacionamento social [JAMES98]. Outro factor, não menos importante, é que estas pessoas são solitárias e preferem continuar a viver nas suas próprias casas.

Assim, de um modo geral<sup>3</sup>, a pessoa idosa prefere despende um pouco mais de dinheiro para adquirir um determinado bem ou serviço, que lhe permita a permanência na sua habitação, o que é encarado como positivo por parte das organizações com responsabilidades sociais, já que acarreta redução de custos. A Domótica poderá ter um papel fundamental na ajuda a este crescente segmento da população, pois permite a introdução de funções de telemedicina, e o controlo automático na habitação da pessoa idosa poderá ajudar a reduzir a exclusão social, aumentar a mobilidade e conforto, a

---

<sup>3</sup> Situação que depende dos níveis de dependência que a pessoa apresenta, dos níveis socioeconómicos, ou até das distintas percepções de qualidade de vida; etc.

segurança, e, ainda, ter um papel fundamental no entretenimento e ocupação de tempos livres.

Complementarmente, os jovens proprietários das novas habitações são parte de uma geração com maior apetência para a adopção de novas tecnologias, uma vez que são pessoas que frequentemente lidam com computadores e utilizam a *Internet*. Ainda para estes, também a crescente procura de produtos de entretenimento e de assistência educativa através de aplicações interactivas (*E-learning*) conduzirá a uma adesão aos mais modernos sistemas de Domótica, desde que conviviais, flexíveis e seguros.

## **2.3 DOMÓTICA – PASSADO E PRESENTE**

### **2.3.1 A Introdução de Novas Tecnologias no Lar**

O século XX experimentou uma drástica revolução na tecnologia doméstica, revolução esta que culminou no final do século com a emergência do conceito de Domótica: a tecnologia utilizada nas habitações no final do século XX não existia no início deste século.

A principal força impulsora para este tão acelerado processo de transformação de hábitos e tecnologias foi, sem dúvida, a introdução da energia eléctrica nas habitações, durante a primeira metade do século XX, constituindo uma alternativa mais prática e segura para a iluminação e o aquecimento mas, também, como fonte de energia para accionar os utensílios domésticos que até então eram accionados manualmente. O segundo maior impulsor desta revolução tecnológica foi a introdução das TIC, no último quartel de século passado, pelas possibilidades que abriu de obtenção, tratamento e troca de informação entre pessoas e aparelhos e sistemas, no interior e de/para fora das habitações. De resto, a energia e a informação foram (e são) os factores de progresso das sociedades modernas, em geral.

A introdução de tecnologia no lar condicionou fortemente a forma de projectar habitações ao longo do último século, numa progressão que pode ser perspectivada em três fases [Gann99]: (i) ligação das habitações às infra-estruturas colectivas exteriores, tais como rede de abastecimento de água e rede de esgotos, rede eléctrica e de abastecimento de gás, telefone, televisão e Internet, (ii) distribuição, no interior da

habitação, dos vários serviços, através da instalação das correspondentes infra-estruturas interiores, de que são exemplos a instalação eléctrica, cabos e tomadas de telefone, as canalizações, os sistemas de aquecimento e arrefecimento, e (iii) a existência de equipamentos terminais, que se interligam às infra-estruturas internas, para fornecer uma grande variedade de serviços e, em muitas situações, funcionando como interfaces entre o utilizador da habitação e o mundo que o rodeia. Deste modo, a tecnologia torna-se móvel e toma a forma de bens de consumo.

O emprego feminino e a consequente necessidade de redução do trabalho doméstico, juntamente com a segurança, foram os principais factores sociais que determinaram a introdução de produtos tecnológicos que alteraram, não só hábitos de vida das pessoas, mas também a própria concepção e construção das habitações, com realce para as cozinhas e casas de banho. Em suma, as casas são projectadas para os novos padrões de vida apoiados nas novas tecnologias.

Deste modo, a automatização de tarefas rotineiras e envolvendo esforço físico, através do uso de electrodomésticos, libertou ou aliviou as pessoas das tarefas árduas e ajudou pessoas com deficiências a terem uma vida mais independente. Também contribuiu significativamente para a redução do risco de contracção doenças, uma vez que o conceito de limpeza e higiene sofreu uma grande alteração devido ao conhecimento científico da sua importância na saúde, bem como do aumento do “tempo livre”. Em consequência, desenvolveu-se uma forte indústria de equipamentos domésticos que, ao cabo de tantos anos a cultivar a diferenciação dos equipamentos, não cuida, ainda, de incorporar dispositivos que lhes confirmem capacidades de comunicação e interligação com outros equipamentos.

De facto, uma primeira abordagem de Domótica foi realizada na passada década de oitenta nos países desenvolvidos – no entanto, este conceito não teve a aceitação desejada, como atesta a nossa realidade actual. Muito embora a maioria dos electrodomésticos desenvolvidos nesse período, e, sobretudo, na década de noventa, incorpore microcomputadores embudados, estes apenas substituíram funcionalmente os anteriores programadores electromecânicos, sem lhes conferir mais “inteligência”. Em paralelo, também o mercado dos sistemas de segurança tem prosperado, mas sem o interesse em sistemas integrados que forneçam as funcionalidades descritas pelo

conceito de Domótica, pelo que o mercado se continua a orientar pela produção de “ilhas” de automatização, com a consequente estagnação relativa.

De momento, subsistem duas formas distintas de perspectivar a Domótica: (i) uma delas, na linha de abordagem tradicional de automatização, e (ii) uma outra, mais recente, fornecendo serviços de comunicações e entretenimento, até para melhor ocupar o tempo libertado na realização das tarefas domésticas [Haper03]. Esta componente de Domótica parece ser especialmente promissora, uma vez que a taxa de adesão às novas tecnologias da informação é muito superior que as taxas de adesão verificadas no passado para a electricidade, telefone e televisão – em Portugal, no primeiro trimestre de 2005, 42,5% dos agregados domésticos possuíam computador e 31,5% tinham ligação à Internet a partir de casa [INE05], com taxas de crescimento médio anual de 16,6%, no número de computadores e de 27,8% no acesso à Internet, entre 2002 e 2005.

Cada inovação tecnológica é única e a sua adopção por parte dos consumidores é diferente! Tomando lições do passado, acerca de como outras tecnologias atingiram o mercado de massas, e quais os factores que influenciaram o seu ritmo de aceitação, procurou-se perspectivar uma evolução verosímil para a Domótica: estudos sustentam um padrão de adesão dos consumidores a novos produtos – habitualmente descrito como a curva “S” –, sendo que a aceitação da maioria das novas tecnologias também obedece a esse padrão [Pragnell00]. Sucintamente, este padrão de aceitação pelo mercado é caracterizado por apresentar um valor baixo nos primeiros anos, que é seguido de um forte acréscimo representativo da progressiva penetração no mercado de massas, estabilizando num patamar de saturação de mercado. Ora, dados recentes sustentam o que, em todo o caso, parece óbvio: (i) uma grande receptividade dos consumidores face às novas tecnologias, depois consubstanciada por um grande desejo de consumo de novidades tecnológicas (e.g., a pronta massificação do telefone móvel e de equipamentos musicais portáteis), e (ii) que a familiarização com produtos “tecnológicos” facilita a aceitação de outras tecnologias e produtos. Nestes termos, a taxa de variação da curva de aceitação das TIC permite-nos conjecturar uma próxima adesão generalizada à Domótica.

### **2.3.2 Situação Actual de Mercado**

Actualmente, a ideia de introduzir automatismos nas habitações ainda encontra resistência em grande parte da população, sobretudo pela convicção generalizada de que os computadores estão sempre a avariar sem razão aparente ..., havendo, contudo, também aqueles que se surpreendem com o facto de ainda não vivermos em casas repletas de automatismos – em boa verdade, em nosso redor, os automóveis estão peçados de automatismos, e fábricas, centros comerciais e grandes edifícios de serviços estão altamente automatizados. Assim, o número de instalações de Domótica tem tido um crescimento modesto, em resultado do fraco entusiasmo de proprietários, promotores imobiliários e fabricantes de equipamento, e, ainda, pela tímida normalização internacional no sector e, mesmo, pela falta de mão-de-obra qualificada.

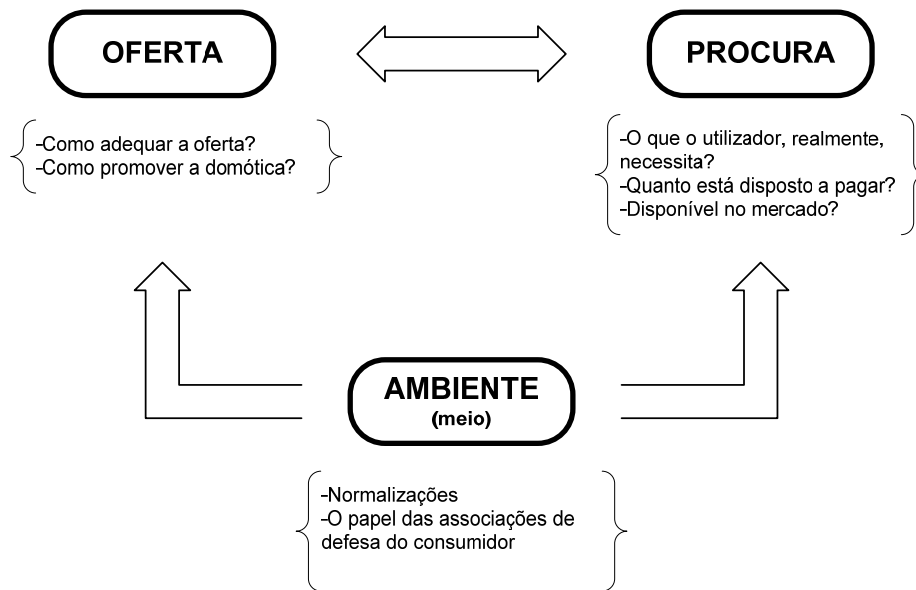
Contudo, existem alterações perceptíveis no mercado americano – cuja escala, só por si, é determinante para o sucesso de um produto – que, proximamente, poderão conduzir ao desejado patamar de *massificação*. Por outro lado, o recurso generalizado a redes de comunicação sem fios (*wireless*) irá acarretar uma maior economia no investimento e conferir novas funcionalidades e uma superior convivialidade dos sistemas domóticos.

### **2.3.3 Caracterização do Mercado da Domótica**

Na caracterização do mercado da Domótica surgem os três elementos chave de todo e qualquer mercado, como se ilustra na Figura 2-2: a oferta, a procura, e o ambiente, este entendido como o conjunto de factores externos de condicionamento do mercado.

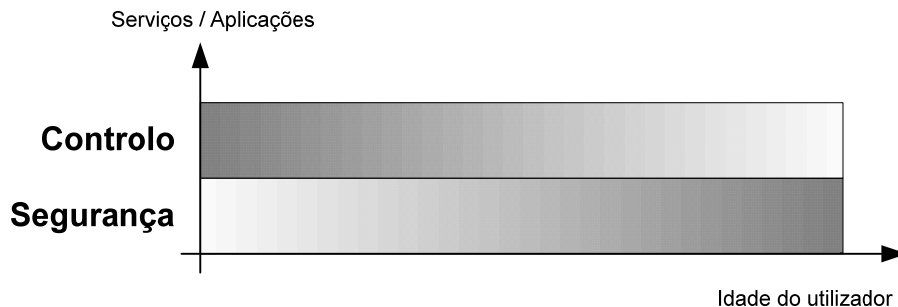
#### **2.3.3.1 A Oferta**

O desenvolvimento do mercado da Domótica está fortemente condicionado pela situação e evolução do sector da construção civil e pela relativa ausência de procura por parte dos potenciais compradores, entre outros aspectos. Ainda assim, o mercado de soluções sectoriais – segurança, gestão de energia e conforto – tem vindo a crescer, sem que os muitos sistemas oferecidos no mercado disponham de capacidade de interligação entre si.



**Figura 2-2 Principais factores que influenciam o mercado**

Por outro lado, é importante considerar que a quase totalidade dos sistemas actuais foi desenvolvida para aplicação em habitações novas, em que o custo de passar condutas e embutir caixas é marginal. Com o mercado de habitações novas a baixar, em resultado de variados factores socioeconómicos, é fundamental orientar os sistemas domóticos para uma fácil (rápida, cómoda e económica) instalação em casas já existentes e, mesmo, enquanto habitadas. Ainda em resultado da orientação preponderante da oferta para habitações novas, os critérios que presidiram ao projecto dos sistemas domóticos foram, geralmente, determinados em abstracto – tendo em conta a tipologia das habitações, do ponto de vista do mercado –, em vez das distintas necessidades dos residentes concretos [Pragnell00] – a Figura 2-3 exemplifica a evolução da tónica de especificação funcional com a idade dos residentes.



**Figura 2-3 Caracterização básica dos interesses do utilizador de serviços e aplicações de Domótica em função da idade**

### 2.3.3.2 A Procura

A falta de uma procura clara é uma das características do mercado da Domótica, que, assim, é orientado sobretudo pela oferta e não pela procura: a falta de estudos de mercado sobre as necessidades reais de serviços e aplicações no âmbito da Domótica, assim como de análises comparativas elucidativas do mercado, constituem factores que podem explicar muitos fracassos comerciais do passado. Um dos poucos estudos consistentes, que foi levado a cabo em 2000 pela **Joseph Rowntree Foundation**, [JRF08], [Pragnell00] revelou dados interessantes:

- A existência de um mercado potencial importante, cuja realização está dependente do seu desenvolvimento e conseqüente redução de preços – 45% dos inquiridos declararam estar interessados em viver numa habitação com instalação de Domótica (na sua maioria indivíduos com idades compreendidas entre os 15 e os 34 anos, que estão predispostos para o uso de novas tecnologias e/ou já são seus utilizadores habituais (*early adopter*));
- As funcionalidades que atraem mais interesse nos sistemas domóticos são as respeitantes à segurança de pessoas e bens, sobrepondo-se claramente ao conforto, ao lazer e à gestão energética da habitação.

Deste modo, a procura no mercado da Domótica é condicionada por um conjunto de argumentos contraditórios, no sentido em que uns favorecem e outros contrariam o aumento da procura.

Assim, os principais argumentos contrários ao desenvolvimento do mercado são os seguintes:

- De momento, não existem no mercado soluções a custos que proporcionem a proliferação da Domótica, já que não são acessíveis à classe média baixa, que constitui a maioria da população ocidental;
- A forte complexidade dos sistemas existentes e o temor de invasão da privacidade dos residentes têm funcionado como um entrave à procura;

- A imaturidade das tecnologias de suporte, com a conseqüente volatilidade que gera cepticismo no mercado – de momento, as tecnologias são difíceis de integrar e a indústria encontra-se fragmentada, não existindo fornecedores com a capacidade de fornecerem a totalidade de produtos e serviços;
- Dificuldade de entendimento entre consumidores, projectistas de sistemas domóticos e fabricantes de equipamentos, sendo bem patente a dificuldade de percepção, por parte dos projectistas e fabricantes, das verdadeiras necessidades dos consumidores, os quais, por outro lado, não estão suficientemente esclarecidos sobre os potenciais benefícios dos sistemas, persistindo receios relativos a dificuldade de operação, baixa fiabilidade e robustez, perda de privacidade e outros problemas éticos;
- A rápida evolução dos estilos de vida, criando novas exigências funcionais, dificulta a consolidação na especificação dos sistemas – aquilo que o que hoje parece ser importante, amanhã já não tem interesse – o que, com a volatilidade das tecnologias de suporte, tem levado a confusão ao consumidor.

Todos estes problemas, e muitos outros, têm dado azo a vários fracassos comerciais e a retrocessos, como em França, onde as previsões de crescimento eram muito optimistas no início da década de noventa [Gann99].

Por outro lado, para favorecer a evolução do mercado, as exigências mais frequentemente expressas pelos utilizadores são as seguintes:

- Os sistemas deverão ser simples de utilizar, sendo acessíveis à totalidade dos elementos de um agregado familiar através de uma interface humana interactiva gráfica;
- Outra característica amplamente apreciada é a modularidade dos sistemas, que possibilita ampliar as suas funcionalidades, de acordo com as disponibilidades financeiras, desejos e necessidades;
- Apesar da intrínseca volatilidade das tecnologias utilizadas, estes sistemas deverão permitir uma actualização funcional que os mantenha adequados a novos desafios e necessidades;

- É amplamente apreciada a possibilidade de ligação do sistema domótico à rede informática da habitação, a fim de permitir o controlo da habitação a partir de dispositivos pessoais (computadores, PDA, telefones móveis), quer no interior da habitação, quer remotamente;
- Os sistemas deverão possuir a capacidade de se poderem adaptar, sem dificuldade, a todos os utilizadores, funcionando com base na definição de cenários/perfis funcionais;
- A facilidade de instalação deverá constituir ser um argumento fundamental – minimizando os impactos de obras a realizar, sobretudo para o mercado das casas já habitadas – com recurso extensivo a tecnologias de comunicações sem fios;
- Um bom serviço de assistência pós-venda, cuja ausência frequente tem prejudicado a aceitação da Domótica.

#### **2.3.3.3 A Envolvência de Mercado**

Uma análise de mercado não ficaria completa se não fossem considerados os seguintes factores condicionantes do meio envolvente:

- A situação económica do País que, num futuro próximo, deverá condicionar a capacidade e/ou o interesse em instalar sistemas de Domótica, concentrando-se o mercado no que é estritamente necessário;
- O estabelecimento de protocolos de comunicações que funcionem como verdadeiras normas a nível mundial tem sido limitado, o que contribui para o insucesso da Domótica devido à dificuldade de integração de dispositivos;
- A ausência de políticas estratégicas das administrações públicas (locais, nacionais e europeia), condicionando o desenvolvimento de um mercado com a escala requerida, mormente pela normalização deficitária sobre instalações de sistemas domóticos, que os chega a colocar em situação ilegal.

### **2.3.4 Factores Chave para o Desenvolvimento do Mercado**

O mercado da Domótica não está desenvolvido, contrariando as previsões de há uma ou duas décadas atrás. Após uma série de fracassos comerciais, as perspectivas actuais parecem favoráveis, em resultado de um balanço entre os factores que constituem obstáculos e os que favorecem o desenvolvimento deste mercado, como segue:

#### A – Obstáculos para o avanço do mercado:

- Mercado desequilibrado, principalmente conduzido pela oferta e não pela procura – baixa procura pelo grande público, com enorme desconhecimento do conceito, e das suas vantagens e possibilidades;
- Uma grande parte dos utilizadores potenciais são pessoas que ainda não fazem uso sistemático de tecnologias informáticas [Pragnell00] – as gerações mais novas possuem mais hábitos “tecnológicos”, com um maior potencial de adesão aos sistemas domóticos;
- No mercado imobiliário – muito tradicional –, a valorização de fogos habitacionais em consequência da introdução de sistemas domóticos não é relevante, de momento;
- A existência de um mercado de equipamentos escasso, com custos demasiado elevados para as expectativas dos proprietários – para mais, um mercado imobiliário fortemente condicionado pela especulação conduz à instalação do considerado estritamente necessário;
- Incerteza sobre uma futura unificação dos protocolos de comunicação existentes para suportar sistemas domóticos.

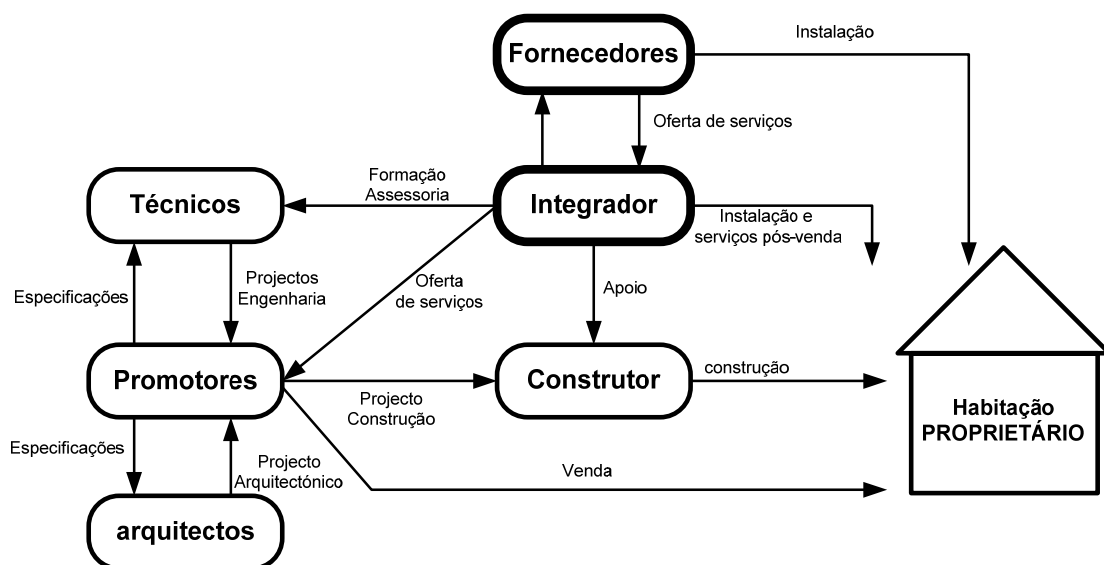
#### B – Catalisadores de mercado

- A existência de um interesse claro em algumas aplicações sectoriais em Domótica, de que é principal exemplo os alarmes de intrusão, e que poderão constituir uma porta de entrada a outras vertentes de aplicação;
- O crescente consumo, nas sociedades ocidentais, em actividades de lazer e entretenimento, constitui um bom indicador;

- As alterações sociais e demográficas, decorrentes da existência de um maior número de idosos, a par de novas actividades dos jovens;
- Lentamente embora, a Domótica vem sendo considerada como elemento diferenciador, por parte de alguns promotores imobiliários;
- Os problemas ambientais, e as políticas restritivas ao nível da gestão de energia;
- O potencial de serviços que se possam auferir através da utilização de sistemas domóticos em conjunto com as vulgares TIC.

## 2.4 MODELOS DE NEGÓCIO

Já há algum tempo que existem soluções disponíveis no mercado para a concepção de sistemas de Domótica com base em tecnologias estáveis, como nos casos do X10, do EIB, e do LonWorks (informação sobre estes encontra-se no ANEXO A – Tecnologias), embora o mercado não se tenha desenvolvido o suficiente. Actualmente, assiste-se a uma mudança de paradigma na abordagem da Domótica, em função de dois factores: (i) as recentes inovações nos protocolos de comunicação para a automação, que serão tratadas ao longo desta tese, e (ii) não menos importante, o desenvolvimento da própria ideia de “casa inteligente”, conceito que está intimamente associada às tecnologias da informação e comunicação.



**Figura 2-4** Resumo das interações dos vários intervenientes no processo da construção de uma habitação domótica

O conceito de “casa inteligente”, como já referido anteriormente, poderá contribuir em grande medida para a *massificação* da Domótica. Todos sabemos, e está documentado [INE05], que a adesão às tecnologias da informação e comunicação (computador pessoal + Internet) está em forte crescimento nas sociedades ocidentais. Este contacto primário com as tecnologias servirá para desmistificar e aliciar as populações para novos desafios, desta vez relacionados com a automatização da habitação. Deste modo, também estão a surgir novos actores em mercados imobiliários sofisticados, cujos modelos de negócio vão além dos serviços tradicionais, que, enquanto agentes especializados, estabelecem pontes entre os vários intervenientes no mercado – Figura 2-4 [Stefan05].

### **2.4.1 Intervenientes no Mercado**

Na abordagem clássica do mercado de habitações novas, existem quatro elementos fundamentais para o mercado da Domótica: (i) o utilizador e proprietário da habitação, (ii) o promotor imobiliário, (iii) o instalador e (iv) os fornecedores e vendedores de equipamentos.

Todos estes intervenientes surgem no mercado com competências distintas: os vendedores parecem mais habilitados para falar sobre as potencialidades da Domótica, realizar demonstrações e vender os produtos, e os instaladores surgem como especialistas na montagem dos sistemas, na integração dos vários subsistemas e na parametrização e configuração das várias aplicações.

Ora, habitualmente, o utilizador estabelece todos os contactos apenas com o promotor imobiliário que, geralmente, não reúne as competências desejadas para ser o correcto interlocutor com o utilizador. De facto, o promotor imobiliário possui razões várias para a inclusão de sistemas domóticos nas suas promoções, em função de factores espúrios como a localização, a presença na região de outros promotores, a configuração das habitações, etc, com o objectivo último de destacar os seus empreendimentos relativamente à concorrência directa, por ocasião da venda, tantas vezes não cuidando da correcta instalação dos equipamentos nem do serviço pós-venda.

## 2.4.2 Novos Intervenientes no Mercado

A Domótica, numa perspectiva profissional e moderna, constitui uma área de conhecimento muito vasta e complexa, abrangendo uma ampla gama de serviços funcionais, os quais são executados por diferentes subsistemas, normalmente baseados em distintas tecnologias. Vista pelo lado do mercado, também não deixa de ser complexo, uma vez que este envolve um conjunto de figuras desempenhando papéis complementares, como acima referido. Assim, um grande contributo para o mercado da Domótica deverá ser dado pelo integrador de sistemas, enquanto agente intermédio, fazendo a ponte entre fornecedores e consumidores finais.

### 2.4.2.1 O Integrador

Para além de ser amplamente necessário conhecer e compreender as necessidades do utilizador final, as três fases de *domotização* – o projecto, a instalação e a configuração de sistemas domóticos – requerem profundos conhecimento sobre: (i) as tecnologias envolvidas, (ii) as técnicas e ferramentas para a integração dos vários subsistemas, (iii) os métodos de instalação na estrutura do edifício, e (iv) a manutenção dos sistemas. Dada esta necessidade de tão profunda especialização, o mercado só poderá emergir, com o vigor desejado, se surgir uma nova personagem no contexto do mercado imobiliário: o integrador residencial. O facto de, actualmente, não existirem no mercado entidades que reuniam todas as competências é um facto condicionador da evolução do mercado.

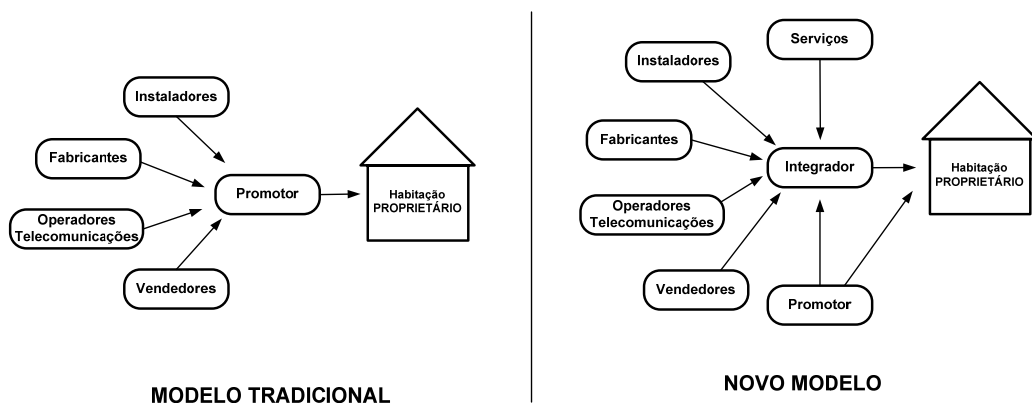


Figura 2-5 O Papel do integrador

Assim, o papel desta figura será o de fazer a ponte entre os intervenientes clássicos do mercado – os fornecedores de dispositivos e conteúdos, e o consumidor final –, oferecendo soluções sobre aplicações e funcionalidades, efectuando a configuração personalizada dos sistemas e a sua instalação e, ainda, fornecer assistência pós-venda, como se ilustra na Figura 2-5.

## **2.5 A INTEGRAÇÃO**

Já não existem dúvidas sobre a necessidade dos vários sistemas existentes na habitação *domotizada* estarem integrados. Esta noção está associada à capacidade dos vários sistemas poderem comunicar entre si, trocarem informação e colaborarem para atingirem um objectivo comum [Nune95]. A integração pode traduzir-se nas seguintes vantagens:

- Melhor aproveitamento dos recursos existentes e uma maior eficácia na sua utilização, evitando redundâncias de funções e equipamentos (e.g., os detectores de presença podem ser partilhados pelos sistemas de detecção de intrusão e pelo sistema de iluminação);
- Oferece a capacidade de correlacionar informação, de a processar e otimizar as decisões;
- A importante possibilidade de existir uma interface única para os diferentes sistemas da Domótica, o que se traduz numa utilização mais simplificada, sem a necessidade do utilizador ter que aprender diferentes formas de interacção, nem de conhecer as particularidades de cada sistema;
- Reacções mais rápidas e coordenadas (e.g., se for detectado um incêndio, podem ser desencadeadas acções ao nível dos outros sistemas);
- Novas funções e serviços que resultam da interacção entre os sistemas.

Contudo, a integração também poderá conduzir a prejuízos, ou a aspectos menos positivos. De facto, em algumas situações poderá ocorrer um subaproveitamento de determinadas características específicas dos sistemas, em resultado de deficiente integração, ou poderão surgir problemas de operação de difícil diagnóstico, como resultado de maior complexidade do sistema global; ou, ainda, outra situação menos interessante poderá surgir em casos em que a legislação condicione a integração dos

sistemas, como acontece em alguns países, em que o sistema de detecção de incêndio deverá estar obrigatoriamente separado e isolado.

Em suma, para atingir a integração de dois ou mais sistemas é necessário resolver três tipos de problemas [Bruno01], [Nune95]:

- Garantir a interligação física, isto é, garantir a compatibilidade ao nível da camada física e da camada de ligação [ISO84] – a melhor solução é a cablagem estruturada [Nune95] para as habitações novas, muito embora seja previsível a crescente utilização do rádio, e, para as habitações já existentes, as comunicações via rádio e *power-line* parecem constituir as melhores opções;
- Assegurar que os dispositivos consigam dialogar (utilizar uma linguagem comum), pois a integração dos sistemas é feita com base em protocolos de comunicação e estes são, normalmente, estruturados em camadas de acordo com o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) da ISO (*International Standards Organization*) [ISO84], [Bruno01], onde cada camada (de 7) utiliza serviços da camada abaixo e disponibiliza serviços à camada acima;
- Assegurar a cooperação mútua entre os vários sistemas, para que as funções de um determinado sistema possam tirar partido das funções realizadas pelos outros – tal requisito só poderá ser satisfeito se existir compatibilidade ao nível da camada de aplicação (camada OSI número 7).

## **2.6 FUNÇÕES E SERVIÇOS DA DOMÓTICA**

O verdadeiro valor para um utilizador de uma instalação de Domótica, para além do prestígio e estatuto social, são as funções e serviços de que pode desfrutar: uma função é uma acção que se implementa com um determinado equipamento ou sistema, e um serviço pressupõe a entrada em cena de um novo actor que, regra geral, é uma empresa que permite o acesso, a manutenção ou a gestão de uma determinada função.

Numa casa *domotizada* podemos definir quatro tipos de sistemas: (i) o sistema de automação, que integra os sistemas electrónicos e eléctricos susceptíveis de serem

controlados, (ii) o sistema de segurança, (iii) o sistema multimédia, e (iv) o sistema de comunicações.

## **2.6.1 A Automação (Visão Clássica da Domótica)**

Este grupo funcional constituiu a primeira abordagem da Domótica. Presentemente, a automação respeita aos sistemas e equipamentos que desempenham as funções de controlo e automatização da habitação, e não já a todos os sistemas electrónicos e eléctricos susceptíveis de serem integrados numa habitação (segurança, entretenimento, comunicações, etc.). As principais aplicações que se enquadram neste grupo são funções de gestão da energia, o conforto, a segurança e a protecção. O objectivo fundamental deste sistema é o de incrementar a qualidade de vida dos utilizadores, bem como conseguir gerir a infra-estrutura com critérios de economia de água e de energia.

### **2.6.1.1 Gestão da Energia**

A exigência na optimização dos consumos de energia é uma realidade cada vez mais pretendida. As aplicações que se enquadram neste âmbito são basicamente orientadas para a racionalização dos consumos domésticos de energia (energia eléctrica, gás e fuelóleo), atendendo a critérios diversos, de que os mais comuns são a ocupação da habitação, os tarifários da energia, a potência eléctrica contratada, etc.

#### **2.6.1.1.1 A Climatização**

A instalação dos sistemas de climatização (aquecimento, arrefecimento ou ambos) na habitação deve permitir a existência de zonas com regulação e programação independentes – normalmente, dentro de uma qualquer habitação, existem formas de uso e condições térmicas diferentes, que devem requerer gestão diferenciada, com capacidade de programação distinta para cada uma das diferentes áreas. Esta função traduz-se num maior nível de conforto global, por assegurar as temperaturas desejadas por cada utilizador em cada área, para mais associada a uma redução no consumo de energia, desde que programável com base em perfis de temperatura.

Um perfil de temperatura é caracterizado pela discriminação temporal da temperatura pretendida para uma determinada área, que é previamente programada pelo

utilizador. Os requisitos e formas de programação mais comumente praticados são os seguintes:

- Um nível de temperatura de conforto rondando os 21 °C, como estado normal de funcionamento enquanto os habitantes permanecem na área; se a climatização for *zonificada*, e como forma de racionalização de energia, só as zonas em uso deverão estar a esta temperatura;
- Um nível de temperatura de economia, que rondará os 18 °C, a manter durante as ausências por curtos períodos de tempo, ou durante os períodos de descanso;
- Um nível de temperatura de anti-congelamento, que rondará os 5 °C, a manter nas ausências prolongadas no decurso da estação fria, com o objectivo de evitar que a água congele nas canalizações e ocorram rupturas nestas.

Claro que o utilizador tem a possibilidade de alterar, em qualquer instante, a programação da temperatura para as várias zonas climatizadas, em sintonia com as suas necessidades pontuais – por exemplo, em caso de regresso antecipado a casa, será interessante poder alterar a temperatura de economia para o nível de conforto: com esta funcionalidade, o sistema de climatização segue o programa, mantendo o perfil de temperaturas nele descrito, mas, sempre que solicitado pelo utilizador, transita para outro regime de funcionamento, até regressar ao perfil previamente estabelecido. Isto mais não é do que permitir a sobreposição expressa (manual) de requisitos e de funções de comando (*override*), que é característica dos sistemas de automação industrial.

#### ***2.6.1.1.2 A Programação de Equipamentos Domésticos***

A função de ligar e desligar equipamentos domésticos, tais como máquinas de lavar roupa ou loiça, através da programação prévia de perfis, poderá permitir a racionalização da energia gasta na sua operação. Assim, a existência de equipamentos domésticos cujo uso possa ser independente do horário poderá trazer algumas vantagens económicas para o utilizador, pois o sistema de automatização poderá ligá-los durante o período de vazio e mantê-los desligados durante as horas cheias, em caso de tarifa bi-horária.

Também, a função autónoma de ligar ou desligar cargas eléctricas em função dos consumos instantâneos poderá ajudar a gerir a potência contratada, permitindo contratar potências inferiores, com menor custo. Neste quadro de funcionamento, sempre que a potência total das cargas eléctricas ligadas é superior à potência contratada, o sistema poderá desligar os circuitos com as cargas de menor prioridade de funcionamento, a fim de evitar o corte de fornecimento por disparo da protecção de entrada da instalação eléctrica.

### **2.6.1.2 O Conforto**

As aplicações que se enquadram dentro desta área funcional possuem uma finalidade baseada na simplificação de algumas tarefas e no incremento das possibilidades de controlo, com vista a criar novos modelos de utilização para o utilizador, potenciando o seu conforto. Não se podendo falar de conforto sem referir o sistema de climatização, a decisão de o incluir na secção anterior de racionalização da energia deveu-se aquele ser o grande responsável pelo consumo de energia nas habitações.

#### **2.6.1.2.1 A Iluminação**

A forma de acender, apagar e regular a intensidade dos pontos de luz, na habitação, pode ser feito de forma automática, permitindo um vasto conjunto de possibilidades de controlo para satisfação das necessidades dos utilizadores – claro está que o sistema sempre deverá permitir que o controlo da iluminação possa continuar a ser efectuado manualmente. A iluminação deverá poder ser regulada em função da luminosidade exterior, evitando que se ligue a luz sem que exista verdadeira necessidade, e, de igual modo, o sistema fazendo ligar a luz sempre que o nível de luminosidade baixe em relação ao nível programado. Outra possibilidade consiste na gestão da luminosidade de determinada divisão em função da presença de pessoas, cujo interesse resulta potenciado através da partilha de informação relativa a controlo de acessos de um subsistema de segurança cobrindo a mesma área.

Ainda, outras funções da automatização são as seguintes:

- A possibilidade de corte geral da iluminação, com vantagens de poupança energética em situações em que ninguém está em casa;

- A temporização dos vários pontos de luz, particularmente importante em famílias com crianças pequenas.

#### **2.6.1.2.2 Cenários**

Uma capacidade muito apreciada pelos utilizadores deverá ser a flexibilidade na criação de cenários, pelo aumento de conforto e segurança, e pela poupança de tempo gasto na configuração rotineira do ambiente desejado [Javier05]. Esta funcionalidade poderá ser um ponto-chave no *marketing* e promoção da Domótica, uma vez que o utilizador poderá, com um pequeno número de acções sobre o sistema, dar satisfação aos seus requisitos de conforto e segurança. Deste modo pode-se (re)criar um sem número de “modos de vida” dentro da sua habitação, de que são exemplos típicos os seguintes:

- “*Noite*”: apaga as luzes da casa, com excepção da iluminação exterior, e reduz a iluminação dos quartos para o nível de luz de presença; fecha as persianas, arma os alarmes de detecção de intrusão e coloca o sistema de climatização no modo de poupança de energia;
- “*Acordar*”: as acção tomadas por este cenário poderão ser o apagar da iluminação de jardim, subir as persianas dos quartos, colocar o sistema de aquecimento em conforto (no Inverno poderá subir a temperatura das casas de banho para 22 °C), desligar o alarme de intrusão.
- “*Sair de casa*”: o sistema deverá ligar os alarmes, desligar todos pontos de luz, colocar o sistema de climatização em modo económico, baixar as persianas para 50%, e, próximo da hora de chegada a casa, ligar o sistema de climatização no modo de conforto.
- “*Entretenimento*”: o sistema poderá baixar as persianas e/ou reduzir a intensidade da iluminação da sala.

#### **2.6.1.2.3 Controlo e Regulação de Sistemas e Instalações**

Para além da programação horária dos equipamentos e instalações domésticas no quadro de racionalização do consumo de energia, é possível automatizar o arranque e a paragem destes em função de outros critérios, sendo que as funcionalidades de controlo remoto dos equipamentos da habitação através de telefone ou ligação de Internet –

permitindo preparar o conforto da habitação antes de chegar a casa – representa um forte factor no *marketing* da Domótica, em particular cativando pessoas habituadas a utilizar as tecnologias da informação e comunicação.

## **2.6.2 Os Sistemas de Segurança**

A segurança constitui uma preocupação crescente, sendo cada vez mais os interessados na Domótica que colocam esta função no topo das suas prioridades, frequentemente com a consequência de subsistemas domóticos para segurança serem aplicados de forma isolada. Contudo, esta perspectiva por ora limitada da Domótica limita qualitativamente o seu crescimento, também traduz uma oportunidade para um futuro de integração de outros serviços.

São duas as áreas de serviços de segurança prestados por estes sistemas: (i) a segurança (detecção de intrusão e pânico), e (ii) protecção (alarmes técnicos de detecção de incêndio, fuga de gás, fuga de água, etc.).

### **2.6.2.1 A segurança – O Sistema de Intrusão**

A intrusão é, sem dúvida, a ocorrência mais perturbadora para os habitantes de uma casa. Os sistemas domóticos permitem articular a informação entre dispositivos variados, de modo a evitar e/ou dissuadir tentativas de intrusão e, caso esta venha a acontecer, minimizar os riscos para quem nela se encontra. As funções mais comuns são:

- Abertura e fecho criterioso de portas e janelas, de modo a facilitar a fuga e limitar os movimentos de um intruso no interior da habitação;
- Simulação de presença durante períodos de ausência, através da operação concertada de luzes e estores;
- Intimidação por iluminação, fecho dos estores, ligação do sistema de rega e monitorização do intruso através do sistema interno de televisão;
- Ligada a uma central receptora de alarmes, suportando um serviço de vigilância remota.

### **2.6.2.2 A segurança Pessoal e “Emocional”**

Na habitação podem existir botoneiras de pânico ou ajuda, para activar alarmes locais ou remotos através de SMS (*Short Message Service*), correio electrónico, etc. Para pessoas idosos, que habitem sós ou que estejam longos períodos em solidão, a existência deste tipo de alarmes poderá ser importante em caso de queda ou de doença súbita.

Por outro lado, a capacidade de interacção remota com a casa, permitindo conhecer e comandar eventos de vária ordem envolvendo equipamentos mas, também, pessoas, sejam elas familiares (filhos, avós, etc.) ou prestadores de serviços (assistência técnica, jardineiro, mulher a dias, etc.).

### **2.6.2.3 Protecção – Alarmes Técnicos**

Os alarmes técnicos detectam incêndios, fugas de gás e água ou outras anomalias de funcionamento de equipamentos que possam por em risco a segurança de pessoas e bens [Javier05], [Alve03], emitindo sinais de alarme – sonoros, mensagens SMS, de correio electrónico, etc. – e desencadeando acções no sentido de minimizar os prejuízos.

Uma situação de incêndio é detectada pela presença de fumo ou por súbita subida da temperatura. As acções levadas a cabo por este sistema vão no sentido de informar as pessoas que permaneçam na habitação sobre o sinistro, facilitar a saída das mesmas do seu interior, abrindo as persianas e fechaduras de portas, e avisar terceiros como vizinhos e bombeiros.

A detecção de fuga de combustíveis gasosos ou líquidos reveste-se de elevada importância, constituindo situações de elevadíssimo risco potencial, particularmente no caso de gás canalizado que, sendo inodoro, requer dispositivos próprios para a sua detecção. As acções a tomar por um sistema doméstico deverão incluir a sinalização e localização da origem da fuga e, sobretudo, o corte de abastecimento. Para além destas funções de alarme e reacção rápida, o sistema poderá cortar automaticamente o abastecimento de gás quando se registre ausência prolongada de moradores.

Em alternativa ao gás, especialmente em habitações com previsões de consumos de energia elevadas, é cada vez mais frequente a utilização de combustíveis líquidos O

sistema de detecção de fuga de combustíveis líquidos, em situação de fuga, deverá sinalizar de imediato a ocorrência e desligar a caldeira de aquecimento.

As fugas de água na habitação acarretam grandes transtornos pessoais e prejuízos materiais. Os dispositivos de detecção de inundação, em geral localizados nas cozinhas e casas de banho, ao detectarem a fuga deverão suspender o abastecimento de água e emitir sinalização adequada. Outra função que o sistema poderá desempenhar será o de detectar pequenas fugas de torneiras e autoclismos, com base na comparação de consumos durante os períodos de permanência e de ausência dos moradores na habitação.

### **2.6.3 Os sistemas multimédia**

Os serviços avançados de telecomunicações e os sistemas multimédia – para a captura, o armazenamento e a distribuição de áudio e vídeo para entretenimento – gozam de enorme popularidade e aceitação nas sociedades ocidentais, entrando nas nossas casas em associação às TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação).

No quadro do multimédia, as funções e serviços mais comuns são os seguintes:

- Difusão de áudio/vídeo (*multi-room*);
- Cinema em casa;
- Gravadores de conteúdos;
- Televisão interactiva;
- Jogos em rede.

Os sistemas de telecomunicações contemplam a troca de informação de pessoas, entre si e com equipamentos domésticos, quer aquelas estejam no interior ou no exterior da habitação, com base em infra-estruturas de comunicação de voz e dados. As funções e serviços mais comuns são:

- Serviço de mensagens instantâneas;
- Telefonia sobre IP;
- Videoconferência;
- Telemedicina.

## **2.7 O CONCEITO DE REDE DOMÉSTICA**

Já não existe a menor dúvida que a Internet abriu um novo fôlego na forma de encarar as tecnologias como parte integrante das nossas casas e das nossas vidas: com ela surgiram novos serviços e novas aplicações, que estão a lançar novas oportunidades de mercado para a Domótica. Neste quadro, o conceito mais comum de rede doméstica, [Zahari04], [Gann99], [Dutt99], [stefan05] define-a como toda a infra-estrutura necessária para realizar a integração dos vários subsistemas que compõem a casa *domotizada*.

Tal não significa que a rede doméstica seja constituída por um único sistema de comunicações, até porque, em geral, é composta por dois sistemas complementares: (i) o sistema de automação e controlo, e (ii) o sistema de transferências de dados e entretenimento – esta clara separação está relacionada com a quantidade de informação envolvida nas comunicações, o consumo de energia por parte dos elementos envolvidos, e os períodos de latência máximos admissíveis para as mensagens.

### **2.7.1 Meios de Transmissão**

As redes domésticas poderão ser classificadas em três categorias, de acordo com o meio físico de transmissão que utilizam para estabelecer as ligações entre os vários elementos do sistema: (i) interligação exclusiva por meio de cabos, (ii) ligações com total ausência de cabos (radiofrequência e infravermelhos), e (iii) sistemas híbridos, que fazem uso das duas formas de ligação, retirando, desta forma, o melhor proveito de cada uma.

#### **2.7.1.1 Transmissão por Cabo**

Os sistemas cablados podem utilizar os cabos usados para a distribuição de energia eléctrica na habitação – PLC (*Power Line Carrier*) – ou utilizarem cablagem estruturada independente. A comunicação sobre *power line* é facilmente instalável e, por isso, económica, mas apresenta vulnerabilidade ao ruído eléctrico na “linha” tem largura de banda muito limitada [Gerald]. Já os sistemas baseados em cablagem estruturada apresentam maior largura de banda e são mais seguros, mas são mais

dispendiosos e têm instalação mais complexa, sobretudo se a sua colocação não houver sido previamente planeada.

### **2.7.1.2 Radiofrequência**

Com base em dispositivos de comunicação por radiofrequência de baixa potência, uma nova oportunidade para a Domótica poderá existir, desde que aqueles satisfaçam os seguintes requisitos: (i) elevada flexibilidade, (ii) capacidade de integração, e (iii) baixo custo de instalação. Havendo capacidade para que tal aconteça – este trabalho realiza esse potencial –, o sucesso da Domótica ficará dependente da adopção de tecnologias de comunicação sem fios. De facto, a grande vantagem desta tecnologia reside na flexibilidade que acrescenta aos sistemas, para mais com a mobilidade e a capacidade de dispersão espacial de tais dispositivos, que decorre da sua alimentação por bateria local, assim realizando o conceito puro de “sem fios”.

### **2.7.1.3 Infravermelhos**

A comunicação por infravermelhos apresenta, relativamente à baseada em radiofrequência, o inconveniente de apenas funcionar em “linha de vista”, sendo totalmente direccionais e sem a capacidade de contornar ou atravessar obstáculos. Isto traduz-se na geral impossibilidade de aplicação desta tecnologia para assegurar as comunicações numa habitação, tal como aqui se preconiza.

## **2.7.2 Tecnologias para o Controlo e a Automação de Edifícios**

As tecnologias englobadas neste grupo são as que permitem a troca de mensagens curtas e com baixos tempos de latência, integrando sistemas típicos de instrumentação e controlo automático. Grande parte destas tecnologias foi desenvolvida nas décadas de oitenta e noventa do século passado, sendo correntemente designadas por *fieldbus* [Bruno01], [Berge02] no quadro de aplicação que constitui a sua “vocalização”: a automação industrial. Ainda que aplicadas mais recentemente na automatização de grandes edifícios, elas não foram talhadas originalmente para servir a Domótica, e, embora possuam boas prestações neste domínio, são soluções dispendiosas para um almejado mercado de massa – só a tecnologia X-10, criada de raiz para a

Domótica, tem custos de instalação aceitáveis e apresenta alguma relevância no mercado, embora com capacidades limitadas e, claramente, insuficientes para o futuro.

Do ponto de vista tecnológico, um dos aspectos que tem vindo a caracterizar a Domótica é a existência de uma “guerra de soluções”, como se ilustra no Quadro 2-1 e no ANEXO A – Tecnologias, onde diversas entidades procuram quotas de mercado pela adopção das suas próprias tecnologias e conhecimento, muitas delas provenientes de outros campos de acção, nomeadamente a automação industrial. Esta diversidade de soluções particulares sustentadas por grandes empresas e agrupamentos de empresas tem evitado a normalização na Domótica, com as consequentes incompatibilidades entre soluções oferecidas no mercado – mais recentemente (1996), três grandes europeus juntaram-se para fundir as suas tecnologias e fazer nascer uma nova norma, designada por Konnex (ANEXO A – Tecnologias).

Assim, o mercado actual tem um variado número de sistemas, em que cada um se encontra especialmente orientado para um segmento de mercado específico [auna], com particular relevância para os grandes edifícios de serviços, sem que o mercado da Domótica se possa considerar ocupado – o que existe, ou é limitativo (de insuficiente funcionalidade), ou é excessivo (demasiado complexo e extenso). Uma correcta orientação de mercado deverá visar três campos de aplicação, em que cada deles requer tecnologias próprias: (i) casas novas, (ii) casas já construídas (obras de melhoramento e reabilitação), e (iii) grandes edifícios de serviços.

Nas habitações já construídas, que se julga constituir o grande mercado potencial para a Domótica, os sistemas aplicados são baseados em tecnologia *Power Line Carrier*, dos quais o mais popular é o X-10 (ANEXO A – Tecnologias). A razão da sua popularidade é, certamente, o facto de não requerer obras – evitando custos e incómodos –, apesar das fragilidades que limitaram a sua aceitação generalizada. O surgimento de sistemas baseados em comunicações rádio, operando nas bandas dos 433MHz, 868MHz e 2,4MHz, deverá constituir um novo alento neste segmento de mercado.

**Quadro 2-1 Iniciativas de sistemas para Domótica**

Iniciativa	Origem		Órbita de aplicação
	Promotor	País	
Batibus	Merlin Gerin (schneider Electric)	França	Europa
EIB	Siemens	Alemanha	Europa
EHS	Comissão Europeia	União Europeia	Europa
X-10	Pico Electronics LTD	Reino Unido	Mundial
LonWorks	Echelon	Estados Unidos	Mundial
CEBus	CEBus <i>Industry Council</i>	Estados Unidos	Estados Unidos

Em habitações novas, a utilização de sistemas baseados em cablagem estruturada parece ser a melhor opção – dependendo do tamanho da habitação, estes sistemas podem ser mais ou menos distribuídos –, existindo no mercado algumas soluções relevantes, como o EIB e outros sistemas “proprietários”.

No caso dos grandes edifícios, as exigências são maiores e as soluções baseiam-se em sistemas distribuídos em larga escala, suportados por extensas redes de comunicação. Os sistemas mais utilizados são os que estão indicados no Quadro 2-1, sendo de realçar que na Europa os sistemas mais utilizados são os sistemas EIB, Batibus e EHS.

---

---

# 3

## A ARQUITECTURA DO SISTEMA

### 3.1 INTRODUÇÃO

Não constituindo uma novidade, os sistemas de automação para espaços residenciais não são uma realidade muito presente no nosso quotidiano [Greichen92], apesar de representar um dos casos da mais óbvia realização da computação ubíqua.

No sentido de criar a tão almejada oportunidade para este domínio de aplicação, apresenta-se um novo conceito de arquitectura de sistema para Domótica que, baseando-se num sistema de automação fortemente distribuído mas integrado, tem a capacidade de estabelecer ligações virtuais (ligações de rede) entre dispositivos (interruptores lâmpadas, controladores, etc.), bem como a aptidão para proporcionar altos níveis de integração de informação e, acima de tudo, suportar a definição de “cenários” de funcionamento na linha de abordagem da Instrumentação Virtual.

## 3.2 ENQUADRAMENTO DO SISTEMA

Nos termos conceptuais e no quadro e de objectivos anteriormente traçados, um sistema global poderá ser configurado como se ilustra na Figura 3-1. Assim, este deverá assegurar a integração de diferentes áreas de aplicação em Domótica, bem como suportar o acesso remoto através da Internet, através de relações cliente/servidor entre cada uma das diversas unidades integradoras nas respectivas áreas de aplicação e a unidade integradora, com o recurso a tecnologia OPC (*OLE<sup>4</sup> for Process Control*) [OPC08], [Iwanitz01], [Buhler00], [Kunes01], [Kastner05], [Hadellis02], [Janke99], [Sitao00].

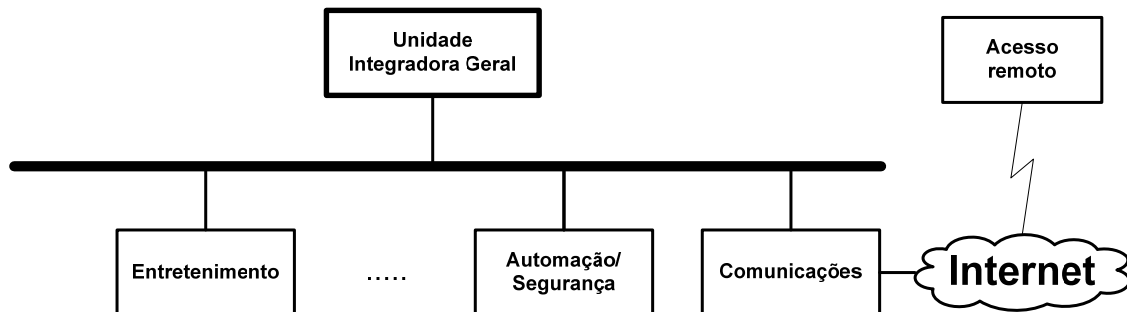


Figura 3-1 Arquitectura geral de um sistema para Domótica

Aqui (Figura 3-1), o conjunto das funções de segurança foi considerado em estreita relação com as de automatização propriamente dita, já que o sistema proposto tem como alvo preferencial o mercado habitacional – salvaguardando, contudo, situações particulares de exigências de segurança e/ou de legislação específica, que possam ditar a existência de suportes separados.

Nesta ampla perspectiva, o objectivo específico do presente trabalho consiste em sustentar uma proposta de sistema para a gestão das funções de automação, consagrando um quadro de grande flexibilidade funcional e de facilidade de integração, podendo ser aplicado enquanto sistema autónomo ou integrado nos sistemas domóticos. Com esse intuito, foi planeada a concepção de uma interface humana com a possibilidade de

---

<sup>4</sup> OLE – Significa *Object Link Embedded* e é uma tecnologia desenvolvida pela Microsoft para proporcionar a comunicação entre aplicações em ambiente Windows.

controlo total sobre todos os dispositivos do sistema, assim como um servidor OPC como *gateway* e interface para os níveis de integração superiores.

Não constituindo uma tendência de mercado no passado, a tendência actual em tornar aberto os sistemas de automação é uma mais-valia importante para a implantação no mercado. Nesta linha, o sistema aqui proposto apresenta dois níveis de normalização: (i) ao nível da estrutura interna, através da norma CANopen [CAN08], [DS301], [Farsi00], e (ii) ao nível das interfaces com outras camadas na hierarquia, com a norma OPC.

### 3.3 PRINCÍPIO BASE DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento do sistema baseia-se na programação por parametrização funcional dos diversos dispositivos integrantes do sistema, no entendimento de que esta constitui a forma mais eficiente, versátil e segura para obter uma interface com o utilizador clara, convival e, sobretudo, potenciadora de geração de cenários de funcionamento, característica tão desejada na Domótica.

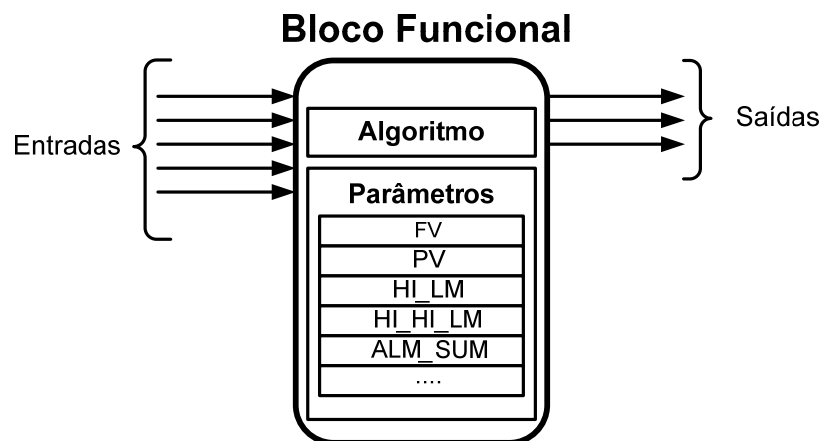
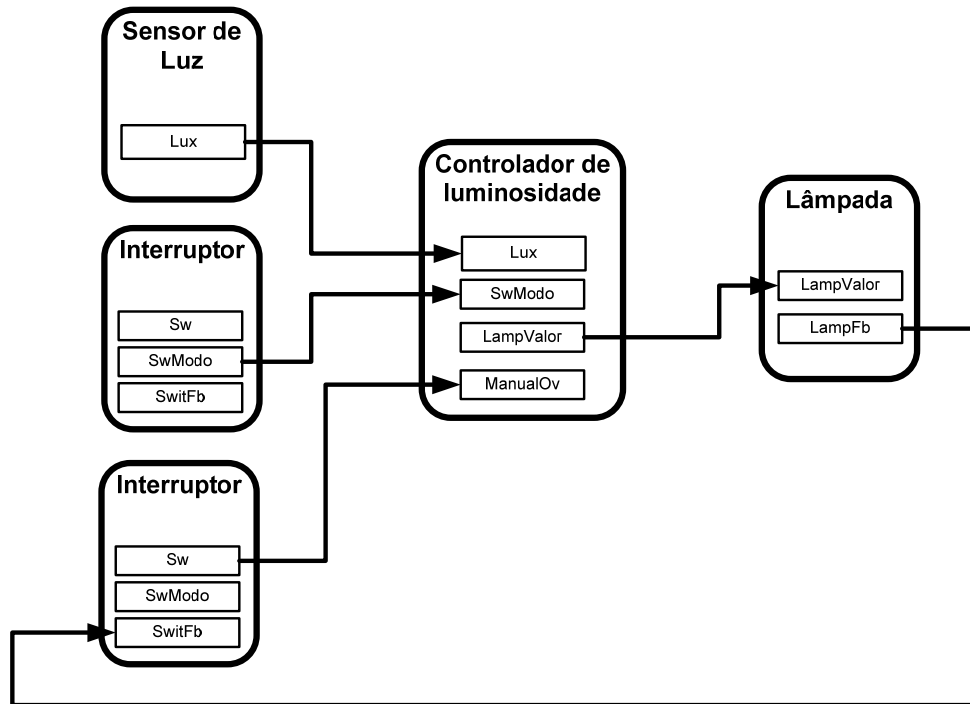


Figura 3-2 Exemplo de bloco funcional (objecto)

Deste modo, os diferentes dispositivos incorporam funções que estão de acordo com o seu padrão funcional no sistema (e.g., interruptores, *dimmers*, sensores AVAC, etc). Como se ilustra na Figura 3-2, estas funções possuem entradas e saídas (*data points*), que são uma representação lógica das interfaces que os elementos da rede possuem [Kastner05]. Estas poderão ser interligadas a outras entradas e saídas de outros

elementos do sistema (Figura 3-3), cabendo aos serviços da rede manter a informação actualizada entre as saídas e as entradas, durante o seu funcionamento. Os critérios de “refrescamento” da informação estão embutidos em cada função e serão alvo de parametrização durante a instalação do sistema.



**Figura 3-3 Exemplo de aplicação baseada em ligações virtuais entre blocos funcionais**

Como referido acima, os blocos funcionais integram parâmetros de configuração, para além dos *data points*, os quais condicionam o funcionamento dos blocos funcionais. Estas possuem uma imagem guardada em memória não volátil e, quando aplicável, também valores de inicialização. Assim, na fase de instalação de um sistema, a grande maioria destas variáveis será carregada com os valores válidos para a aplicação; outras poderão sofrer alterações decorrentes da vontade dos utilizadores, através da re-parametrização durante a entrada em funcionamento de um novo cenário ou necessidade pontual.

### 3.3.1 Dicionário de Objectos e Perfis Funcionais

O dicionário de objectos representa o conceito central da especificação CANopen. Ele fornece, de forma normalizada, a descrição de todas as funcionalidades de um dispositivo (comunicação e aplicação do processo). Esta estrutura preconiza a

descrição de todos os objectos, em termos de formatação, estrutura da informação, endereço lógico e funções a ele associadas.

Na prática, este dicionário constitui uma interface, – Figura 3-4) –, entre a informação dos dispositivos e a rede, estabelecendo a correspondência (significado) entre endereços lógicos (de rede) e endereços físicos (endereços de memória no interior de dispositivos). A ligação entre objectos internos dos dispositivos (interfaces), variáveis ou não, e os objectos de rede transformam esses objectos em objectos especiais (*data points*), com atributos de objectos da rede global. Por serem especiais, o dicionário de objectos adiciona-lhes uma série de características e propriedades, que terão de ser respeitadas durante os acessos.

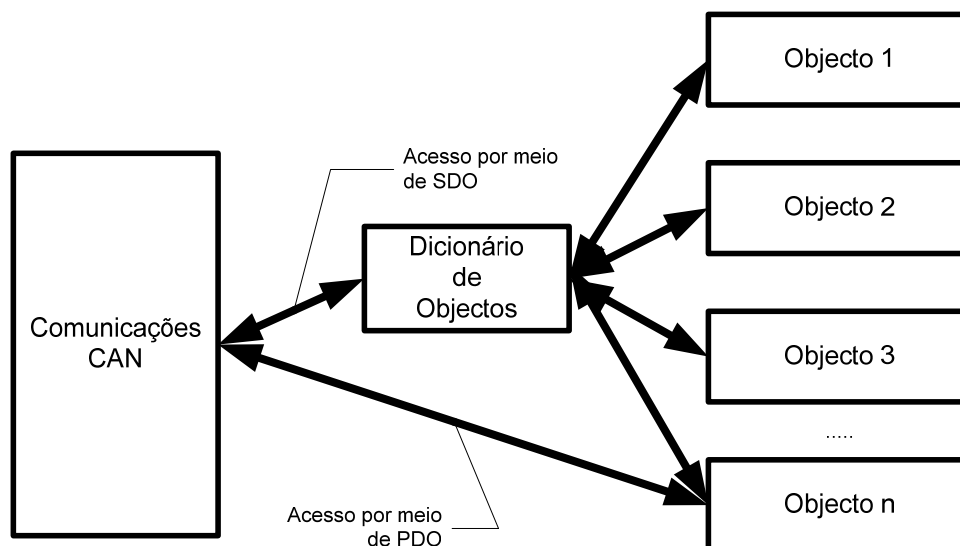


Figura 3-4 Modelo de dispositivo CANopen

### 3.3.1.1 Acesso aos Objectos

O protocolo CANopen possibilita o acesso aos objectos mapeados na rede através de serviços específicos. A fim de tornar possível essa funcionalidade, é necessário que cada objecto do dicionário (pertencente a um determinado dispositivo) tenha um endereço lógico (endereço de rede) único. Esse endereço, em primeira instância, é formado pelo identificador CAN que suporta o protocolo: este pré-endereço identifica o dispositivo que alberga o dicionário alvo. O acesso ao objecto físico, “no interior do dispositivo”, é efectuado com recurso a um endereço com dezasseis bits, que

identifica o objecto, e por um sub-endereço de oito bits que identifica o elemento no objecto, no caso de os objectos serem estruturas de dados.

O protocolo de rede CANopen oferece duas ligações para a transferência de dados: uma do tipo cliente/servidor, através de objectos do tipo SDO (*Service Data Object*) [DS301], e outra do tipo produtor/consumidor, através de objectos do tipo PDO (*Process Data Object*) [DS301]. Uma ligação do tipo cliente/servidor possibilita, a um dispositivo cliente, o acesso ao dicionário de objectos dos outros dispositivos (dispositivos servidores), evocando o endereço e o sub-endereço que identifica o elemento em questão no protocolo de transferência de dados. Na ligação do tipo produtor/consumidor não existe um endereçamento explícito durante o acesso aos objectos, embora, durante o procedimento de configuração da aplicação de rede, seja utilizado o endereço de rede dos objectos a serem transferidos por este serviço. Esta última forma de ligação não possui sobrecarga de protocolos, possibilitando a rápida transferência de dados de acordo com a norma base (CAN) [Bosch91], [Kiencke04].

### 3.3.1.2 Perfis Funcionais

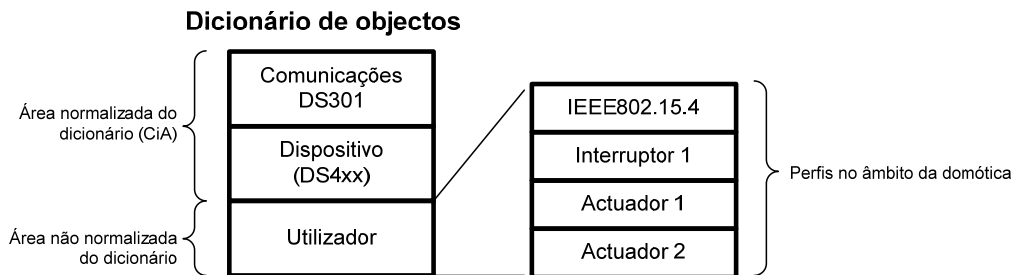
Os perfis funcionais, num contexto de rede CANopen que, por sua vez, é baseado na camada de alto nível CAL (*CAN Application Layer*) [CAN08], [DS102], resultam da atribuição de identificadores CAN aos serviços da camada de alto nível e o mapeamento dos objectos das comunicações (neste caso CAL) e da função de aplicação no dicionário de objectos.<sup>5</sup>

A norma DS301 publicada pela organização CiA (*CAN in Automation*) [CAN08] representa a especificação das comunicações da norma CANopen na forma de perfil, tendo este perfil sido baseado na especificação CAL, como já referido. De igual modo, a CiA dá suporte a alguns perfis funcionais numa vasta área de acção. Naturalmente, a definição de perfis funcionais para os dispositivos passíveis de integrar um sistema doméstico está fora do âmbito deste trabalho, muito embora, e para fins de protótipo, tenham sido definidos alguns perfis no âmbito de um sistema de controlo automático da iluminação.

---

<sup>5</sup> O mapeamento dos objectos só terá sentido se previamente estiverem definidas as aplicações genéricas.

As nossas unidades CANopen possuem um perfil de comunicações, que é obrigatório para todas as unidades, podendo acumular outros perfis opcionais, tais como: (i) perfil de comunicações sem fios para unidades com ligações remotas; (ii) perfis de funções no âmbito da Domótica (e.g., interruptor, actuador de lâmpada, controlador de luminosidade, etc.). O número máximo de perfis dependerá da capacidade dos recursos instalada na unidade (Figura 3-5).



**Figura 3-5 Estrutura do dicionário de objectos das unidades CANopen**

De uma maneira geral, os perfis dos dispositivos correspondem a blocos funcionais (objectos) – Figura 3-2 –, que são estabelecidos de acordo com as aplicações genéricas e interfaces disponíveis. Assim, um bloco funcional é constituído por um conjunto de entradas e saídas associáveis (*data points*), que poderão ser obrigatórias ou opcionais em cada perfil, e por um conjunto de propriedades (parâmetros de configuração), também obrigatórios ou opcionais. É através das propriedades que os dispositivos com o mesmo perfil poderão operar diferenciadamente.

Estes dispositivos não carecem de informação sobre as origens dos dados recebidos, nem dos consumidores dos dados transmitidos – Figura 3-3: quando uma aplicação executa uma alteração numa variável de saída, esta reproduz-se, automaticamente, nas entradas às quais está ligada. As ligações que permitem a criação de ligações virtuais entre dispositivos são conseguidas durante a configuração do sistema (carregamento de cenário), através de ferramenta especialmente desenvolvida para o efeito e que é residente na unidade UIS (ver secção 3.5).

### 3.3.2 O Conceito de Cenário

A Domótica visa a automatização do lar, um espaço pessoal onde temos que nos sentir bem: ao longo do dia, nossa casa vai alterando o seu “estado”, traduzindo as

nossas vontades de conforto em cada instante. Em geral, as características de conforto em cada casa tendem a seguir um padrão diário, correspondendo às rotinas dos respectivos ocupantes; deste modo, faz sentido e é útil definir blocos de estados de funcionamento em dispositivos diversos, bem como a sua evolução temporal: os “cenários”.

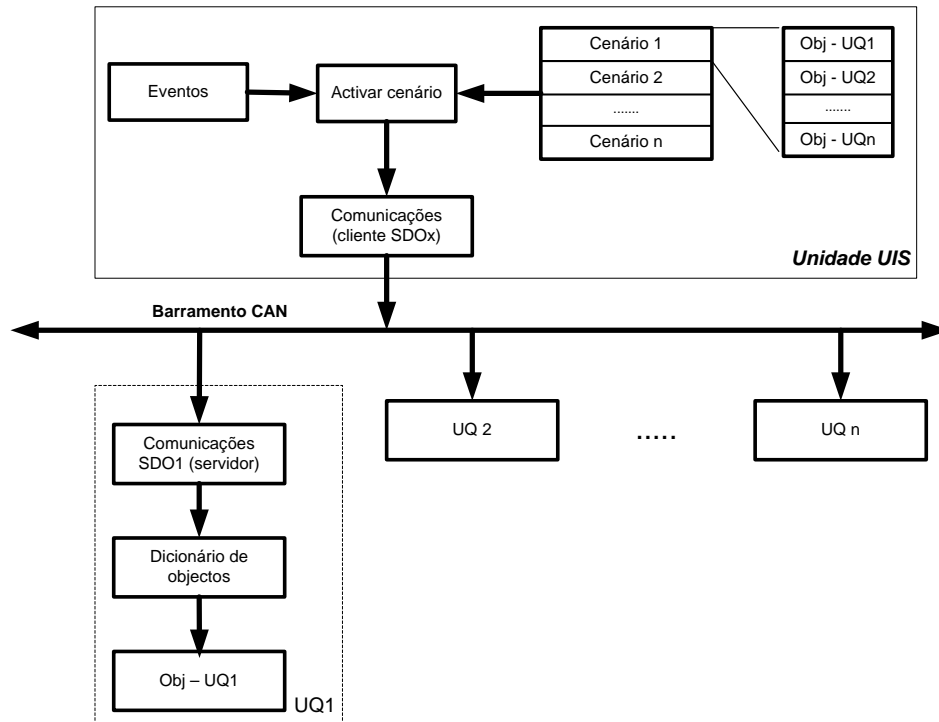


Figura 3-6 Procedimento de programação de cenários

Este conceito de cenário como opção superior para a configuração de funcionamento da nossa habitação constitui, certamente, uma forma aliciante de encarar a Domótica [Cardoso05]. Uma prévia definição de cenários de funcionamento, reflectindo as vontades do utilizador, com a consequente activação por eventos temporizados ou externos, conduz a uma simplificação de manuseamento do sistema domótico, escondendo a complexidade no seu interior. Este é, claramente, um dos objectivo a alcançar com esta proposta de sistema.

O nosso sistema possui uma vocação intrínseca para este modo de funcionamento, pois baseia-se num mecanismo de partilha de dados entre os elementos da rede, os quais poderão ser acedidos de forma expedita por meio de PDO (forma reservada à troca de informação de processo entre unidades com função activa na aplicação de rede), ou por meio de serviços (através de SDO), sendo de acentuar a

especial importância desta. Todas as unidades CANopen são servidores para todos os objectos mapeados pelo dicionário de objectos, cabendo o papel de cliente à unidade integradora e supervisora (UIS).

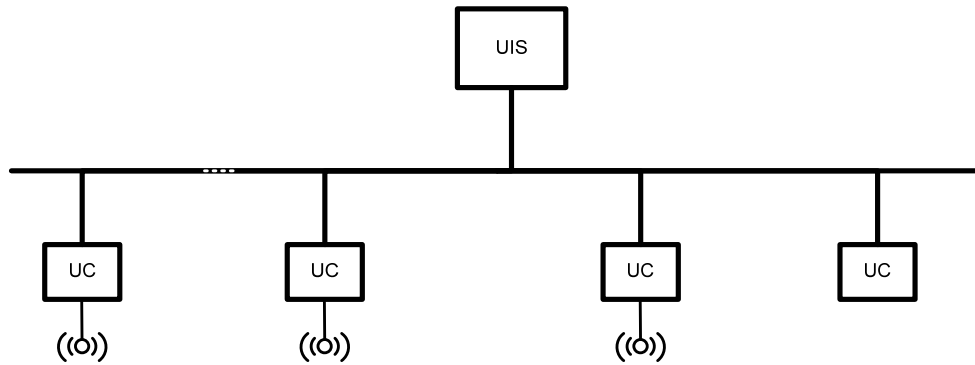
Os cenários são programados e mantidos na unidade UIS, sendo esta unidade um repositório de cenários que, mediante estímulo apropriado – decisão imediata do utilizador, calendarização prévia, ou evento específico – fará o *download* de novo cenário para os objectos residentes nas unidades CANopen dispersas, para um novo comportamento destas unidades, de que resultará num novo estado de funcionamento da habitação (Figura 3-6).

### **3.4 ESTRUTURA DO SISTEMA**

Com o objectivo de desenvolver um sistema que realize um compromisso entre flexibilidade, baixo custo de instalação e alta capacidade de integração, foi definida uma arquitectura modular, com base numa estrutura hierárquica típica dos modernos sistemas de automação baseados em redes *fieldbus* [Bruno05]. Este sistema possui uma estrutura fortemente distribuída, organizada em dois grandes níveis funcionais: (i) o sistema de automação e (ii) sistema de entretenimento (Figura 3-1). Por sua vez, o sistema de automação está, também ele, organizado em dois níveis: (i) nível de supervisão e integração, e (ii) nível de controlo.

A Figura 3-7 sintetiza a nossa visão do sistema de automação. Este necessita ser, obrigatoriamente, extremamente simples de operar, para que qualquer pessoa possa desfrutar das suas funcionalidades. Tal facto só será possível se o sistema possuir uma interface humana gráfica e intuitiva. No nosso sistema, esse papel será desempenhado pela unidade UIS, a qual será desempenhada, também, o papel de *gateway* entre o sistema de automação e os sistemas de mais alto nível (entretenimento e comunicações).

Um dos aspectos que mais moldou este sistema foi o facto de grande parte da actuação sobre os equipamentos e dispositivos domésticos se encontrar localizada nos quadros eléctricos da habitação. Deste facto, resulta a colocação obrigatória de dispositivos nestes locais, incluindo os quadros das áreas confinantes (jardim, arrecadação, etc.), cuja interligação se faz através de rede cablada.



**Figura 3-7** Arquitectura do sistema de automação e controlo

Por outro lado, alguns pontos de actuação e, sobretudo, de entrada (sensores e teclas/interruptores) encontram-se afastados dos quadros eléctricos. Para obviar a esta dificuldade construtiva e para garantir flexibilidade de instalação, recorreu-se a dispositivos remotos integrados através de ligações sem fios (radiofrequência), dispersos pela habitação, junto dos sistemas a monitorizar e/ou controlar.

### 3.5 AS UNIDADES

O sistema é formado por unidades de dois tipos: uma unidade integradora e supervisora (UIS) e diversas unidades controladoras (UC), de hierarquia inferior àquela. A unidade UIS tem como principal função a gestão dos fluxos de informação entre o sistema de controlo e automação e os sistemas de mais alto nível (entretenimento e comunicações), quando existam; de resto, num sistema domótico alargado, a UIS servirá como interface humana local. As funções das unidades UC consistem em medir e actuar sobre os vários equipamentos e dispositivos domésticos.

Cada unidade controladora corresponde a uma rede *cluster tree*, interligando vários dispositivos através de uma rede sem fios. Desta forma, esta unidade não existe enquanto entidade material mas, apenas, como entidade funcional, cuja função consiste em garantir a operacionalidade funcional do conjunto. Estas unidades possuem *data points* que, quando interligados, garantem o funcionamento global do sistema.

### 3.5.1 A Unidade Integradora e Supervisora

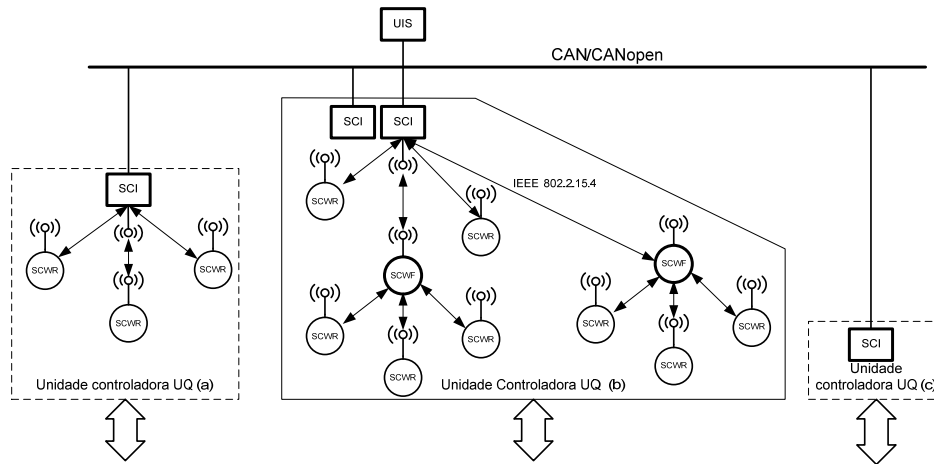
Este sistema de automação pode funcionar isolado, isto é, sem estar integrado num sistema domótico multi-serviço. Para fazer face a esse desafio, o sistema está dotado de uma interface humana residente na unidade UIS (Unidade Integradora e Supervisora). Assim, esta unidade apresenta capacidade de programação de cenários, que entrarão em funcionamento após o *download* de parâmetros para as várias unidades de controlo, assumindo, também, funções de monitorização, arquivo e apresentação de informação.

A UIS está preparada para servir de ponte (*gateway*) entre o sistema de automação e os níveis superiores de integração, quando existam, através de um servidor OPC. A interface com as unidades controladoras será feita por meio de rede CAN/CANopen, onde a UIS desempenha as funções de “mestre”, assegurando a formação e gestão da mesma.

### 3.5.2 A Unidade Controladora

A unidade controladora é uma unidade base do sistema, podendo assumir diferentes configurações físicas – a Figura 3-8 mostra as diferentes topologias que esta unidade pode assumir. As UC podem interagir com os equipamentos eléctricos e electrónicos da habitação somente com os próprios recursos (Figura 3-8 unidade controladora (c)), ou assumir uma topologia distribuída mais ou menos complexa, dependendo da localização das interfaces, da quantidade de *sockets* de ligação disponíveis (Figura 3-8 (a) e (b)), sendo constituída por mais do que uma unidade SCI sempre que seja necessário acrescentar mais funções à unidade controladora (Figura 3-8(b)).

Na maioria das situações, uma unidade deste tipo deverá integrar várias subunidades remotas interligadas por uma rede de comunicações sem fios (*wireless*) (Figura 3-8(a) e (b)). As subunidades que a poderão integrar são: (i) Subunidade Controladora Integradora (SCI), (ii) Subunidade Controladora *wireless* (SCWF), e (iii) Subunidade Controladora *Wireless* (SCWR). A presença de uma subunidade SCI é obrigatória, sendo opcional a inclusão de subunidades do tipo SCWF e SCWR, de acordo com as necessidades.



**Figura 3-8 Estrutura das unidades controladoras**

Dependendo da localização e da necessidade de maior capacidade de IO, estas unidades, cuja unidade base (SCI) se encontra localizada em quadros eléctricos, poderão tomar a forma de uma rede sem fios em forma de *cluster tree*. Desta forma, uma unidade controladora poderá cobrir uma vasta área, não ficando cingida apenas ao quadro eléctrico.

Sendo esta a unidade estrutural do sistema de automação e controlo do sistema domótico proposto, ela tem o papel de gerir todo o *input* e *output*, incluindo a medida de grandezas físicas relevantes para a operacionalidade do sistema, numa determinada zona.

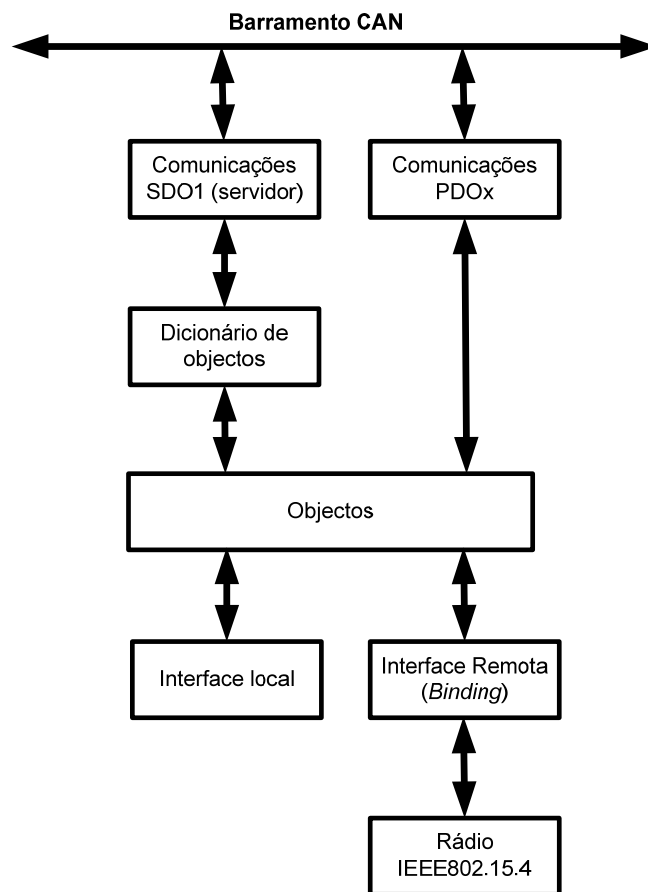
### 3.5.3 A Subunidade Controladora Integradora

Devido à normal e impreterível centralização da energia eléctrica em quadros, é necessário dotar o sistema de unidades com capacidade IO que permaneçam alojadas nos mesmos, e de onde procedam ao controlo dos vários equipamentos e dispositivos domésticos. Estas unidades são designadas por unidade de quadro e apresentam um papel especial no sistema, pois são a base de unidades controladoras (UC). Estas unidades funcionam na maior parte das situações em conjunto com as unidades remotas, exercendo, desta forma, o papel de ponte (*gateway*) entre uma rede cablada e uma rede sem fios.

Do ponto de vista da operacionalidade do sistema, esta unidade desempenha o papel de escravo CANopen, cabendo o papel de mestre à unidade UIS. Desta forma,

estas estão compatíveis com o perfil de comunicações especificado pela CiA DS301 ou EN 50325-4 [CENELEC]. Seguindo uma orientação CANopen, a arquitectura interna destas unidades encontra-se organizada na forma de perfis funcionais, nos quais se encontram especificadas as suas funções.

A capacidade de comunicações sem fios (*wireless*) é facultativa nestas unidades, na eventualidade destas assumirem papéis funcionais que não requeiram acessos remotos. Como participantes nas redes sem fios, estas unidades são FFD (*full function device*), [IEEEStd04], possuindo, por conseguinte, a capacidade de tomar o papel de coordenador de rede (*PAN coordinator*), [IEEEStd04] [Gutierrez04].



**Figura 3-9 Modelo de transferência de dados da subunidade de quadro**

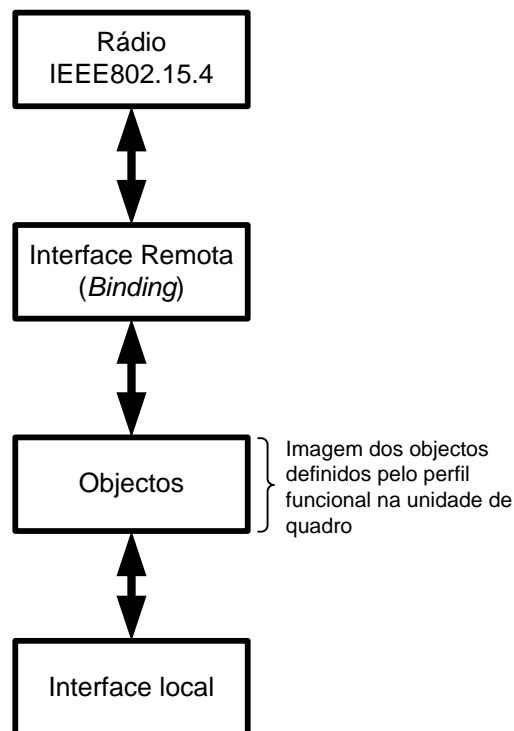
O acesso aos objectos da aplicação é efectuado por meio de rede CAN, pela interface local (I/O) ou, ainda, através da rede sem fios, como ilustrado na Figura 3-9.

### 3.5.4 As Unidades Remotas

Estas unidades são o prolongamento das unidades de quadro, permitindo-lhes descentralizar a sua acção.

#### 3.5.4.1 Função da Unidade Remota FFD

A principal função desta unidade (SCWF) será o de estender o alcance da rede sem fios (*wireless*) encabeçada por uma unidade SCI, procedendo, desta forma, à função de *router* de rede. Sempre que necessário, deverá acumular as funções de *input* e *output* destinadas às unidades RFD (*reduced function device*) [IEEEStd04].



**Figura 3-10 Modelo de transferência de dados nas unidades remotas**

A localização destas unidades requer a presença de ponto de energia eléctrica da rede, não gozando, desta forma, de plena liberdade de dispersão geográfica. Estas unidades, tal como a unidade SCI, são dispositivos sem fios do tipo FFD, segundo a norma IEEE 802.15.4 [IEEEStd04] e que, por conseguinte, permanecem permanentemente à escuta para poderem fazer o reencaminhamento de mensagens – este modo de funcionamento é incompatível com alimentação por bateria local.

#### **3.5.4.2 Função da Unidade Remota RFD**

Esta é uma unidade autónoma sem fios, destinada a ser distribuída pelos espaços da habitação. Possuindo funções de medida, monitorização e actuação, têm reduzida capacidade de gestão de rede, não podendo tomar o papel de coordenador de rede, nem de *router* – são unidades do tipo RFD, segundo a norma IEEE 820.15.4 [IEEEStd04].

#### **3.5.4.3 Modelo de Transferência de Dados**

Num sistema, cada unidade remota executa, unicamente, uma função definida pelo respectivo perfil funcional. Uma vez estabelecida a ligação entre uma unidade remota e a unidade coordenadora<sup>6</sup>, os objectos pertencentes à unidade de quadro, para um determinado perfil, passam a possuir uma imagem nas unidades remotas, uma vez que passam a estar ligados através do protocolo de alto nível para a rede sem fios.

O acesso aos objectos das unidades remotas é efectuado pela interface local do dispositivo e pela ligação, através da rede sem fios, à unidade de quadro. A Figura 3-10 representa o modelo de acesso aos objectos da aplicação.

---

<sup>6</sup> O papel de coordenador de rede sem fios é desempenhado pelas unidades de quadro (SCI)

---

---

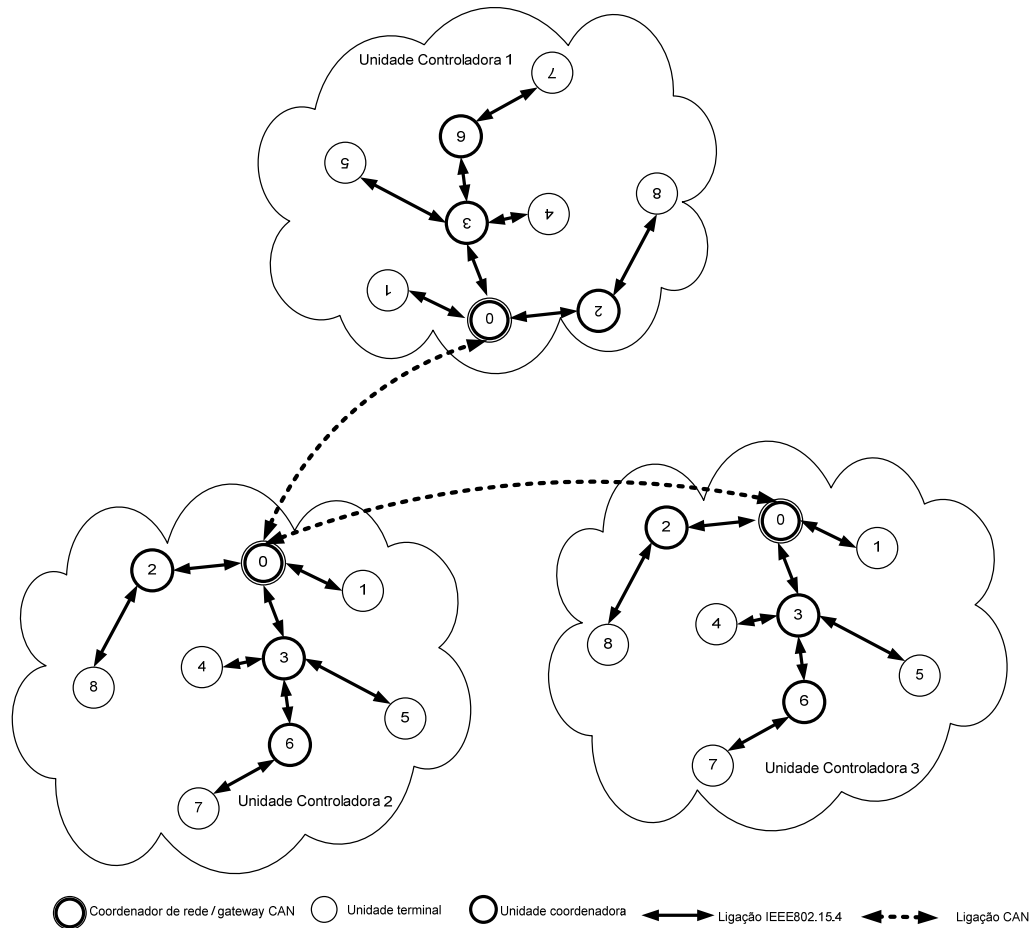
# 4

## AS COMUNICAÇÕES

Os mecanismos de comunicação estão na base de qualquer moderno sistema domótico, pois constituem o suporte das trocas de informação entre as suas diversas unidades constitutivas. No presente trabalho, para fazer face aos requisitos, utilizaram-se duas tecnologias complementares: uma rede cablada e outra sem fios, baseada em radiofrequência. Assim, pelas razões anteriormente enunciadas, uma rede cablada constitui a espinha dorsal do sistema, havendo sido escolhida a tecnologia CAN [Bosch91], [Kiencke04], com a camada de alto nível CANopen [CAN08], [DS301], [Farsi00]. Esta escolha foi determinada em resultado das suas características de segurança, bem como do binómio débito/distância de transmissão, sendo, por isso, uma referência no âmbito dos sistemas de automação.

Ao nível da camada de aplicação para a rede CAN chegou-se a equacionar uma especificação para o desenvolvimento de uma solução própria específica (“proprietária”), que acabou afastada por se opor ao requisito geral de abertura do sistema anteriormente enunciado e, também, porque iria dificultar a interacção com uma miríade de dispositivos externos ao sistema. A escolha recaiu no protocolo CANopen do

CiA (CAN in Automation) [CAN08], o qual apresenta as características necessárias a uma implementação do princípio de funcionamento baseado em ligações virtuais entre dispositivos<sup>7</sup>.



**Figura 4-1** As comunicações no sistema

A necessidade das ligações sem fios entre as unidades remotas e as unidades de quadro decorre da existência de I/O (*Input/output*) fora dos espaços confinados aos quadros eléctricos. Aqui, a rede sem fios foi baseada na norma IEEE 802.15.4 [IEEEStd04], [Callaway02], [Gutierrez01], [Gutierrez04], [Zheng04], e, operando no modo *cluster tree* [Gutierrez04], cabe às unidades de quadro a missão de “edificar” a rede e, conseqüentemente, assumir o papel de coordenador (*PAN coordinator*) [Gutierrez04].

<sup>7</sup> Ligações resultantes das ligações de rede entre *data points*.

Do ponto de vista da aplicação, embora existam alguns grupos de interesse para a normalização neste domínio, como é o caso do ZigBee [ZIG08], [Egan05], [Galeev04] – propostas ou, mesmo, normas diversas é equivalente à ausência de norma –, resolvemos apostar num protocolo proprietário, e desta forma, poderemos contribuir com o nosso conhecimento e experiência para o desenvolvimento e padronização de uma camada de alto nível que sirva os interesses a que nos propusemos.

## 4.1 COMUNICAÇÕES SEM FIOS

Do ponto de vista da hierarquia funcional da rede sem fios, a norma IEEE 802.15.4 especifica duas unidades funcionais distintas: (i) as unidades FFD (*Full Function Devices*), que suportam a totalidade funcional da norma, assumindo o desempenho de funções de gestão e manutenção da rede, e (ii) as unidades RFD (*Reduced Function Device*), que são nós da rede que, por limitações funcionais, ficam arredadas de quaisquer responsabilidades de gestão ou manutenção de rede.

No âmbito deste trabalho, as unidades FFD poderão assumir as seguintes funções:

- Coordenador de rede (*PAN coordinator*): cuja missão é iniciar a formação da rede, com a conseqüente escolha de identificação para a rede e a sua configuração, de modo a assegurar a associação de novas unidades;
- Coordenador (*router*): esta unidade não inicia a formação de uma nova rede mas, uma vez associada a uma rede existente, permite novas associações de outras unidades, estendendo, desta forma, o alcance da rede, assim como o reencaminhamento de mensagens entre unidades sem alcance directo.

O papel de menor relevo, em termos de gestão de rede, cabe às unidades RFD que, no âmbito deste trabalho, assumem o papel de unidades terminais.

### 4.1.1 Camada Física

A camada física, através da utilização de um canal de rádio previamente seleccionado, é a responsável pelo suporte à transmissão e recepção dos dados. O IEEE802.15.4 oferece três bandas diferentes para fazer face à normalização vigente em todo o mundo: (i) a banda dos 868MHz, com um único canal disponível; (ii) a banda dos 915MHz, com dez canais diferentes; e (iii) a banda dos 2,4GHz, com dezasseis canais distintos. A banda de operação seleccionada foi a dos 2,4GHz por permitir: (i) maior número de canais e, desta forma, possibilitar a coexistência de um largo número de redes (até dezasseis), sem existência de interferências, (ii) pela legislação e recomendações em vigor na Europa, e (iii) pela maior taxa de transmissão permitida.

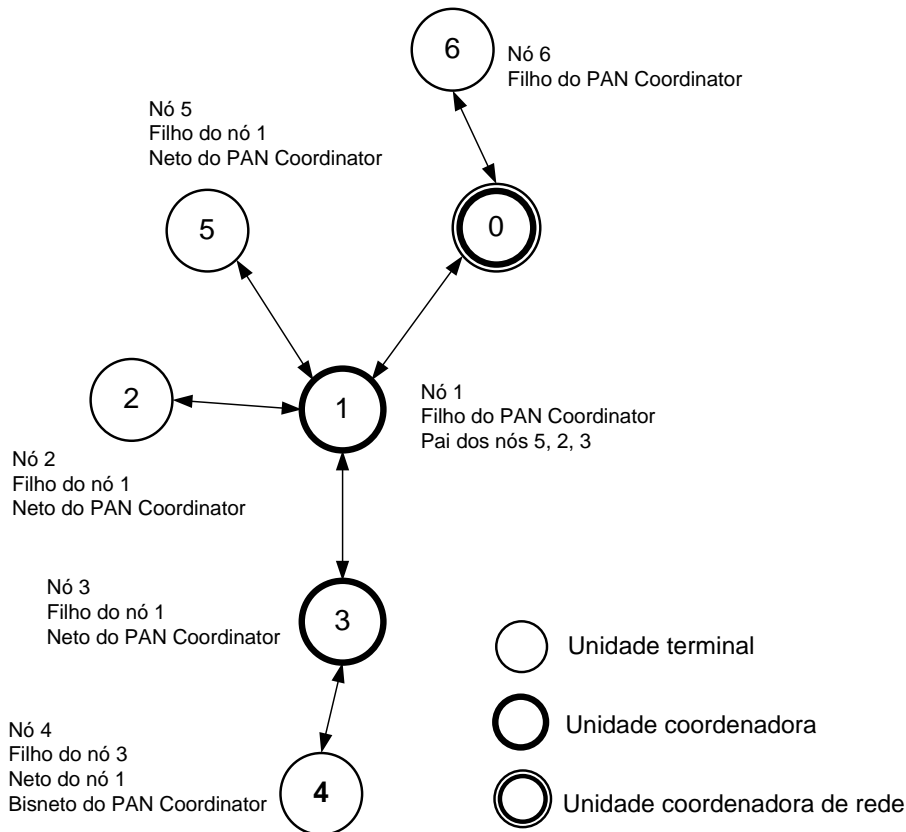
### 4.1.2 Camada de Acesso ao Meio (MAC Layer)

A norma IEEE802.15.4 [IEEEStd04] apresenta duas formas distintas de operação: (i) o modo “*non-beacon enable*”, que se caracteriza pela ausência de mensagens de rádio-farol “*Superframe*”, com um mecanismo de acesso do tipo “*unslotted CSMA/CA*”, (ii) o modo de operação “*beacon enable*”, o qual se caracteriza pelo envio regular de mensagens do tipo rádio-farol pelo coordenador da rede, a fim de sincronizar os dispositivos que lhe estão associados e, em simultâneo, para sinalizar a rede – neste modo, o mecanismo de acesso é do tipo “*slotted CSMA/CA*”.

O modo de operação seleccionado para a rede proposta neste trabalho é do tipo “*Non-Beacon Enable*”, que foi seleccionado pela sua adequação ao quadro de aplicação definido e, para mais, pela sua relativa facilidade de implementação.

### 4.1.3 Topologia de Rede

A norma IEEE 802.15.4 não especifica as camadas superiores do modelo ISO OSI (*Open Systems Interconnection*) [ISO84], ficando a cargo do utilizador esta tarefa. Perante a diversidade de funções especificadas pela camada MAC layer da referida norma, várias são as topologias de rede que se poderão adoptar e, consequentemente, vários serão os possíveis algoritmos de reencaminhamento de mensagens.



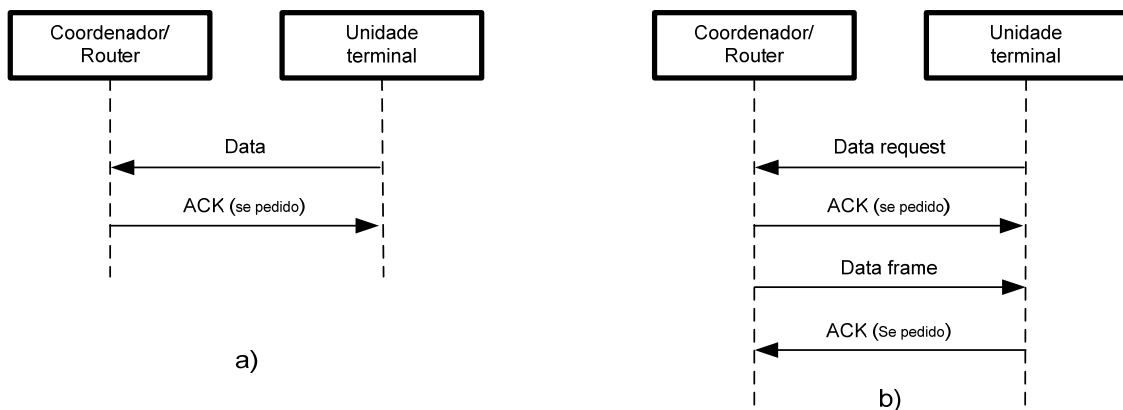
**Figura 4-2 Exemplo de relação de parentesco entre nós**

Neste caso, tratando-se de uma aplicação específica para Domótica, a topologia escolhida foi o *cluster tree* [Gutiérrez04], [IEEEStd04]. Os principais critérios de decisão levados em consideração foram: (i) a vocação para suportar redes de dimensão considerável, em que alguns dos seus elementos possam comunicar sem existir alcance rádio directo, garantindo a cobertura de um piso de uma habitação, (ii) a certeza de que a “espinha dorsal” do sistema, uma vez instalado, não sofre alterações frequentes, pelo que os nós com funções de *routing* (reencaminhamento de mensagens) são fixos (unidade de quadro, pontos de luz, etc ...) e são alimentados pela instalação eléctrica da habitação, e (iii) uma organização de redes bem determinada, onde cada elemento possui um conhecimento das ligações existentes na sua vizinhança, tornando o *routing* bastante fácil, eficiente e seguro.

Na topologia de rede em *cluster tree* existe um conceito de relacionamento “parental” ou de hereditariedade, como se ilustra na Figura 4-2. A rede é sempre iniciada pelo coordenador de rede que, no nosso sistema, é representado pela unidade SCI. Todas as outras unidades pertencentes à rede são suas descendentes.

#### 4.1.4 Modelo de Transferência de Dados

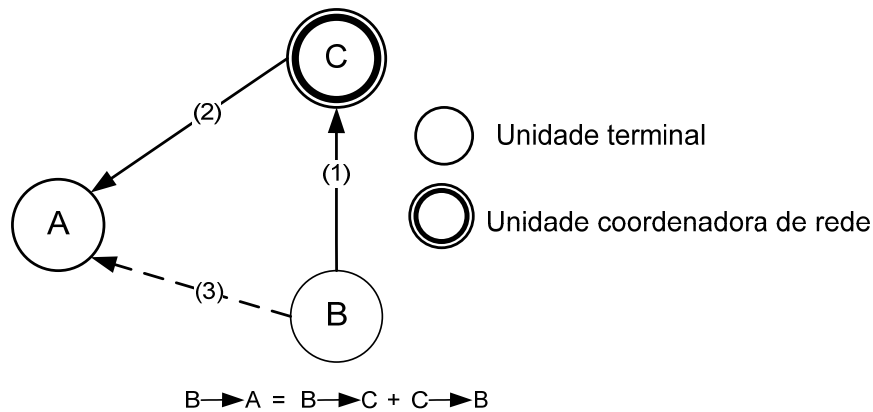
O modelo de transferência de dados para o IEEE802.15.4 depende da topologia de rede seleccionada. Não sendo a estrela a topologia escolhida, o modelo de transferência de dados é em tudo semelhante: na topologia em estrela, a troca de mensagens entre unidades ocorre sempre indirectamente através do coordenador de rede e nunca directamente entre elas. Esta forma de transferência de informação é claramente indicada em redes com unidades alimentadas por bateria e com longos períodos em que permanecem com o rádio desligado, possibilitando, desta forma, o total controlo sobre a gestão das baterias.



**Figura 4-3 Modelo de transferência de dados para topologia estrela/cluster:**  
 a) transferência da unidade terminal para o coordenador/router;  
 b) transferência do coordenador/router para unidade terminal.

##### 4.1.4.1 Modelo Geral

Na topologia *cluster tree*, a mesma forma indirecta de transferência de mensagens mantém-se, com a diferença de que este procedimento é alargado a todas as unidades com total capacidade de rede (coordenador de rede e coordenadores) e que possuam unidades a elas associadas. A transferência de mensagens entre unidades pertencentes a outros agregados é feita com base no *routing* por hierarquia, como explicado na secção 4.1.8.



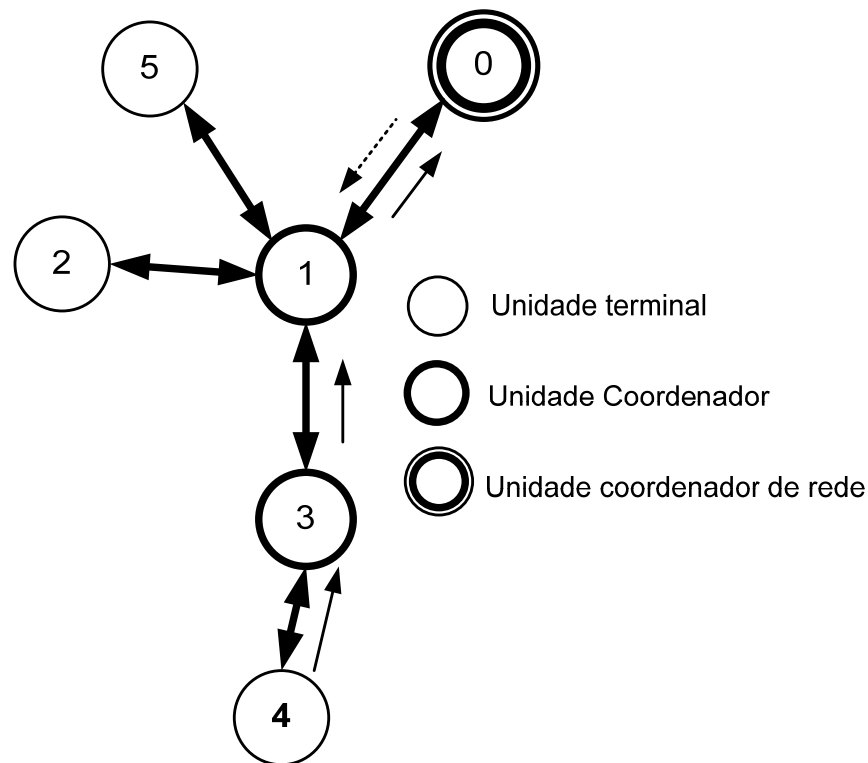
**Figura 4-4 Procedimento de transferência de mensagens entre unidades**

A transmissão de uma mensagem entre duas unidades terminais não é um processo directo. Como ilustrado na Figura 4-4, se a unidade B pretende enviar uma mensagem para a unidade A, aquela inicia o procedimento enviando a mensagem ao coordenador de rede (unidade C) através do mecanismo descrito na Figura 4-3 a); a unidade coordenadora mantém a mensagem em memória até receber de A um pedido de sincronização, através do procedimento descrito na Figura 4-3 b), em que o período de tempo em que a mensagem permanece em C depende do ciclo de funcionamento da unidade A.

#### 4.1.4.2 Modelo Adoptado

O modelo geral de transferência de dados descrito assenta sobre o pressuposto de que as unidades terminais poderem estabelecer ligações ao nível da camada de alto nível (ligações entre *data points*). Porém, embora seja possível, tal não é necessário, uma vez que, do ponto de vista da arquitectura do sistema, as unidades terminais desempenham o papel de interfaces remotas, isto é, uma extensão do I/O das unidades de quadro. Desta forma, as ligações entre as várias unidades estão centralizadas na unidade de quadro (coordenador de rede).

Em cada uma das redes que constituem o sistema, a única unidade que possui capacidade de estabelecer ligações ao nível da camada de aplicação é unidade de quadro, já que só esta possui os recursos necessários (registo das unidades eleitas para participarem na rede) para iniciar o procedimento de ligação entre serviços de diferentes unidades.



**Figura 4-5 Cenário de transmissão de mensagens adoptado**

A Figura 4-5 representa um cenário típico de uma transferência de dados entre uma unidade produtora de informação (e.g., um interruptor) – representada como unidade 4 – e uma unidade consumidora (e.g., um actuador de lâmpada) – representada como unidade 1.

#### 4.1.5 A Conformação da Rede

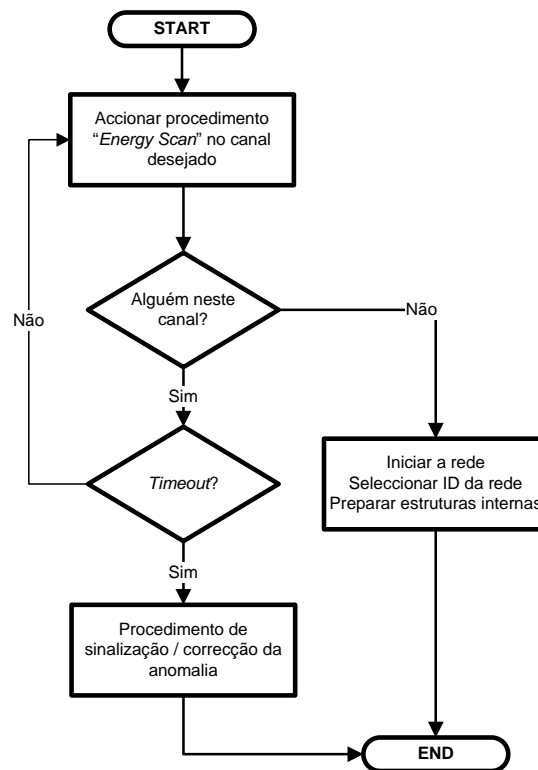
A formação de uma rede pressupõe duas fases: (i) a inicialização, da responsabilidade do coordenador da rede, e (ii) a associação, que, visando a capacidade de alargamento de uma rede, envolve as suas várias unidades através do procedimento de associação, até que a rede tome a forma pretendida.

A camada MAC do IEEE802.15.4 apresenta quatro mecanismos de pesquisa de rede que possibilitam às camadas superiores, nomeadamente à camada de rede, a melhor conformação desejada para a rede: (i) “*energy scan*”, em que um dispositivo pode medir o pico de energia em cada dos canais seleccionados, (ii) “*active scan*”, que possibilita a pesquisa de redes, nos vários canais seleccionados, através da solicitação do envio de mensagens de rádio-farol (*beacon*), (iii) “*Passive scan*”, semelhante ao procedimento

referido em (ii), mas com um mecanismo de pesquisa diferente, aqui executada apenas através de recepção de rádio, e (iv) “*Orphan scan*”, que é utilizado para encontrar o coordenador ao qual uma unidade se encontrava previamente ligada.

#### 4.1.5.1 Inicialização da Rede

Como referido em secções anteriores, o sistema aqui proposto baseia-se em duas tecnologias de comunicação diferentes (Figura 4-1). Para potenciar o seu funcionamento, as unidades de quadro são dotadas da capacidade de formarem redes sem fios, assim alargando o seu raio de acção. Cada uma destas deverá operar num canal previamente estabelecido e diferenciado do das redes associadas às restantes unidade de quadro.



**Figura 4-6 Procedimento genérico de conformação da rede sem fios**

O procedimento de selecção de canal de operação é baseado numa pré-configuração por parte do instalador, durante a fase de instalação, através de interruptores integrados (*DIP-switches*). Verifica-se a necessidade de seleccionar previamente o conjunto de unidades que irão operar na mesma rede, uma vez que as unidades remotas são o prolongamento das unidades de quadro, sendo parte funcional

destas. Esta forma de operar limita a possibilidade de existirem unidades móveis que se possam associar a diferentes redes dentro do mesmo sistema; contudo, no âmbito de aplicações domóticas, esta não será uma situação comum.

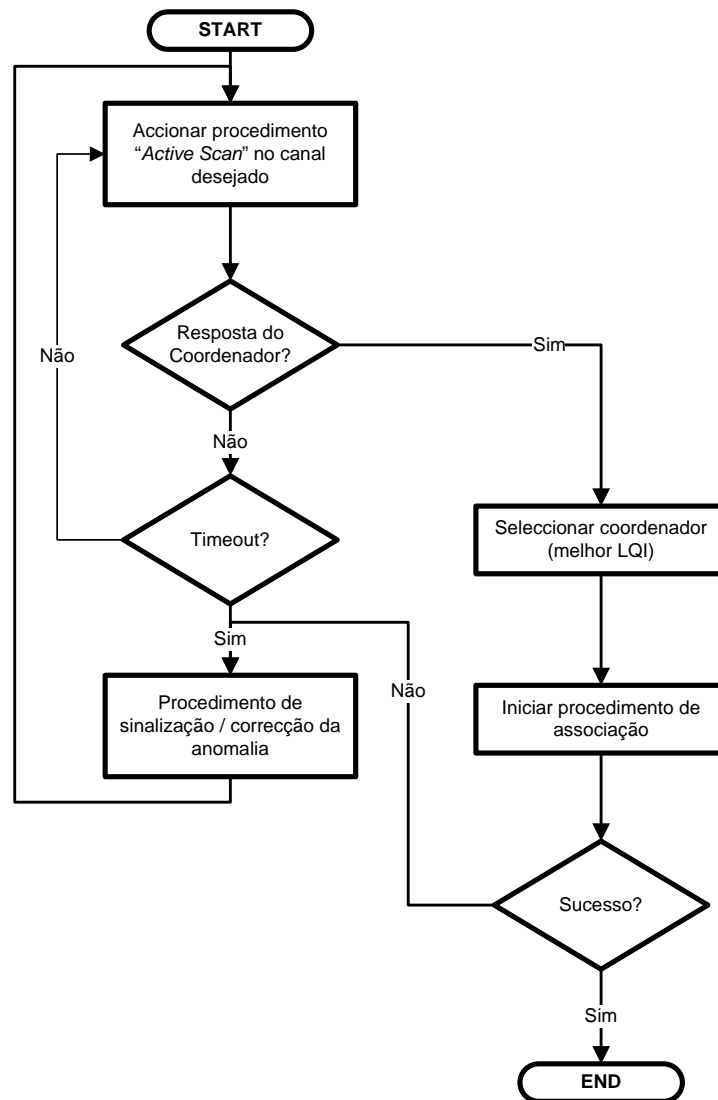
As unidades de quadro iniciam a conformação da rede através do procedimento de “*energy scan*” facultado pela camada MAC, para se certificarem da disponibilidade do canal. Se o resultado deste procedimento não for satisfatório, a unidade continuará a fazer testes ao canal pretendido com condição de *timeout*, como ilustrado na Figura 4-6.

#### 4.1.5.2 A Associação

O procedimento de associação ocorre sempre que um dispositivo se pretende ligar a um coordenador. Este procedimento está organizado em três fases: (i) pesquisa no canal previamente seleccionado, (ii) selecção do coordenador “pai”, e (iii) associação com o coordenador seleccionado.

Novas unidades, que pretendam pertencer à rede, efectuam uma busca no canal previamente seleccionado. Esta busca é baseada no mecanismo “*active scan*” disponibilizado pela camada MAC. Após a pesquisa ter terminado, a informação recolhida é analisada e, da lista de coordenadores possíveis, é seleccionado o coordenador que apresente maior força de sinal, isto é, melhor LQI (*Link Quality Indicator*) [CC2420].

A apresentação à unidade coordenadora é feita com base no endereço IEEE de 64 bit (vulgarmente designado por *MAC Address*), e que é único para cada dispositivo. Não existe qualquer mecanismo de proibição de associação à rede, isto é, qualquer dispositivo se poderá associar desde que existam as condições elementares necessárias – contudo, poderá ficar inibido de participar na aplicação de rede porque é necessário efectuar uma inscrição prévia, durante a fase de instalação, das várias unidades perante o coordenador de rede. Esta inscrição é realizada pelo instalador, através do preenchimento de uma lista de unidades passíveis de pertencerem às várias redes.



**Figura 4-7 Mecanismo genérico de associação à rede**

Após boa aceitação por parte do coordenador – operação com sucesso –, este atribui o endereço de rede (16 Bit) à nova unidade associada e adiciona-a à lista de unidades “filhas”. Será com este novo endereço que a unidade associada se passará a apresentar perante a rede.

O procedimento de associação é desencadeado pela unidade que se pretende associar à rede através do envio do comando “*Association request*”, que é especificado pela camada MAC do IEEE802.15.4. Na sequência, o coordenador envia um “*Acknowledgement*” com indicação de informação pendente, após o que o dispositivo requerente envia um comando “*Data request*” e, finalmente, o coordenador envia a informação relativa ao sucesso ou insucesso da operação.

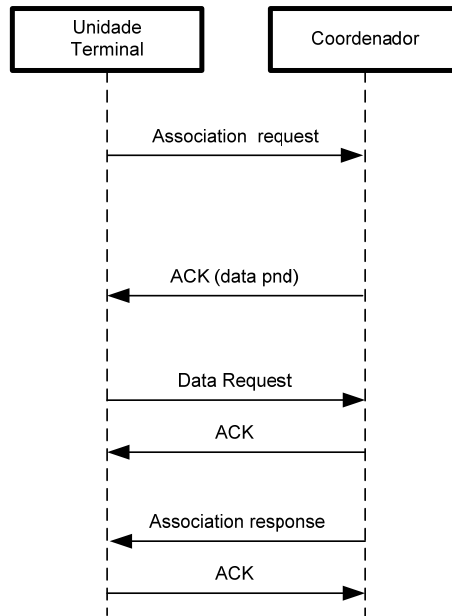


Figura 4-8 Troca de mensagens durante associação de unidades à rede

#### 4.1.6 O Endereçamento

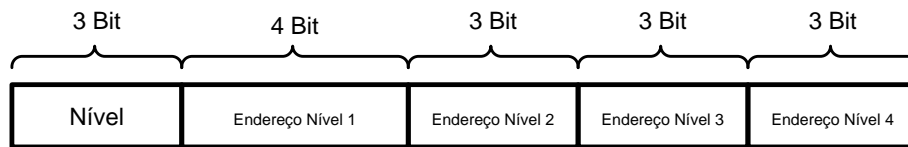
Todos os dispositivos com interface de comunicações sem fios possuem um endereço de 64 bit (endereço IEEE), único para cada unidade. Este endereço é designado por endereço “longo” e é demasiado extenso<sup>8</sup> para ser utilizado nas transferências de dados entre as diferentes unidades, sendo somente utilizado durante os procedimentos de apresentação, no qual se inclui o processo de associação.

Uma vez associadas, as novas unidades passarão a identificar-se por um endereço de 16 bit atribuído pela unidade “pai” respectiva, que é designado por endereço de rede ou endereço “curto”. O mecanismo para a atribuição do endereço de rede é baseado na profundidade da rede relativamente à profundidade máxima possível e no número máximo de unidades “filhas” admissíveis. Este algoritmo de atribuição de endereços é extremamente simples e baseia-se em dois pressupostos: (i) o nível de profundidade de rede onde se encontra a unidade e a herança do endereço do pai (Figura 4-9 e Figura 4-10). O número máximo de unidades que poderão pertencer à rede é de cerca de 1385, número este que só poderá ser alcançado se todas as unidades, excepto as

---

<sup>8</sup> Conduziria a comunicações mais longas e ocuparia uma grande fatia da MTU da IEEE802.15.4.

pertencentes ao último nível de profundidade, tiverem atributos de funcionalidade total (unidades coordenadoras).



#### Nível

000	1ª Nível de profundidade de rede (atribuído ao Coordenador de rede)
001	2ª Nível de profundidade da rede
010	3ª Nível de profundidade da rede
011	4ª Nível de profundidade da rede
100	5ª Nível de profundidade da rede
101-111	Reservados

#### Endereço Nível 1 a 4

0 000	} Endereços das unidades filhas de uma unidade de nível superior
0 001	
---	
1 111	

**Figura 4-9 Mecanismo de atribuição de endereços**

A profundidade da rede apresenta-se com cinco níveis distintos, que são indicados pelos 3 bits mais significativos do endereço de rede (Figura 4-10): (i) o nível zero é ocupado unicamente pelo coordenador da rede, (ii) o nível 1 é preenchido pelas unidades “filhas” da unidade coordenadora de rede, podendo esta suportar até 16 unidades “filhas”, uma vez que o espaço reservado ao endereço de nível 1 é de 4 bits, (iii) os dispositivos que pertençam aos níveis de profundidade de rede 2 e 3 poderão ter 8 unidades “filhas” (se forem habilitadas para isso), e (iv) o nível 4 é o limite de profundidade de rede e, por conseguinte, as unidades que pertençam a este nível não poderão ter unidades “filhas” associadas.

Existem dois endereços que são especiais e estão excluídos do mecanismo ordinário de atribuição de endereços. O endereço 0x0000 que é reservado à unidade coordenadora de rede e o endereço de *broadcast*<sup>9</sup> que assume o valor 0xFFFF.

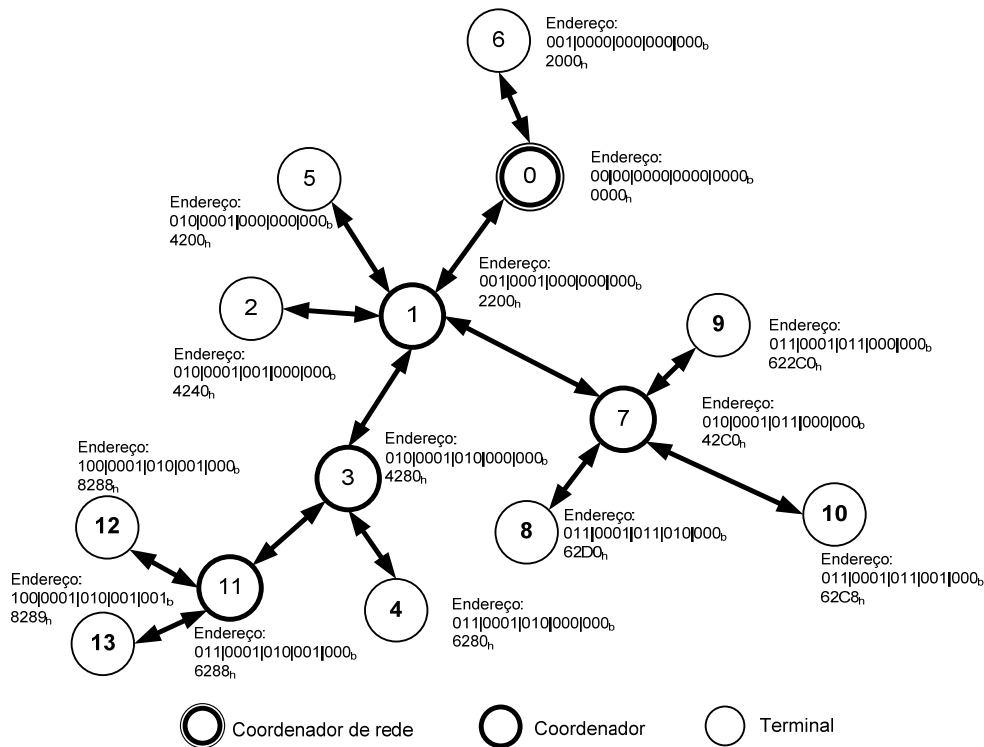


Figura 4-10 Exemplificação do mecanismo de atribuição de endereços

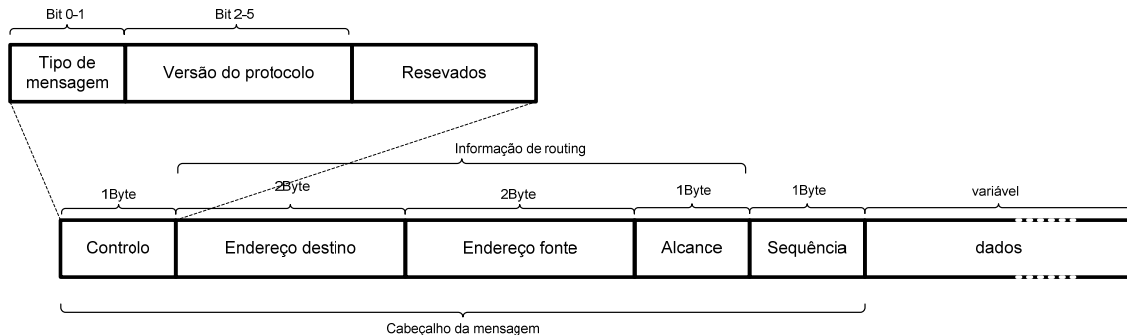
### 4.1.7 Mensagens da Camada de Rede

O formato dos pacotes das mensagens trocadas entre as camadas de rede, que se encontra esquematizado na Figura 4-11, apresenta-se extremamente simples, sendo constituído por dois campos: (i) o cabeçalho onde se encontra a informação de controlo, e (ii) o campo reservado aos dados (*campo de dados*) com a informação transportada. Este cabeçalho é, por sua vez, dividido em três parcelas: (i) a informação de *routing*, com o endereço de rede da unidade de proveniência, o endereço da unidade de destino e alcance da mensagem na rede<sup>10</sup>, (ii) um campo com a sequência da mensagem para controlo e manipulação de respostas, devendo a mensagem de resposta possuir o mesmo número de sequência (este campo é incrementado a cada mensagem enviada), e (iii) um

<sup>9</sup> Sempre que uma mensagem apresente como destino o endereço 0xFFFF, esta será distribuída por todas as unidades da rede.

<sup>10</sup> Este campo foi introduzido para diagnóstico e para depuração de anomalias de funcionamento.

campo de controlo, com a extensão de um *byte*, onde está identificado tipo de mensagem e a versão do protocolo utilizado.



**Figura 4-11 Formato dos pacotes da camada de rede**

Na versão actual do protocolo, apenas são suportadas mensagens de dados. No Quadro 4-1 é apresentado o identificador das mensagens da camada de rede, onde o *campo de dados* da mensagem de dados contém a informação que a camada de aplicação pretende enviar ou receber.

**Quadro 4-1 Tipos de mensagem da camada de rede**

Controlo		Descrição
Bit 1	Bit 0	
0	0	Reservado
0	1	Mensagem de dados
1	0	Reservado
1	1	Reservado

**Quadro 4-2 Comandos da camada de rede**

### 4.1.8 Encaminhamento (*Routing*)

Num quadro genérico de aplicação, certamente existirão situações em que o alcance rádio não será suficiente para estabelecer ligações entre unidades da mesma rede, sem recurso a reencaminhamento de mensagens. As razões mais comuns serão: (i) distância demasiada longa, (ii) meio adverso à propagação do sinal (devido a reflexão e/ou absorção), e (iii) critério de gestão de energia, que pode aconselhar o uso limitado da potência de radiofrequência. Deste modo, são aqui identificadas as propriedades

desejadas para o mecanismo de reencaminhamento de mensagens, e é delineada uma estratégia de *routing* para o IEEE802.15.4, no contexto de protocolo de alto nível apresentado neste trabalho.

#### 4.1.8.1 Protocolos Reactivo e Proactivo

O protocolo IEEE802.15.4 foi desenvolvido com o intuito de suportar um grande número de topologias de rede, cabendo ao utilizador a responsabilidade da escolha da topologia mais adequada à sua aplicação, bem como da estratégia de reencaminhamento de mensagens. É bem sabido que o principal objectivo deste protocolo é a simplicidade que, aliada ao baixo consumo, possibilita que unidades de poucos recursos (memória e capacidade de processamento da CPU) possam participar uma rede. Estes são, em geral, os factores críticos a ter em consideração para determinar a selecção de um protocolo de *routing*.

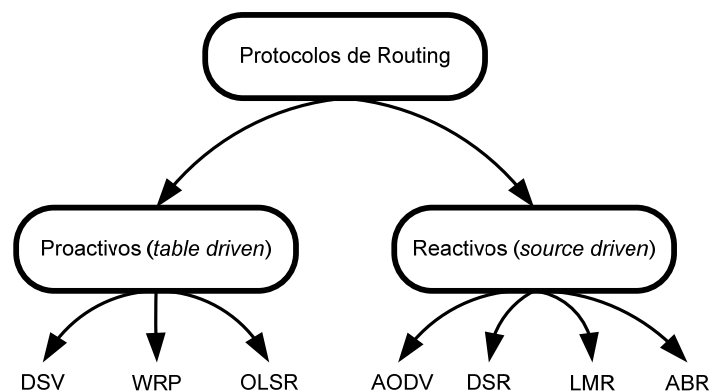


Figura 4-12 Classificação dos protocolos de *routing* para redes *ad-hoc*

Os protocolos de *routing* poderão, genericamente, ser enquadrados em duas grandes famílias: os reactivos e os proactivos [Roy99], [Kri05], [Stan03], [Hong02], [Lee03] que, por sua vez, se vão subdividindo em função da sua especificidade. A Figura 4-12 apresenta uma visão geral desta classificação, apresentando os protocolos de maior interesse. Outras referências relevantes são [You05], [Bha04], [Rab00], [Ber03].

Os protocolos de *routing* proactivos [Kri05] mantêm actualizados caminhos consistentes de qualquer nó para qualquer nó da rede, isto é, qualquer unidade da rede tem conhecimento de *routing* sobre todos os outros membros da rede, mesmo que não

mantenham relacionamento – o que implica uma ocupação desnecessária de memória e de recursos de CPU, pela utilização de tabelas para arquivar a informação sobre o *routing* para as várias unidades. Assim, alterações na configuração/posicionamento de unidades implicam alterações a introduzir nas tabelas; em particular, no caso de uma estação abandonar a rede, todas as restantes receberão notificação do facto, mesmo aquelas que não tenham qualquer relacionamento com o nó cessante.

Nos protocolos de *routing* reactivos [Roy00], [Haas00], as unidades de rede apenas possuem informação sobre o *routing* das unidades com as quais mantêm – ou possam a vir a ter – relacionamento. Os endereços dos dispositivos que se encontrem no caminho do nó de destino são colocados na mensagem, o que significa que a informação de *routing* da fonte é independente da informação de *routing* retida pelos outros nós. O principal inconveniente deste tipo de protocolos é o tempo que as unidades demoram a estabelecer o caminho de *routing*. Outro ponto negativo será a ocupação da MTU<sup>11</sup> (*Maximum Transmission Unit*) do IEEE802.15.4 com a informação de *routing*. Estes protocolos podem facilmente detectar e evitar de redundâncias, devido à fácil verificação nas tabelas de existência de duplicação de unidades.

#### 4.1.8.2 **Routing Hierárquico**

Baseado no endereçamento curto – endereço de rede – resultante do procedimento de associação de unidades e no relacionamento entre estas, esta estratégia de *routing* apresenta como principais benefícios a simplicidade e o uso limitado de recursos. Este método faz uso de tabelas elaboradas no decurso dos procedimentos de associação.

Assim, cada coordenador, ao receber uma mensagem, ao nível da camada de rede, avalia o campo de *routing* e verifica o endereço de destino: (i) se o endereço de destino representa um “filho” do coordenador, este envia a mensagem directamente à unidade<sup>12</sup>; (ii) se o endereço da unidade de destino não é um dos “filhos”, mas coincide

---

<sup>11</sup> Espaço da mensagem transmitida pela camada física reservado a dados.

<sup>12</sup> No modelo actual de transferência de dados só durante a sincronização com o coordenador é que a informação chega à unidade terminal.

com um descendente de ordem superior, o coordenador envia-a ao coordenador “filho”, com ligação à unidade destino; e (iii) se o endereço não verifica nenhuma das condições (i) e (ii), o coordenador remete a mensagem ao seu “pai”.

Uma situação particular de *routing* hierárquico sucede nas topologias de rede em estrela. Essa conjuntura é relatada pela hipótese (i) do parágrafo anterior e é designada por *routing* por vizinhança.

#### 4.1.8.3 O Algoritmo de *Routing*

Antes de apresentar o mecanismo de reencaminhamento de mensagens, será de salientar algumas particularidades do sistema, frutos da sua estrutura e princípio de funcionamento: (i) existência de um relacionamento hierárquico entre unidades do tipo “pai-filho”, (ii) as ligações para transferência de informação, ao nível da camada de aplicação, são sempre realizadas entre as unidades periféricas e a unidade de quadro ou coordenador da rede<sup>13</sup>, e (iii) o modelo de comunicações adoptado, o qual obriga à troca indirecta de mensagens entre unidades dentro do alcance rádio.

Por conseguinte, o algoritmo de reencaminhamento de mensagens seleccionado é centrado na organização hierárquica da própria rede e, portanto, no relacionamento entre os diferentes nós [Bruno07]. Assim, quando uma unidade coordenadora recebe uma mensagem cujo endereço de destino não conste na sua tabela de *routing*, nem seja descendente desta, aquela reencaminha-a para o seu “pai”, com base numa regra simples: “*se eu não o conheço, talvez o meu pai o conheça, já que ele está mais perto do coordenador de rede e, certamente terá mais hipótese de o conhecer*” – ver Figura 4-13 e Figura 4-19.

O *routing* só será realizado por unidades coordenadoras que, aqui, são designadas por SCWR-FFD. A alimentação destas unidades provém de um conversor ac/dc, permitindo, desta forma, manter as comunicações permanentemente activas.

---

<sup>13</sup> Numa segunda versão não será de excluir a possibilidade de interligação entre unidades terminais, no sentido de reduzir o tráfego da rede e aumentar a robustez do sistema.

O algoritmo está baseado na tabela de vizinhos criada durante a conformação da rede e na formatação do endereço de rede, a qual revela a afinidade parental da unidade de destino, isto é, possibilita a averiguação de descendência.

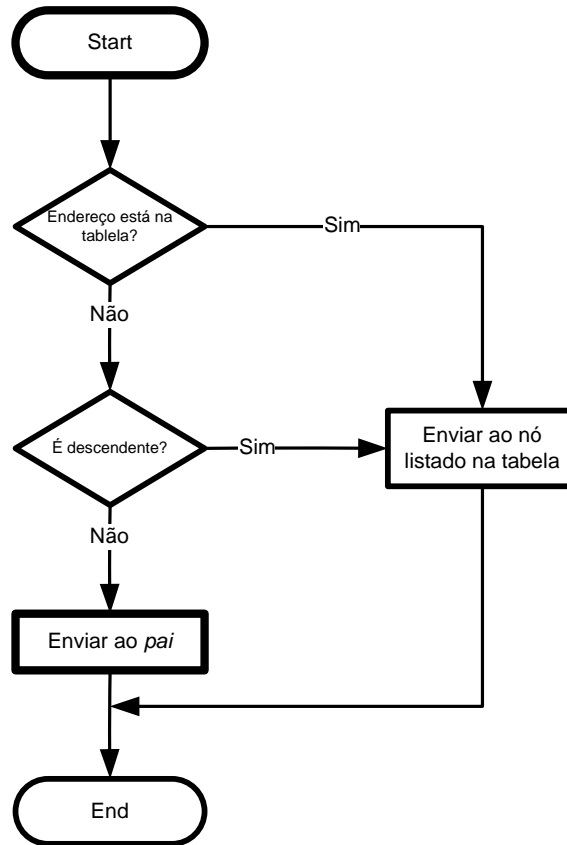


Figura 4-13 Algoritmo de routing de mensagens

#### 4.1.9 A Dinâmica da Rede

As redes sem fios estão sujeitas a falhas que, pela diversidade dos locais de instalação dos nós, não apresentam um padrão consistente. A ocorrência de falhas pode conduzir a “ilhas”, através do isolamento de algumas unidades, ou introduzir largos tempos de espera em transferências de dados entre unidades, tornando a aplicação impraticável. Em particular, os mecanismos de associação e de retirada de unidades em relação a uma rede não deverão aumentar as probabilidades de ocorrência de falha. Ora, para além da associação de unidades à rede, o sistema proposto especifica outras actividades que podem causar alterações na estrutura da rede. Concretamente, unidades de uma rede poderão ter, por algum motivo, que a abandonar, podendo voltar a associar-se numa nova posição na hierarquia desta.

Um dos procedimentos que permite alterar a estrutura da rede, já previsto pela norma IEEE802.15.4 é o mecanismo de desassociação, o qual pode ser desencadeado por ambas unidades intervenientes no processo de associação prévio: depois de concluído, a unidade desassociada perde o seu endereço de rede e fica, portanto, impedida de participar na rede. O coordenador actualiza a sua lista de dispositivos, mas mantendo a informação relativa à unidade desassociada para uma futura re-associação, que poderá ter lugar através de um procedimento de associação, por iniciativa da unidade anteriormente desassociada.

Outra forma de diagnóstico de exclusão de rede, conduzindo a que a unidade excluída tente a reinstalação junto do seu coordenador, resultará de falta de resposta deste coordenador, no decurso dos procedimentos de sincronização – nesta situação, a unidade excluída aborda a rede na qualidade de “órfão”, de acordo com o procedimento previsto no IEEE802.15.4 para o efeito.

## 4.2 O PROTOCOLO DE ALTO NÍVEL (PAN)

O protocolo da camada de alto nível (PaN) para a rede sem fios foi desenvolvido no sentido de maximizar a flexibilidade operacional na maioria das aplicações de automação, em Domótica como no âmbito de aplicações industriais. Assim, a título exemplificativo, o protocolo está habilitado para realizar a transferência de informação entre um interruptor e um actuador de lâmpada, ou entre um sensor de temperatura e uma unidade de aquecimento, e/ou outro dispositivo específico.

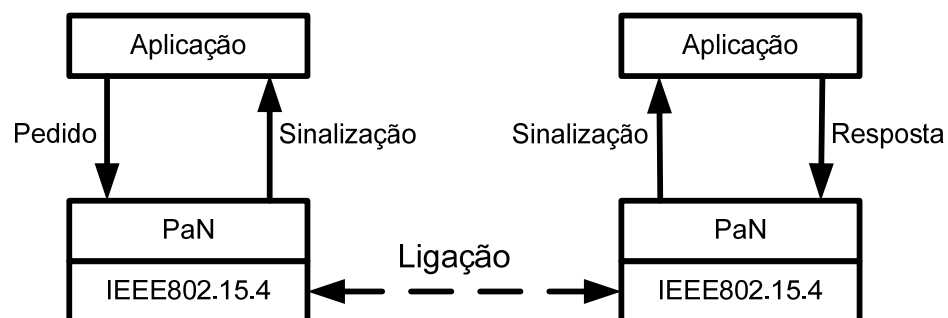


Figura 4-14 Modelo de comunicações do protocolo PaN

O protocolo segue o modelo ISO/OSI, assentando nos serviços desempenhados pelas camadas inferiores, e, portanto, não sendo responsável pelo reencaminhamento e pela correcta entrega de mensagens.

### 4.2.1 Serviços, Portos e Ligações

No contexto da especificação das comunicações, são, em seguida, definidos alguns dos termos importantes para a correcta percepção dos conceitos e realizações aqui explanados, como se ilustra na Figura 4-15.

#### 4.2.1.1 O Conceito de Serviço

Um Serviço é uma abstracção da aptidão que um dispositivo possui para desempenhar uma tarefa, tal como supracitado anteriormente por “bloco funcional”. A Figura 4-15 exemplifica um dispositivo que apresenta dois serviços: um serviço de medida de temperatura e outro de medida de humidade relativa.

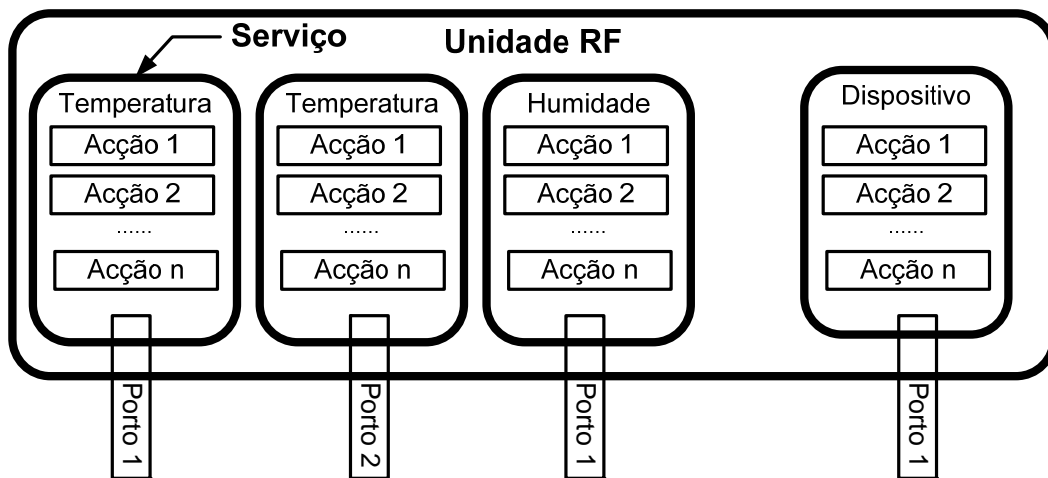


Figura 4-15 Exemplo de um dispositivo que apresenta dois serviços em dois portos diferentes

Cada dispositivo pode integrar um ou mais serviços, dependendo das aptidões do mesmo. Neste sistema, não existe nenhum dispositivo que seja administrador de serviços<sup>14</sup> e, por essa razão, os dispositivos não conhecem os serviços da vizinhança da rede – cada dispositivo apenas conhece os serviços nele instalados, podendo vir a

<sup>14</sup> O protocolo prevê este modo de funcionamento, mas no contexto da aplicação no âmbito deste trabalho, a unidade de quadro poderá possuir essa informação associada aos objectos remotos.

conhecer os serviços de outros dispositivos através de um procedimento de busca efectuado pelo protocolo de alto nível. A identificação de um serviço é feita através de um identificador de 8 bit de extensão, possibilitando a existência total de 255 serviços distintos na aplicação distribuída.

#### 4.2.1.2 O Conceito de Porto

Cada serviço é oferecido num único porto, que é um identificador do serviço num cenário em que o dispositivo possui vários serviços da mesma instância. Assim, o conceito de porto permite a existência de dispositivos com múltiplos serviços da mesma instância, como ilustrado na Figura 4-15, com um dispositivo com dois serviços e em dois portos diferentes. O porto do dispositivo que toma a iniciativa da ligação designa-se por porto local e o outro por porto remoto.

#### 4.2.1.3 O Conceito de Acção

Cada serviço pode ser munido de um conjunto de acções correspondendo às distintas funções que este poderá desempenhar / assumir. As acções vão ser invocadas remotamente, obrigando o serviço a executar a função correspondente.

#### 4.2.1.4 O Conceito de Ligação Lógica (*binding*)

Este conceito permite que os serviços de um dispositivo possam ser oferecidos a outros elementos da rede. As ligações entre dois serviços do mesmo tipo são ligações lógicas, ou ligações de rede. Cada ligação possui uma direcção que poderá ser de *input*, de *output* ou de ambas, tomando como referência a direcção relativa ao dispositivo que inicia o procedimento de ligação – a Figura 4-16 ilustra este procedimento.

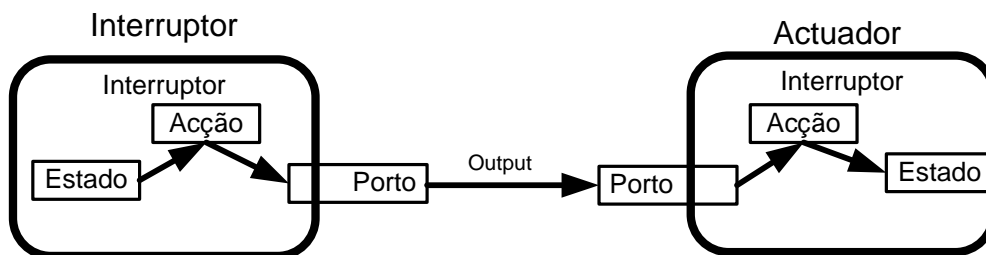


Figura 4-16 Ligação criada pelo interruptor com o sentido de *output*

## 4.2.2 Endereçamento

O protocolo PaN possui um mecanismo de tradução de endereços, utilizando um endereço PaN (com 16bit), tal como ilustrado na Figura 4-17. Desta forma, a aplicação fica imune às diferentes formas de endereçamento das camadas inferiores, facilitando a aplicação do protocolo PaN a outras tecnologias de comunicação.

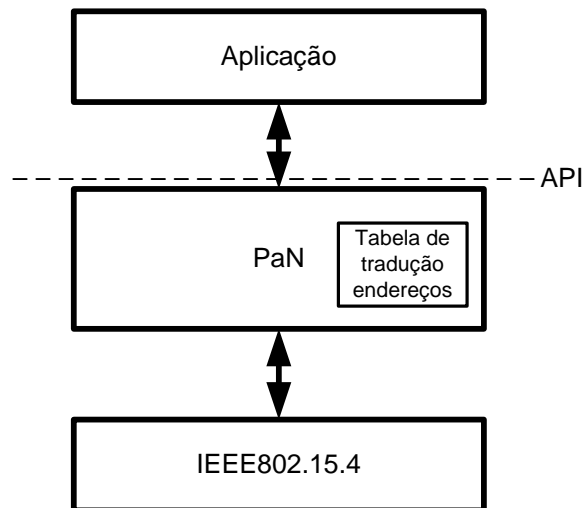


Figura 4-17 Mecanismo de tradução de endereços

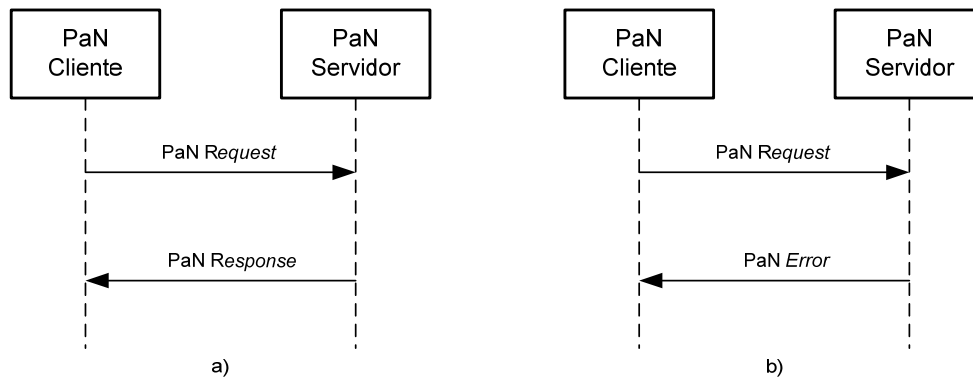
A tabela de tradução de endereço traduz o endereço utilizado pelas camadas inferiores responsáveis pela transmissão e recepção de mensagens num endereço de 16 bit. O endereço PaN num dispositivo pode, desta forma, ser diferente para o mesmo dispositivo físico em diferentes unidades.

Um endereço PaN é meramente local, isto é, é apenas conhecido pela aplicação e pelo protocolo de alto nível, nunca sendo transmitido nas mensagens, e serve para a camada de aplicação identificar os dispositivos quando pretende evocar um procedimento ao protocolo PaN. Uma vez que o endereço de rede é, também, formado por 16 bit, pareceu acertado que, neste caso particular de aplicação, a tradução seja uma simples cópia do endereço de rede, ficando ambos os endereços coincidentes.

## 4.2.3 Mecanismo de Detecção e Correção de Erros

O mecanismo de transmissões de mensagens do protocolo PaN baseia-se na forma clássica Pedido-Resposta (*Request-response*): cada dispositivo que receba uma mensagem de pedido (*request*) deve iniciar os procedimentos de resposta (*response*),

que culminarão no envio de uma mensagem de resposta. Se, eventualmente, uma mensagem não for entregue ou exista ausência de resposta por parte do interlocutor, o protocolo deverá responder à aplicação com uma indicação de erro no lugar da resposta esperada. – as mensagens de resposta transportam a validação da resposta, indicando a causa em caso de erro, para posterior tratamento pela aplicação.



**Figura 4-18 Mecanismo de transmissão de mensagens, a) sucesso, b) insucesso**

O tratamento de situações anômalas geradas pelas camadas inferiores, tais como: (i) erro de ligação, quando não seja possível criar uma ligação com um determinado dispositivo, (ii) erro de transmissão, na situação em que não seja possível transmitir uma mensagem a um determinado dispositivo, e (iii) erro de *timeout*, com cancelamento de uma operação requerida por ocorrência de um *timeout*, será efectuado através dos valores retornados pelas funções da API (*Application Program Interface*) do protocolo PaN.

#### 4.2.4 Mensagens do Protocolo

O formato dos pacotes do protocolo encontra-se esquematizado na Figura 4-19, apenas integrando cinco campos: (i) o campo “controle” identifica o tipo de mensagem, a necessidade de *acknowledgment*, bem como o modo de entrega - , (ii); o campo “endereço” identifica o serviço, o endereço fonte e o endereço de destino, (iii) o campo “sequência” serve para identificação da resposta relativamente ao número do pedido, devendo a mensagem de resposta possuir o mesmo número de sequência – por isso, este campo é incrementado a cada mensagem enviada –, (iv) o campo “tamanho” diz respeito ao número de bytes constantes na mensagem, e (v) o campo “dados” representa a porção da mensagem reservada aos dados da aplicação, sendo o seu tamanho limitado

pelas camadas inferiores, incluindo a MTU (*Maximum Transmission Unit*) do IEEE802.15.4.

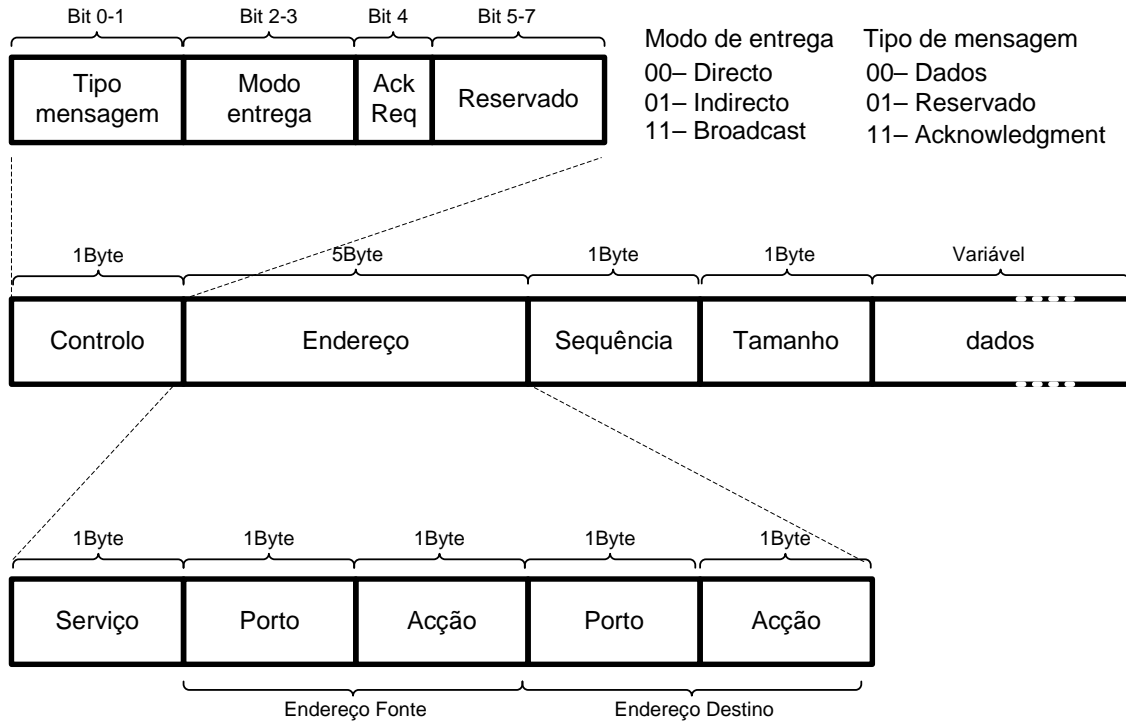


Figura 4-19 Formato dos pacotes do protocolo PaN

#### 4.2.5 O Serviço “Dispositivo”

A fim de poderem cooperar numa aplicação distribuída, todas as unidades deverão possuir este serviço, o qual é único em cada unidade e está associado ao porto 0. O serviço “Dispositivo” permite o acesso à informação de sistema das unidades através das acções especificadas para o efeito e que se encontram listadas no Quadro 4-3, sendo a especificação detalhada destas efectuada no texto abaixo, na forma de procedimentos.

Quadro 4-3 Acções do serviço “Dispositivo”

Nome	Numero
CONNECT_REQ	0x00
CONNECT_RSP	0x80
DISCONNECT_REQ	0x01
DISCONNECT_RSP	0x81
BIND_REQ <sup>15</sup>	0x03
BIND_RSP	0x83
UNBIND_REQ	0x04
UNBIND_RSP	0x84
SERVICE_DISCOVERY_REQ	0x07
SERVICE_DISCOVERY_RSP	0x87
DEVICE_DESCRIPTION_REQ	0x08
DEVICE_DESCRIPTION_ERR	0x17

#### 4.2.6 Serviços de Dados

As unidades remotas, para além de do serviço “dispositivo”, poderão implementar um ou mais serviços de dados para que estas desempenhem uma ou mais funções no âmbito da aplicação distribuída – a Figura 4-15 ilustra bem este paradigma. Os serviços de dados deverão suportar obrigatoriamente as acções listadas no Quadro 4-4. Contudo, poderão suportar mais acções se isso for necessário para descrever o correcto funcionamento do serviço.

Quadro 4-4 Acções base dos serviços de dados

Nome	Numero
SETDATA_REQ	0x05
SETDATA_RSP	0x85
GETDATA_REQ	0x06
GETDATA_RSP	0x86

#### 4.2.7 Validação da Resposta

Sempre que uma unidade recebe uma solicitação, ela deverá responder com uma mensagem onde consta a indicação de validação. Esta mensagem deve respeitar o número de sequência da solicitação, isto é, deverá transportar o mesmo número de sequência, e o seu campo de dados deve conter a razão do insucesso da operação. Se uma unidade não é capaz de levar a bom termo uma tarefa requisitada por outra unidade

---

<sup>15</sup>A noção de *bind* diz respeito a ligações lógicas entre serviços, ao nível da camada de ligação. Por sua vez, a noção de ligação diz respeito ao procedimento de associação à rede para efeitos de participação na aplicação distribuída.

da rede, esta deve enviar à unidade requisitante uma resposta, identificando o erro ocorrido. O Quadro 4-5 apresenta os códigos de validação de resposta definidos por esta versão inicial do protocolo.

**Quadro 4-5 Códigos de validação de resposta definidos pelo protocolo**

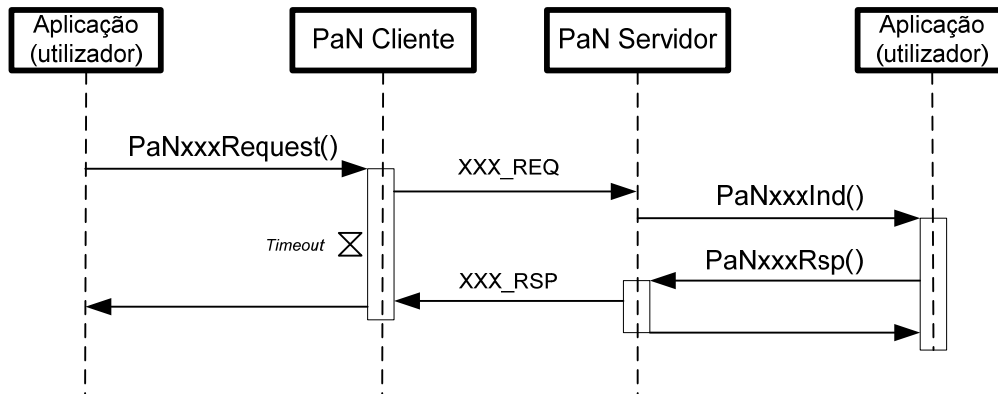
<b>Código de validação</b>	<b>Valor</b>	<b>Descrição</b>
SUCCESS	0x00	Sucesso na operação
NO_BINDING	0x10	Não existe ligação lógica ( <i>binding</i> )
INCORRECT_VALUE	0x11	O valor do serviço é incorrecto
NO_CONNECTION	0x12	Não existe ligação
NO_SERVICES	0x13	O dispositivo não implementa o serviço requisitado
CONNECTION_REJECTED	0x14	O pedido de ligação não pode ser aceite
CONNECTION_EXISTS	0x15	A ligação já existe
CONNECTION_OVERFLOW	0x16	O número máximo de ligações activas excedeu o limite máximo
UNSUPPORTED_VERSION	0x17	A versão do protocolo não é suportada
INVALID_SERVICE	0x18	O serviço especificado na mensagem não é válido
BINDING_REJECTED	0x19	O pedido de ligação lógica não pode ser aceite
BINDING_EXISTS	0x1A	Já existe uma ligação lógica válida para os parâmetros especificados
BINDING_OVERFLOW	0x1B	O número de ligações lógicas activas excedeu o limite máximo
INCORRECT_DIRECTION	0x1C	A direcção não é correcta para esta ligação lógica
INVALID_PORT	0x1D	O porto especificado não é incorrecto
INVALID_ACTION	0x1E	A acção não é suportada ou é incorrecta
PACKET_TOO_LARGE	0x1F	O tamanho do pacote é demasiado grande para um pacote PaN

#### **4.2.8 Interface – API (*Application Program Interface*)**

Foi preocupação inicial desenvolver uma camada de interface com a aplicação que fosse independente das camadas inferiores ao protocolo PaN, pois, para além de constituir uma boa prática de trabalho, pretendia-se abarcar duas tecnologias de comunicação distintas, CAN e IEEE802.15.4.

Ora, sobretudo nos protocolos de comunicação por radiofrequência, o uso sistemático de mensagens de confirmação nas transacções constitui prática comum: sempre que um dispositivo envia um comando requisitando uma acção noutra nó de rede, aquele fica à espera de uma resposta, que poderá ser a satisfação do pedido ou uma indicação de insucesso. Nesta linha, a aplicação (utilizador) que faz interface com a API do protocolo deve implementar funções de *CallBack* para atender as solicitações provenientes da rede. Estas funções são designadas por funções de “sinalização ou indicação”, uma vez que indicam a recepção de uma mensagem de “pedido”, que

necessita de ser processada. De notar que o protocolo apresentado requer uma condição de *timeout* sempre que um dispositivo executa um pedido remoto – este pode esperar pela resposta um período de tempo máximo programado. No caso de ocorrer a condição de *timeout*, esta deve ser sinalizada com o retorno da função.



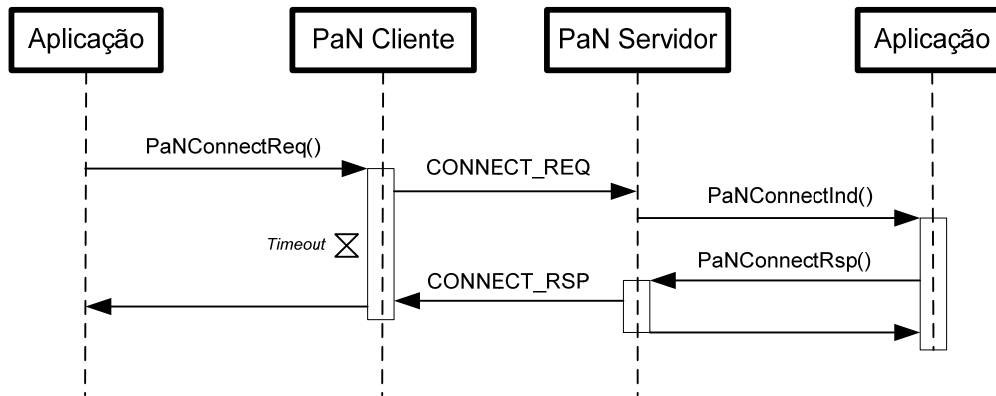
**Figura 4-20 Princípio de funcionamento da interface do PaN**

A estrutura genérica da API do protocolo PaN está ilustrada nas Figura 4-20. A Figura 4-20 representa uma transacção ocorrida, em que o servidor envia a resposta ao pedido do cliente. Concretamente, este mecanismo foi estruturado do seguinte modo:

- A função PaNxxxReq() constrói uma mensagem XXX\_REQ e solicita o seu envio, ficando à espera da resposta do servidor, sob uma condição de *timeout*;
- O servidor recebe o pedido e processa-o através da função PaNxxxInd(), que é uma função “*CallBack*” e é implementada na camada de aplicação;
- O servidor responde ao cliente através da função PaNxxxRsp(), que constrói uma mensagem do tipo XXX\_RSP e solicita o seu envio (nesta mensagem constará o código de validação da resposta).

#### 4.2.9 Procedimento de Ligação

O objectivo deste procedimento consiste em estabelecer ligação entre duas unidades. Para que possa ser trocada informação entre dois dispositivos sobre o PaN, é necessário estabelecer previamente uma ligação entre ambos, que consiste na troca de endereços entre as unidades, a Figura 4-21 ilustra este procedimento.



**Figura 4-21 Procedimento de associação entre duas unidades de rede**

No PaN, a ligação é orientada pelo endereço IEEE<sup>16</sup>, sendo que o protocolo atribui um identificador de 16 bit (endereço de rede) ao dispositivo que verifica o endereço solicitado. Esta acção é desencadeada com base numa mensagem de *broadcast* com o intuito de cobrir o universo da rede.

#### 4.2.9.1 Pedido de Ligação – CONNECT\_REQ

Esta acção inicia o processo de ligação entre duas unidades na rede. O *campo de dados* referente a esta acção tem apenas 9 bytes e contém, simplesmente, a versão da camada de alto nível (neste caso é 1) – Quadro 4-6.

**Quadro 4-6 Campo de dados da acção CONNECT\_REQ**

Tipo	Nome	Valor
Unsigned byte	Versão do protocolo	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_7	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_6	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_5	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_4	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_3	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_2	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_1	0x01 a 0xFF
Unsigned byte	IEEE_0	0x01 a 0xFF

#### 4.2.9.2 Resposta de Ligação – CONNECT\_RSP

Esta acção informa o dispositivo que iniciou o procedimento de ligação com a acção CONNECT\_REQ de que a ligação foi aceite. O campo de dados referente a esta

<sup>16</sup> Endereços constantes nas unidades de quadro.

acção apresenta-se no Quadro 4-7. Se, por algum motivo, o dispositivo ao qual se pretende efectuar a ligação não o permitir, este envia ao dispositivo requisitante uma resposta onde inclui a razão do insucesso.

Quadro 4-7 Campo de dados da acção CONNECT\_RSP

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -CONNECTION_REJECTED -CONNECTION_EXISTS -CONNECTION_OVERFLOW -UNSUPPORTED_VERSION	0x00 0x01 0x02 0x03 0x04
Unsigned byte	IEEE_7	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_6	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_5	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_4	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_3	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_2	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_1	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	IEEE_0	0x01 a 0xFF	

#### 4.2.10 Procedimento de Separação

Com este procedimento, os dispositivos ficaram dotados de um mecanismo que lhes permite terminar uma ligação previamente estabelecida entre eles. Esta desassociação, que apenas produz efeito ao nível da camada de aplicação, está ilustrada na Figura 4-22.

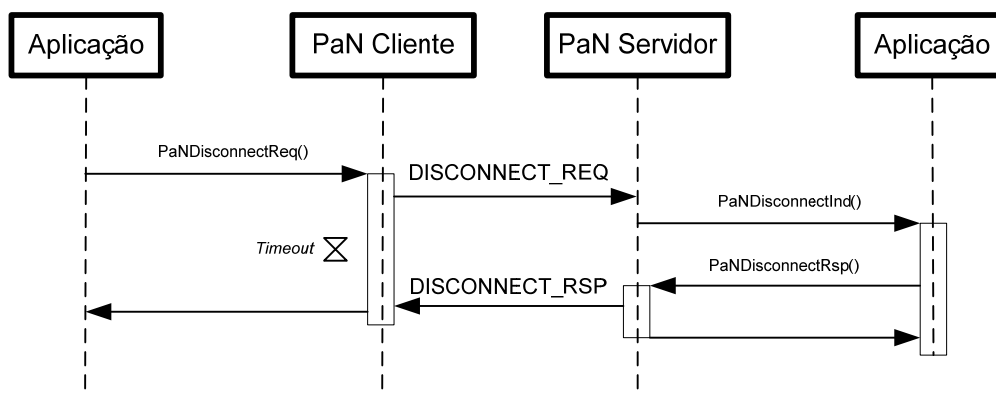


Figura 4-22 Procedimento de separação entre duas unidades de rede

##### 4.2.10.1 Pedido de Separação – DISCONNECT\_REQ

Esta acção indica ao dispositivo que a recebe a intenção de quebrar a ligação que os une. Esta acção não necessita de *campo de dados*.

#### 4.2.10.2 Resposta de Separação – DISCONNECT\_RSP

Esta acção indica ao dispositivo que iniciou o procedimento de desassociação<sup>17</sup> que já foram tomadas as medidas necessárias por parte do outro dispositivo. Quando um dispositivo não puder satisfazer um pedido de separação, deverá informar do facto o dispositivo que desencadeou o procedimento, através da indicação de validação na acção de resposta e cujo campo de dados está representada no Quadro 4-8.

Quadro 4-8 Campo de dados da acção DISCONNECT\_RSP

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS	0x00
		-NO_CONNECTION	0x01

#### 4.2.11 Procedimento de Ligação lógica (*binding*)

O procedimento de ligação lógica de serviços entre dispositivos distintos possibilita o estabelecimento de ligações lógicas para a troca de informação de processo entre dois dispositivos, como se ilustra na Figura 4-23. Com esta facilidade, a camada de aplicação de dispositivo não necessita de conhecer o endereço da unidade com a qual pretende trocar informação. As ligações lógicas entre as unidades (através do seu endereço) são ocultadas pela camada de alto nível do protocolo, isto é, a camada de aplicação de dispositivo requer uma ligação lógica, e se esta foi efectuada com sucesso, invoca essa ligação através de um identificador de ligação retornado pela camada de alto nível.

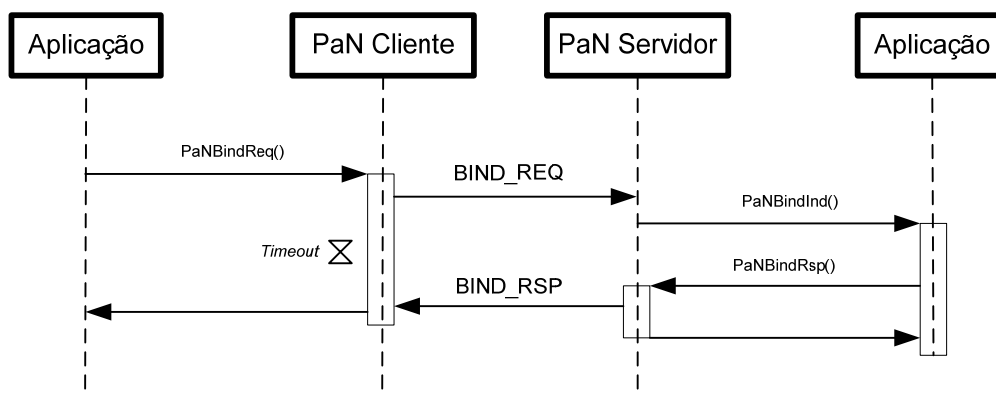


Figura 4-23 Procedimento de *binding* entre dois serviços em unidades distintas

<sup>17</sup> Não se trata de uma desassociação ao nível da rede, mas sim ao nível da camada de alto nível.

#### 4.2.11.1 Pedido de Ligação Lógica – BIND\_REQ

Esta acção é utilizada pelos dispositivos para iniciar o procedimento de ligação lógica entre serviços em unidades diferentes. O campo de dados desta acção, que está representada no Quadro 4-9, tem a seguinte estrutura: (a) os primeiros dois *bytes* indicam o tipo de serviço a ser ligado, (b), o segundo campo diz respeito à acção no serviço, e (c) o terceiro campo, de um *byte*, diz respeito à direcção da ligação, tal como é “vista” pelo elemento que inicia o procedimento, podendo assumir três valores distintos: (i) Out – o serviço origina informação e os dispositivos que o possuem tomam parte activa na actualização da informação com o envio de mensagens SETDATA\_REQ e GETDATA\_REQ, (ii) In – para serviços que recebam informação, os dispositivos com este tipo de ligação assumem um papel passivo sobre a troca e actualização da informação, recebendo acções SETDATA\_REQ e GETDATA\_REQ, e (iii) InOut – é utilizado para serviços bidireccionais, que tanto recebem como geram informação, e, nesta situação, é possível o acesso à totalidade das acções em ambas as unidades.

**Quadro 4-9 Campo de dados da acção BIND\_REQ**

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned integer	Serviço	0x10 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Acção	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção	-BIND_IN_OUT	0x00
		-BIND_IN	0x01
		-BIND_OUT	0x02
Unsigned byte	Porto local	0x01 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Acção remota	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Porto remoto	PORT_ANY	0x00
		0x01 a 0xFFFF	

Cada serviço apresenta um porto diferente, único em cada dispositivo, e a sua função é servir de multiplexador em situações onde exista mais do que um serviço do mesmo tipo num dispositivo. Os portos remotos, bem como as acções, podem ser conhecidos através de um procedimento de busca, que será desenvolvido nas secções seguintes. Quando um dispositivo não especifica um porto remoto através do uso PORT\_ANY, o dispositivo remoto (interlocutor) toma a iniciativa de efectuar a ligação ao primeiro porto que está disponível para o serviço pretendido.

#### 4.2.11.2 Resposta de Ligação Lógica – BIND\_RSP

Esta acção indica, à estação que iniciou o pedido de ligação lógica, que a estação receptora processou o pedido. O campo de dados desta acção, que se apresenta no Quadro 4-10, deverá ser preenchido do seguinte modo: (i) o primeiro byte indica a validação da resposta, (ii) o valor do campo relativo à direcção da ligação deve ser o mesmo que o da acção de pedido, e (iii) o campo “acção local” deverá conter a acção do dispositivo que iniciou o pedido, e o campo “acção remota” o valor da acção do dispositivo remoto, (iv) o campo “porto local” deve conter o porto do dispositivo que iniciou o pedido, e o campo “porto remoto ” deve ter o porto do dispositivo que aceita a ligação. Se um dispositivo não aceita um pedido de ligação lógica, ele deverá indicar o erro na resposta ao pedido.

**Quadro 4-10 Campo de dados da acção BIND\_RSP**

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -INCORRECT_VALUE -INVALID_SERVICE -BINDING_REJECTED -BINDING_EXISTS -BINDING_OVERFLOW -INVALID_PORT -INVALID_ACTION -NO_CONNECTION	
Unsigned integer	Tipo de serviço	0x10 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
Unsigned byte	Acção local	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Porto local	0x01 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Acção remota	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Porto remoto	0x01 a 0xFFFF	

#### 4.2.12 Procedimento de Quebra de Ligação Lógica (*unbinding*)

Este procedimento termina com uma ligação lógica previamente estabelecida entre serviços de dispositivos distintos – no entanto, não é terminada a ligação precedente –, encontrando-se ilustrado na Figura 4-24.

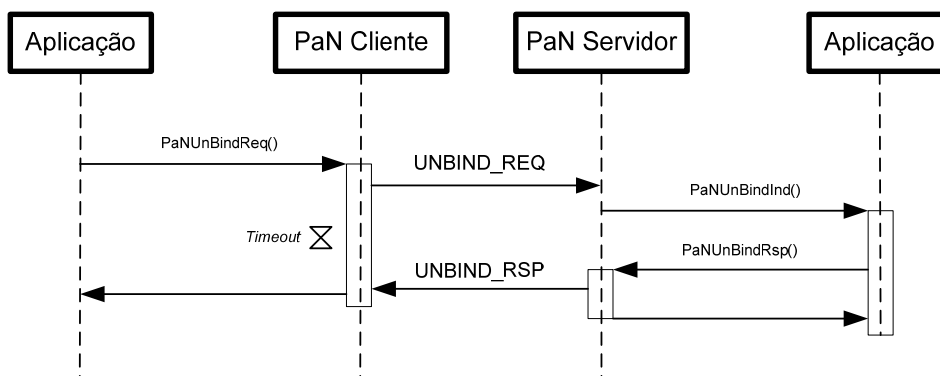


Figura 4-24 Procedimento para desligar dois serviços em unidades distintas

#### 4.2.12.1 Pedido de Quebra de Ligação Lógica – UNBIND\_REQ

Esta acção, quando recebida, indica que o parceiro de ligação lógica pretende terminar a ligação entre ambos. O campo de dados para esta acção está representado no Quadro 4-11, onde os parâmetros serviço – direcção, acções locais e remotas, portos locais e remotos – deverão representar a ligação que se pretende terminar.

Quadro 4-11 Campo de dados da acção UNBIND\_REQ

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned integer	Tipo de serviço	0x10 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT	0x00
		-BIND_IN	0x01
		-BIND_OUT	0x02
Unsigned byte	Acção local	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Porto local	0x01 a 0xFFFF	
Unsigned byte	Acção remota	0x00 a 0xFF	
Unsigned byte	Porto remoto	0x01 a 0xFFFF	

#### 4.2.12.2 Resposta de Quebra de Ligação Lógica – UNBIND\_RSP

Esta acção é a confirmação de remoção da ligação lógica entre serviços. O campo de dados desta acção está descrito no Quadro 4-12, sendo que: (i) os campos relativos ao serviço e direcção devem conter a mesma informação da acção de pedido, (ii) o campo “acção local” deve conter a acção do dispositivo que inicia o procedimento, e o campo “acção remota” deve conter a acção do dispositivo que envia a confirmação, e (iii) o campo “porto local” deve conter o porto do dispositivo que inicia o procedimento, e o campo “porto remoto” deve conter o porto do dispositivo que envia a confirmação.

Quadro 4-12 Campo de dados da acção UNBIND\_RSP

Tipo	Nome	Valor
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -NO_BINDING, -INVALID_PORT, -NO_CONNECTION
Unsigned integer	Tipo de serviço	0x10 a 0xFFFF
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT      0x00 -BIND_IN            0x01 -BIND_OUT           0x02
Unsigned byte	Acção local	0x00 a 0xFF
Unsigned byte	Porto local	0x01 a 0xFFFF
Unsigned byte	Acção remota	0x00 a 0xFF
Unsigned byte	Porto remoto	0x01 a 0xFFFF

### 4.2.13 Procedimento de Escrita Remota de Dados

Este procedimento permite que um dispositivo possa alterar o valor do serviço numa unidade remota, tal como se encontra ilustrado na Figura 4-25.

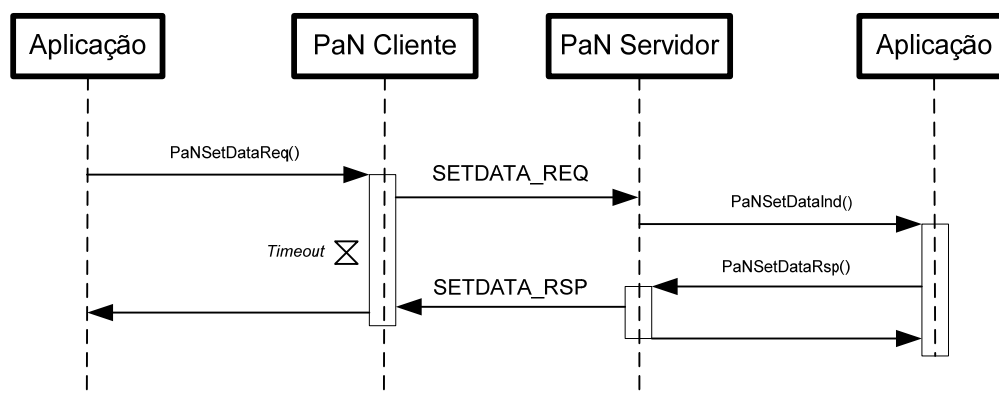


Figura 4-25 Procedimento de escrita remota de dados

#### 4.2.13.1 Pedido de Escrita de Dados – SETDATA\_REQ

Esta acção é utilizada pelos dispositivos fonte de informação – ver a secção 4.2.11.1 – para assegurarem a actualização de um serviço remoto localizado noutra dispositivo. Esta acção só poderá ser enviada depois de efectuado o procedimento de ligação lógica entre os serviços. O Quadro 4-13 caracteriza o campo de dados desta acção, que é composto pelo valor do serviço a actualizar e cujo formato é especificado pelo serviço.

**Quadro 4-13 Campo de dados da acção SETDATA\_REQ**

Tipo	Nome	Valor
Definido pelo Serviço	Valor	Definido pelo serviço

**4.2.13.2 Resposta de Escrita de Dados – SETDATA\_RSP**

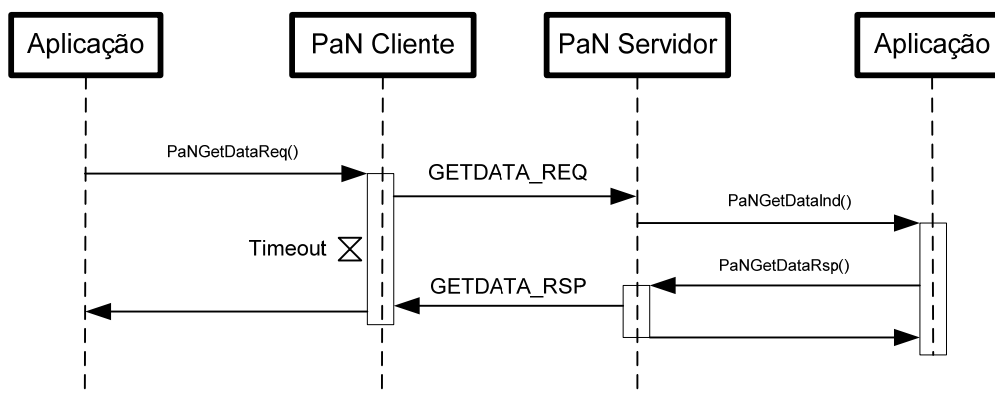
Esta acção é utilizada pelo detentor do serviço remoto, para responder ao dispositivo que solicitou a alteração do valor do serviço. O campo de dados está representado no Quadro 4-14, onde o campo “valor” deve toma o valor do serviço depois de actualizado.

**Quadro 4-14 Campo de dados da acção SETDATA\_RSP**

Tipo	Nome	Valor
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -NO_BINDING, -INCORRECT_VALUE, -INVALID_PORT, -INCORRECT_DIRECTION, -PACKET_TOO_LARGE
Definido pelo Serviço	valor	Definido pelo serviço

**4.2.14 Procedimento de Leitura Remota de Dados**

Este procedimento visa obter, através de um procedimento de leitura, o valor do serviço remoto ao qual se está ligado por uma ligação lógica, tal como se encontra ilustrado na Figura 4-26.



**Figura 4-26 Procedimento de leitura remota de dados**

#### 4.2.14.1 Pedido de Leitura de Dados – GETDATA\_REQ

Através desta acção, um dispositivo pede a outro dispositivo, com o qual mantém uma ligação lógica entre serviços, que lhe envie o valor actual do serviço. Esta acção não requer qualquer campo de dados, devendo o campo “tamanho” do pacote PaN ser 0x00. Esta acção só deverá ser enviada se existir uma ligação lógica entre os serviços nos dois dispositivos.

#### 4.2.14.2 Resposta de Leitura de Dados – GETDATA\_RSP

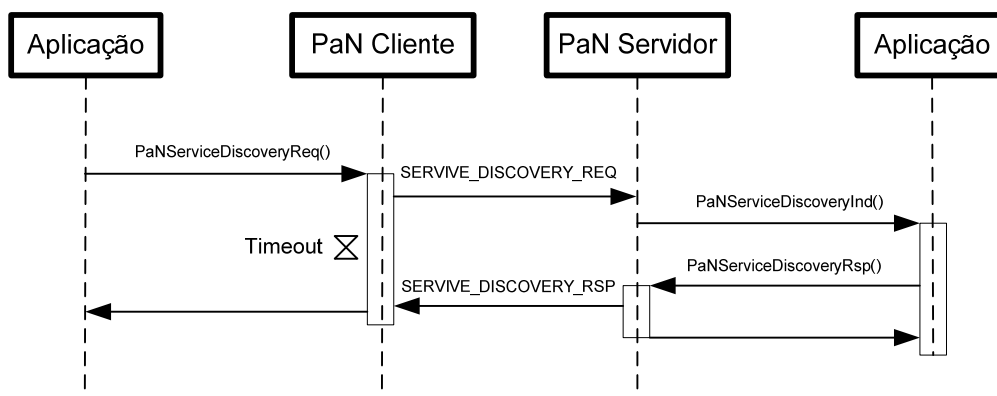
Esta acção apresenta a resposta ao pedido de leitura sobre um determinado serviço. Na resposta consta o valor actual do serviço e a informação que identifica a ligação – observar o Quadro 4-15.

**Quadro 4-15 Campo de dados da acção GETDATA\_RSP**

Tipo	Nome	Valor
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -NO_BINDING, -INCORRECT_VALUE, -INVALID_PORT, -INCORRECT_DIRECTION, -PACKET_TOO_LARGE
Definido pelo Serviço	Valor	Definido pelo serviço

#### 4.2.15 Procedimento de Pesquisa de Serviços

Este procedimento é utilizado por um dispositivo com o intuito de conhecer os serviços que a vizinhança da rede possui e aos quais poderá efectuar ligações lógicas, encontrando ilustrado na Figura 4-27.



**Figura 4-27 Procedimento de Pesquisa de Serviços**

#### 4.2.15.1 Pedido de Pesquisa de Serviço – SERVICE\_DISCOVERY\_REQ

Esta acção é utilizada por um dispositivo para conhecer os serviços de dados que a vizinhança da rede oferece, encontrando-se o respectivo campo de dados representado no Quadro 4-16: (i) quando o campo “serviço” assumir o valor ALL\_SERVICES, o dispositivo pretende conhecer todos os serviços disponíveis na vizinhança, e (ii) se este campo assumir um valor compreendido entre 0x10 e 0x FFFF, o dispositivo pretende efectuar uma busca selectiva.

**Quadro 4-16 Campo de dados da acção SERVICE\_DYSCOVERY\_REQ**

Tipo	Nome	Valor
Unsigned integer	Tipo de serviço	-ALL_SERVICES = 0x00, -0x10...0xFFFF

#### 4.2.15.2 Resposta de Pesquisa de Serviço – SERVICE\_DISCOVERY\_RSP

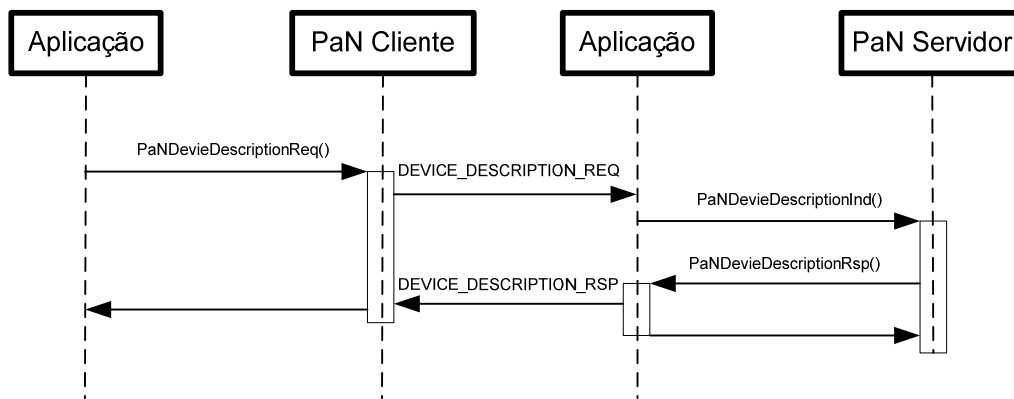
Esta acção representa a resposta de um dispositivo, quando solicitado sobre os serviços que implementa. O campo de dados desta acção está definido no Quadro 4-17, apresentando-se com o mesmo formato do SERVICE\_DISCOVERY\_REQ: (i) o campo “número de serviços” indica o número de serviços disponíveis no dispositivo, num máximo de 255, e (ii) os campos “Serviço” e “Porto” são repetidos para cada tipo de serviço listado, os campos “Acção, e “Direcção” são repetidos para cada acção do serviço.

Quadro 4-17 Campo de dados da acção SERVICE\_DYSCOVERY\_RSP

Tipo	Nome	Valor	
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -NO_CONNECTION, -PACKET_TOO_LARGE	
Unsigned byte	Número de serviços	0x00 a 0xFF	
Unsigned integer	Tipo de serviço 1	0x10...0xFFFF	
Unsigned byte	Número de acções	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Acção 1	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
Unsigned byte	Acção 2	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
...	...	...	
Unsigned byte	Acção n	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
Unsigned byte	Porto	0x01 a 0xFF	
...	...	...	
Unsigned integer	Tipo de serviço n	0x10...0xFFFF	
Unsigned byte	Número de acções	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Acção 1	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
Unsigned byte	Acção 2	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
...	...	...	
Unsigned byte	Acção n	0x01 a 0xFF	
Unsigned byte	Direcção de ligação	-BIND_IN_OUT -BIND_IN -BIND_OUT	0x00 0x01 0x02
Unsigned byte	Porto	0x01 a 0xFF	

#### 4.2.16 Procedimento de Identificação

Através deste procedimento um dispositivo pode pedir a apresentação de outros dispositivos, de forma identificá-los. Na informação relativa à apresentação constam o nome do dispositivo, o fabricante e o modelo. Este procedimento está ilustrado na Figura 4-28.



**Figura 4-28 Procedimento de Identificação**

#### 4.2.16.1 Pedido de Identificação – DEVICE\_DESCRIPTION\_REQ

Através desta acção, um dispositivo pode pedir que outro dispositivo se apresente. Esta acção não transporta qualquer campo de dados, devendo o campo “tamanho” do pacote PaN ser 0x00.

#### 4.2.16.2 Resposta de Identificação – DEVICE\_DESCRIPTION\_RSP

Esta acção contém a informação de apresentação de um dispositivo, que é enviada em resposta a uma solicitação DEVICE\_DESCRIPTION\_REQ de outra unidade na rede. O campo de dados desta acção está caracterizado no Quadro 4-18.

**Quadro 4-18 Campo de dados da acção DEVICE\_DESCRIPTION\_RSP**

Tipo	Nome	Valor
Unsigned byte	Validação	-SUCCESS -NO_CONNECTION, -PACKET_TOO_LARGE
Unsigned byte	Tamanho do Nome do Dispositivo	0x00 .. 0x10
Unsigned Byte ARRAY	Nome do Dispositivo	Cada byte representa um carácter do nome em acordo com a tabela ASCII
Unsigned byte	Tamanho Nome do Fabricante	0x00 .. 0x10
Unsigned Byte ARRAY	Nome do Fabricante	Cada byte representa um carácter do nome em acordo com a tabela ASCII
Unsigned byte	Tamanho do Modelo	0x00 .. 0x10
Unsigned Byte ARRAY	Nome do Modelo	Cada byte representa um carácter do nome em acordo com a tabela ASCII

## 4.3 COMUNICAÇÕES CABLADAS

O protocolo CANopen baseia-se na norma de comunicações CAN (*Controller Area Network*), que tem mostrado tão bons resultados em aplicações industriais, laboratoriais e médicas. O protocolo CANopen especifica, do ponto de vista das funções de gestão de rede, dois tipos de unidades: unidades escravas e unidades mestre. Contudo, a especificação de ambas apresenta um agregado de funções mínimas, comuns a todos os elementos da rede, e um conjunto de funções opcionais que é necessário seleccionar.

### 4.3.1 Unidades Escravo

As unidades escravas identificam-se com as unidades de quadro do presente trabalho. Estas unidades, do ponto de vista da participação na rede, apresentam as seguintes características: (i) não participam na gestão de rede, (ii) são servidores para os objectos de serviço (objectos SDO), que possibilitam à unidade mestre o acesso aos seus objectos mapeados na rede (entradas e saídas do dicionário de objectos) – é através desta ligação que a unidade mestre programa e parametriza as unidades escravo, isto é, monta a aplicação de rede, pois do resultado desta parametrização resultam as ligações entre *data points* – , (iii) são consumidoras de mensagens de sincronismo emitidas pelo coordenador de rede, com o objectivo de sincronizar as unidades escravas e manter um *tick* de rede, (iv) são produtores de mensagens de emergência para sinalização de problemas de funcionamento, e (v) são consumidores e produtores de informação de aplicação funcional (objectos PDO), isto é, possuem entradas e saídas (*data points*) passíveis de serem interligadas a outras unidades da rede, por forma a formarem a aplicação distribuída.

### 4.3.2 Unidade Mestre

A unidade mestre é responsável pela gestão e formação da rede, e, deste modo, é parte integrante da unidade integradora supervisora (UIS). Do ponto de vista funcional, esta unidade possui as seguintes características: (i) gestão de rede, isto é, será capaz de arrancar com a aplicação – uma vez que os dispositivos CANopen possuem vários estados de funcionamento e a transição entre estados é realizada pela unidade mestre,

esta poderá retirar da rede unidades propensas a perturbarem o correcto funcionamento da mesma e implementa, para as aplicações mais críticas, protocolos de verificação de operacionalidade, (ii) produção de mensagens de sincronismo, isto é, manutenção de um *tick* de rede, para facilitar a concertação de operações entre as unidades escravas, (iii) é cliente dos objectos de serviço, possuindo na sua base de dados interna uma imagem de toda a informação disponível sobre cada unidade escravo, e, por conseguinte, de toda a rede, e (iv) é consumidor de mensagens de emergência emitidas pelas unidades escravas.

### 4.3.3 Endereçamento

A norma CAN está orientada por mensagens e não pelos endereços das diferentes unidades da rede. Esta norma especifica um vasto conjunto de mensagens, que são em número:  $2^{11}$  para a versão *standard*, CAN 2.0A e  $2^{29}$  para a versão *extended*; CAN 2.0B. É o peso do identificador da mensagem que controla o acesso ao meio, sendo a maior prioridade atribuída ao identificador 0 e a prioridade mínima ao identificador  $2^{11} - 1$  (versão *standard*) ou  $2^{29} - 1$  (versão *extended*).

O protocolo CANopen formata a atribuição dos identificadores de mensagens, com base num endereço de 7 bit atribuído a cada unidade, restando 4 bit para a selecção da função. Desta forma, existirão unidades que, perante a rede, apresentarão maior ou menor prioridade no acesso ao barramento. O identificador de 7 bit é atribuído por *DIP-switch* a cada unidade, durante a instalação do sistema, e servirá de igual forma para identificar a rede sem fios.

### 4.3.4 Camada Física

A norma CANopen, tendo por base a norma CAN, cuja camada física suporta diferentes configurações e topologias, de modo a fazer face às exigências particulares de cada aplicação, conduziu a uma escolha da norma ISO 11898-2, também designada por CAN *high-speed*. Esta norma é baseada na especificação CAN 2.0A, especificando as camadas *Physical Layer* e *Data Link Layer* do modelo de referência para sistemas abertos ISO/OSI (*International Standard Organisation/Open Systems Interconnection*).

A norma ISO11898 define, na íntegra, a camada *Physical Layer*, preenchendo as lacunas deixadas pela especificação CAN 2.0, sendo usada na maioria das aplicações CAN em todo o mundo.

---

---

# 5

## AS UNIDADES: CONCEPÇÃO E REALIZAÇÃO

O presente trabalho integra várias tecnologias diferentes, quer ao nível do *hardware* de suporte, quer ao nível das tecnologias das comunicações. A diferenciação funcional das várias unidades também conduz, de igual forma, a uma formatação específica do *firmware* e, deste modo, torna-se necessário proceder a uma correcta estruturação deste, a fim de minimizar e confinar as especificidades do *firmware* relativas às diferentes tecnologias.

### 5.1 ARQUITECTURA GERAL DO *FIRMWARE*

A estrutura geral do *firmware* baseia-se nos seguintes factores fundamentais: (i) a realização em torno de uma entidade agregadora, que é materializada pelo núcleo de sistema operativo para tempo real, o SOUBI [Bruno01], [Bruno01-2], (ii) a estratificação por camadas, e (iii) o completo desacoplamento entre as camadas de alto

nível e o *hardware* que, para o efeito, é desempenhado pela camada de abstracção do hardware.

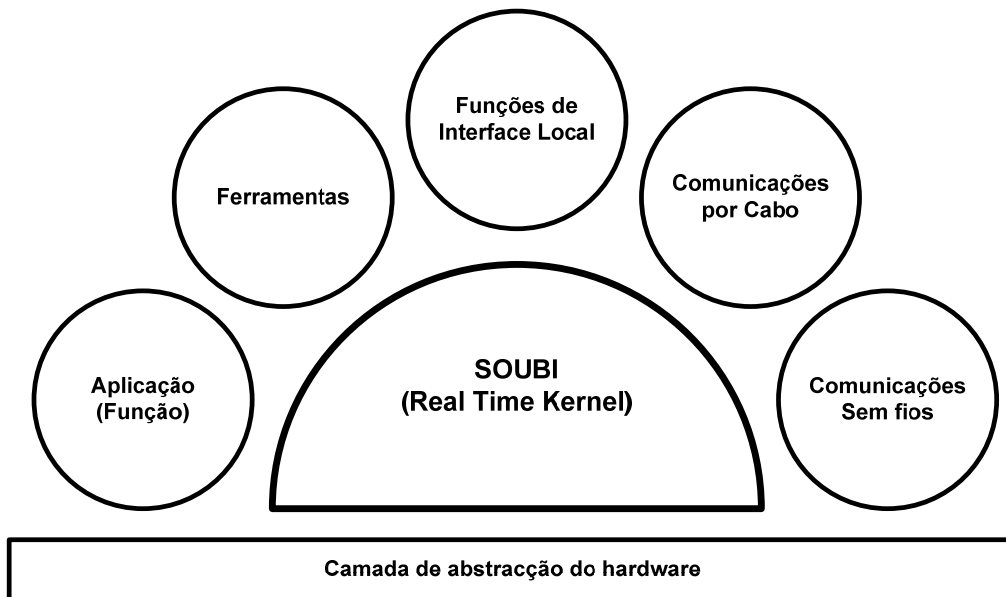


Figura 5-1 Arquitectura geral do *firmware*

São quatro os grandes blocos funcionais, onde se enquadram as várias funções necessárias ao funcionamento dos dispositivos e do sistema global, como pode ser observado na Figura 5-1, onde:

- O módulo “Aplicação” terá um papel agregador e coordenador de todo o *firmware* em cada módulo;
- O módulo “Comunicações por Cabo” apenas está presente nos módulos nas unidades SCI e integra todo o *firmware* de comunicações CAN/CANopen<sup>18</sup>;
- O módulo “Comunicações Sem fios” é comum a todas as unidades e é responsável pelas comunicações sem fios;
- O módulo “Ferramentas” integra as funções que são necessárias ao correcto funcionamento dos outros módulos, bem como à aplicação – as funções enquadram-se na gestão dinâmica de memória RAM, na gestão de um simplificado sistema de ficheiros para arquivamento local de parametrização de configuração (durante a compilação).

<sup>18</sup> Módulo apenas disponível nas unidades de quadro.

- O módulo “Funções de Interface Local” integra o conjunto de funcionalidades relacionadas com a interface entre as unidades o mundo que as rodeia, onde se incluem as várias possibilidades de interface humana, as interfaces de I/O, etc.

Devido à complexidade do *firmware* implementado e como já referido anteriormente, a utilização de um sistema operativo revestiu-se de elevada importância. Neste contexto, e para obviar dificuldades desnecessárias, decidiu-se utilizar um conjunto de mecanismos baseados em tarefas independentes, filas de espera e eventos, afim de manter a articulação entre os vários módulos do *firmware*.

Tal como ao nível da rede, onde as acções coordenadas entre nós são alcançadas por meio de mensagens, a implementação do *firmware* seguiu a mesma linha, isto é, está baseada na troca de mensagens entre as várias camadas. Estas mensagens são trocadas entre as tarefas, de modo a implementarem os necessários procedimentos do protocolo.

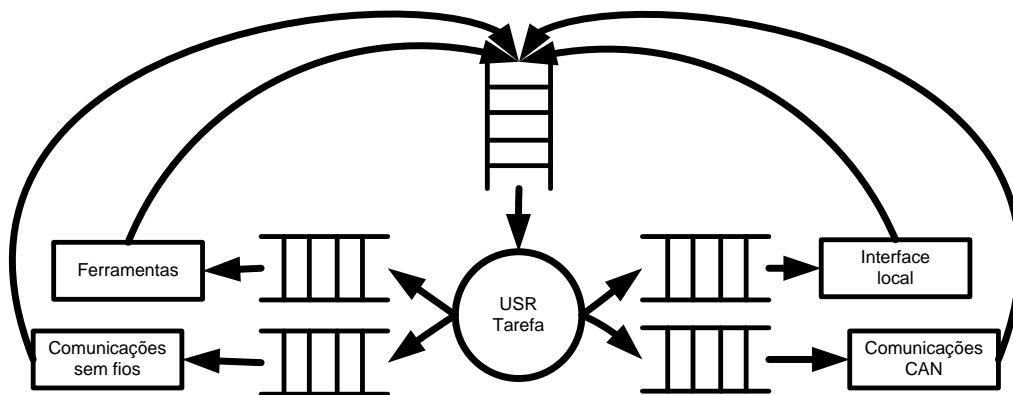


Figura 5-2 Estrutura interna do *firmware*

As mensagens trocadas entre as várias camadas do protocolo enquadram-se em quatro classes: (i) “*pedido*”, sempre que uma entidade toma a iniciativa relativa uma acção, (ii) “*confirmação*”, um resultado obtido em resposta a um “*pedido*”, (iii) “*indicação*”, que surgem no *stack* do protocolo vindas de outros nós da rede, isto é, representa informação vinda da rede, e (iv) “*sincronismo*”, que são mensagens enviadas pelo temporizador do sistema para obrigar as tarefas a efectuarem periodicamente

inspecção às suas *flags* internas e poderem, desta forma, dar continuidade ou terminar acções pendentes.

A formatação das mensagens segue uma linha diferenciada para cada tipo. Contudo, existe um identificador comum correspondendo ao tipo de evento e ao estado, como se indica na Figura 5-3.



Figura 5-3 Formato das mensagens de comando

## 5.2 O NÚCLEO DE SISTEMA OPERATIVO

O *kernel* foi desenvolvido de forma generalizada, não estando, portanto, estritamente vocacionado para esta aplicação. Ainda que tenha havido uma forte preocupação em fazer o seu desenvolvimento em linguagem de alto nível, este não foi possível apenas com recurso a *C standard*. De facto, a existência de um número de pequenas funções com exigência de controlo absoluta da máquina (microcontrolador C167), bem como os requisitos de novas funcionalidades, forçaram-nos a efectuar alterações no código existente para a sua adaptação ao microcontrolador MSP430, bem como a adicionar novos módulos para fazerem face a novas solicitações.

O microcontrolador MSP430, muito embora sendo um dispositivo de 16 bit tal como o C167, apresenta uma estrutura interna bem distinta da deste microcontrolador, no respeitante a partilha de *stack* entre o sistema e o utilizador (*System stack* e *User stack*), chamadas a funções, variáveis temporárias, passagem de parâmetros a funções e interrupções partilham a mesma *stack*. Outra diferença substancial reside no facto de existir a possibilidade de rotinas associadas a interrupções poderem interromper outras rotinas associadas a interrupções com maior prioridade<sup>19</sup>, o que no C167 não é possível,

---

<sup>19</sup> Parece que esta anomalia de funcionamento foi corrigida nas novas versões dos controladores, ficando as interrupções inibidas durante a execução e código relativo às interrupções.

visto este possuir 16 níveis de prioridade de processamento distintos associados às interrupções. Na sequência destas diferenças fundamentais, profundas alterações tiveram de ser efectuadas na gestão de mudança de contexto, com a implementação de uma estratégia diferente para a avaliação do número de interrupções em cadeia – obrigando que a mudança de contexto, no caso de desencadeada por interrupção, só possa acontecer na saída de uma RSI (Rotina de Serviço à Interrupção). Para o efeito, utilizámos a forma clássica – Figura 5-4, com recurso a um contador, que é incrementado na entrada da RSI e decrementado na saída, permitindo que mudanças de contexto de execução só possam ter início se o contador apresentar o valor zero (valor inicial) na saída da RSI.

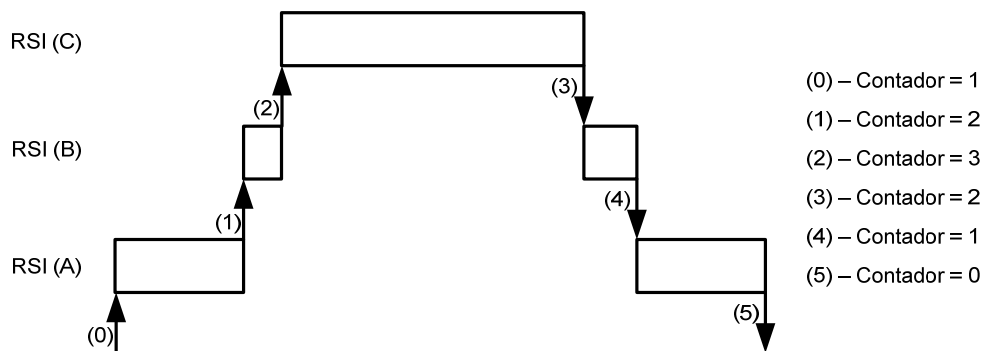


Figura 5-4 Controlo de posicionamento na cadeia de interrupções

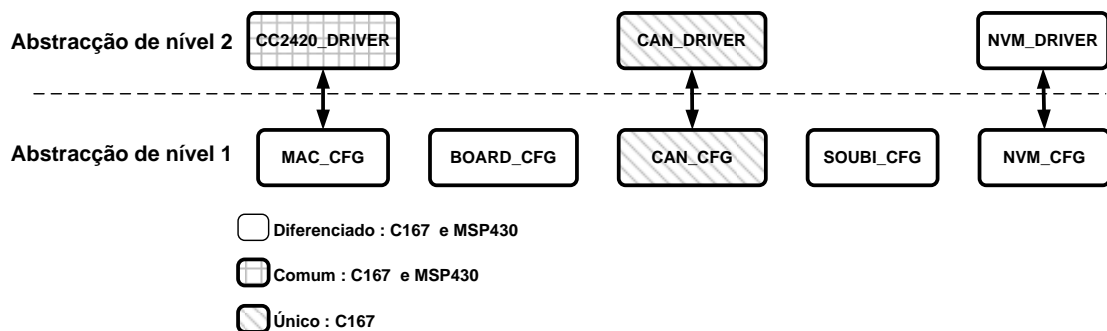
Algumas unidades serão alimentadas por bateria, sempre que se encontrem localizadas fora da instalação eléctrica cablada. Nestes casos, apesar de os dispositivos estarem construídos com base em componentes de baixo consumo, para uma gestão de energia adequada será conveniente desligar o microcontrolador e os periféricos durante o tempo de inactividade dos módulos. O critério que seguimos, para fazer face a este desafio, foi o de sintonizar o período do *tick* de relógio do SOUBI para o período da tarefa periódica com menor período; desta forma, o sistema, em lugar de estar a funcionar “em vazio”, como sucede em situações normais, entra em modo de baixo consumo logo que seja lhe solicitada a execução da tarefa de sistema (*Idle Process*), acordando no próximo *tick*, já para executar a tarefa activada.

### 5.3 CAMADA DE ABSTRAÇÃO DO *HARDWARE*

Esta camada proporciona a interface com o *hardware*, disponibilizando todos os serviços necessários, sem grande exposição ao *hardware*, permitindo a rápida migração para outras plataformas de *hardware*.

De forma geral, a abstracção com o *hardware* é efectuada por duas fases. A primeira, que designamos por primária ou abstracção de nível 1, respeita às ligações entre os dispositivos periféricos e as placas controladoras e, em algumas situações, será o bastante – como no caso em que se utilizam periféricos e recursos exclusivamente pertencentes às placas controladoras (e.g., temporizadores ou interface humana através de LEDs). Noutras situações, em que são utilizados recursos externos, como no caso das interfaces a CAN e a IEEE802.15.4, será necessário uma segunda camada para fazer a abstracção do funcionamento específico do periférico, que designamos por abstracção de nível 2 ou secundária.

A camada de abstracção de *hardware* é efectuada através de pequenos módulos<sup>20</sup>, nos quais, através de pequenas funções e *macros*, se traduz a realidade do *hardware* para a necessária abstracção do *software*. Seguindo esta abordagem de implementação, o primeiro nível de abstracção é constituído por vários módulos, cada um com a necessária ligação entre *hardware* e *software*, que é efectuada apenas com recurso a pequenas *macros*.



**Figura 5-5** Estrutura da camada de abstracção do *hardware*

<sup>20</sup> Entenda-se que no contexto de *software* escrito em linguagem C, um módulo é um par de ficheiros com código C (um ficheiro de código com extensão “c” e um ficheiro de cabeçalho com extensão “h”).

Se uma segunda camada de abstracção for necessária, esta será mais complexa do que a primeira: de uma forma geral, será constituída por vários módulos e deverá apresentar uma interface na forma de API (*Application Program Interface*).

## **5.4 COMUNICAÇÕES SEM FIOS**

A implementação das comunicações sem fios é um dos maiores desafios deste trabalho. A complexidade do protocolo IEEE802.15.4 é relativamente alta, apesar de apenas respeitar a duas das quatro camadas necessárias à implementação das comunicações sem fios. Uma estruturação e organização rigorosa são os factores fundamentais para o sucesso da implementação, tal como a seguir se descreve.

### **5.4.1 Arquitectura Geral**

A Figura 5-6 representa a estrutura base da implementação. Pela observação da referida figura identificam-se três tarefas, correspondendo cada uma a uma camada distinta do protocolo. Tal como a comunicação entre os módulos que compõem a aplicação global, a comunicação entre as várias tarefas que integram este módulo é efectuada através de mensagens de comando.

A possibilidade de responder a eventos síncronos e assíncronos foi conseguida através da utilização de filas e tarefas geridas pelo SOUBI. Desta forma, a activação das tarefas é síncrona devido a eventos de sincronismo gerados pelo sincronizador de operações, mas a presença de mensagens nas filas desencadeará a activação imediata (assíncrona) das tarefas, conferindo-lhes um funcionamento misto. Contudo a activação das tarefas está, apenas, dependente da presença de mensagens no *buffer* e da disponibilidade do processador.

Será importante referir que a “USR Tarefa”, gestor executivo da aplicação global, comunica com a camada de aplicação do protocolo através de mensagens de comando e não pelos procedimentos previamente descritos na secção 4.2.8. Esta estratégia pareceu-nos mais apropriada para este contexto global de implementação.

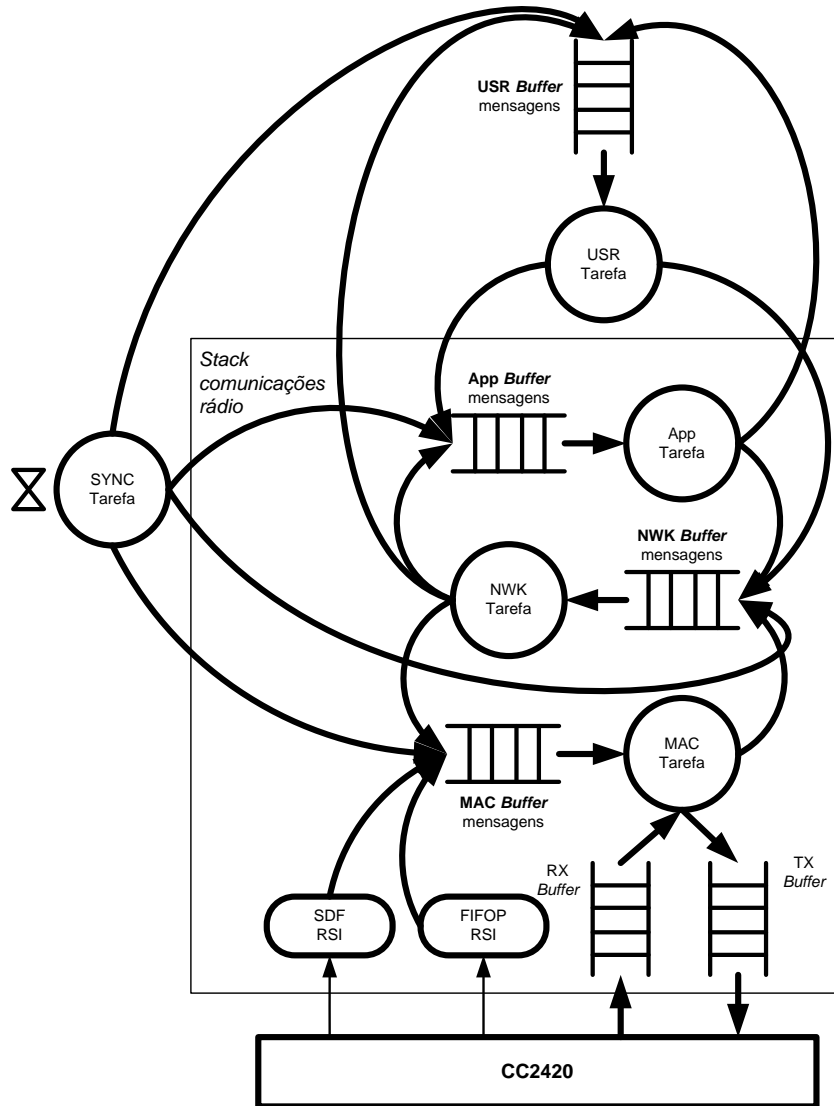


Figura 5-6 Arquitectura geral – comunicações sem fios

### 5.4.2 Abstracção do *Hardware* para o Rádio

O módulo de comunicações sem fios utiliza um periférico externo às placas controladoras. Neste sentido, a abstracção do *hardware* é efectuada em dois níveis, como pode ser observado na Figura 5-7.

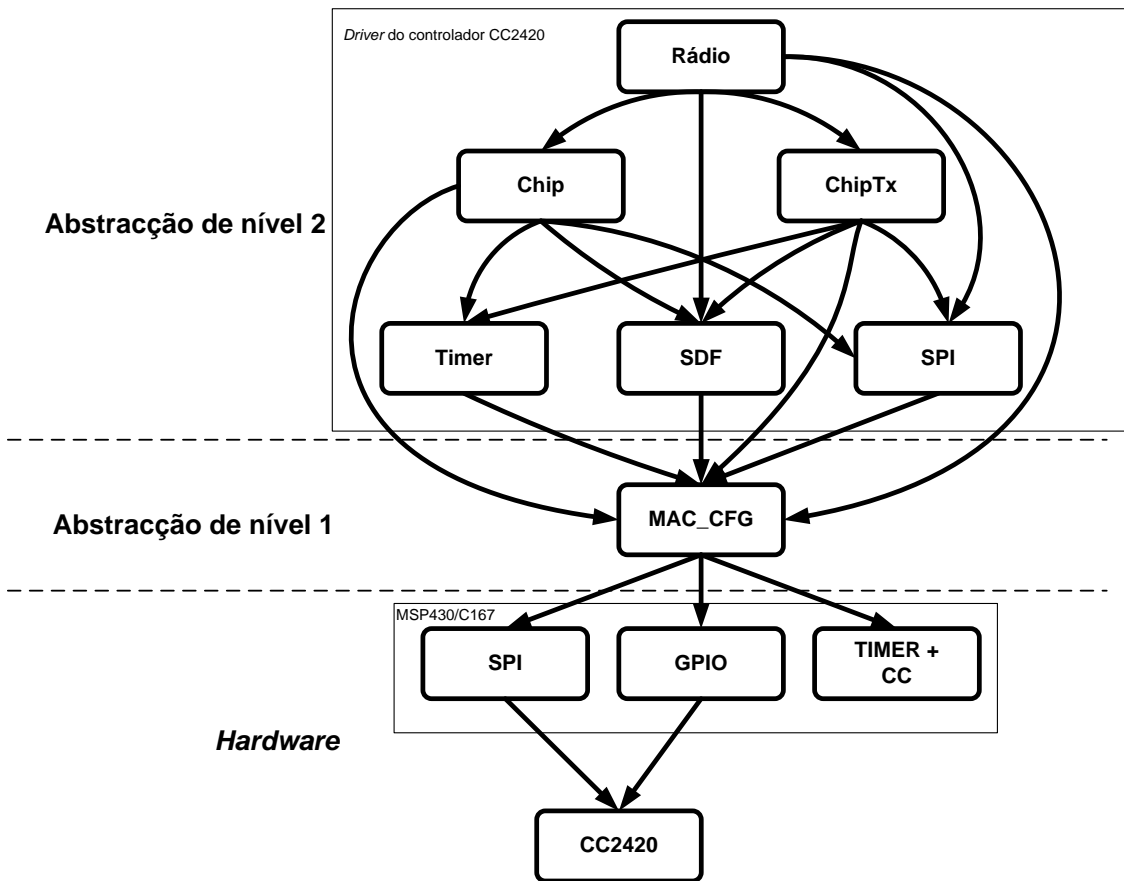


Figura 5-7 Abstracção do *hardware* para módulo de comunicações IEEE802.15.4

#### 5.4.2.1 Configuração – Abstracção de nível 1

O nível de abstracção 1 será responsável pelo primeiro “afastamento” em relação ao *hardware* e, face à existência de diferenciação funcional e tecnológica das unidades, conduziu à existência de duas plataformas de *hardware* distintas, em que ambas utilizam a mesma tecnologia de comunicações sem fios. Assim, a compatibilidade e a abstracção do *hardware* são alcançadas com a diferenciação a este nível de abstracção: o módulo “**MAC\_CFG**” – Figura 5-7 – apresenta as diferentes configurações de *pinout* nas interfaces SPI (*Serial Peripheral Interface*), e dos temporizadores para as diferentes plataformas de *hardware*. Em suma, este módulo é o responsável pela formatação dos acessos ao *hardware*.

#### 5.4.2.2 Driver – Abstracção de nível 2

O *hardware* que serve de base às comunicações sem fios é o *transceiver* Chipcon CC2420 [CC2420] [TI08], o qual é utilizado em ambas as plataformas de

*hardware*, para constituir unidades remotas e unidades de quadro – este dispositivo suporta a camada física na totalidade e, parcialmente, a camada MAC da norma IEEE802.15.4.

Esta camada de *software* possui como objectivo proporcionar módulos funcionais, que permitam à camada MAC do IEEE802.15.4: (i) o controlo do *hardware* ligado às comunicações sem fios, através da organização dos recursos disponibilizados pelo CC2420, assim como alguns disponibilizados pelas placas controladoras, e (ii) auxiliar a transmissão e a recepção de mensagens, segundo a supracitada norma.

A interface do *driver* como as funções de baixo nível da camada MAC do IEEE802.15.4 é conseguido por meio de um módulo unificador (ver a Figura 5-7). Este módulo realiza, por meio de *macros*, a ligação entre a interface do *driver* e as interfaces dos diferentes módulos internos ao *driver*. Desta forma, pretende-se apresentar uma interface única, que oculte os pequenos detalhes internos do *driver*.

O *driver* foi elaborado através da realização de pequenos módulos funcionais, os quais serão referidos nas secções seguintes.

#### **5.4.2.2.1 Gestão do Hardware**

A este grupo funcional pertencem as funções que, directa ou indirectamente, possibilitam o controlo e monitorização dos módulos de *hardware*. As comunicações sem fios utilizam várias interfaces de *hardware* (ver a Figura 5-7).

##### **5.4.2.2.1.1 Módulo CC2420 (rádio)**

Este módulo assume a responsabilidade de coordenador do *driver*, assumindo a responsabilidade da gestão *hardware* do CC2420 e dos periféricos a ele associados. Este assume a responsabilidade de efectuar a inicialização dos outros módulos pertencentes ao *driver*, bem como assegurar as funções de alto nível para acesso ao controlador CC2420: (i) controlo do funcionamento do controlador CC2420, com as funções de activar e desactivar regulador interno, activar e desactivar oscilador e medida da RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), (ii) fixar o identificador de rede, (iii) inicializar o *driver*, com a consequente inicialização dos módulos que lhe estão hierarquicamente abaixo (ver a Figura 5-7), (iv) gerir o acesso aos registos de configuração,

nomeadamente ao registo de controlo MDMCTRL0, e (v) parametrizar funções relativas a gestão de dados nos *buffers* e à atribuição de um identificador de rede ao controlador.

#### 5.4.2.2.1.2 Módulo Timer (Temporizadores)

Os temporizadores são peças fundamentais na implementação do protocolo IEEE802.15.4. Sendo certo que o núcleo de sistema operativo proporciona este serviço, a resolução do *tick* do relógio do SOUBI, que está compreendido entre 1ms e 32ms para as duas plataformas de *hardware*, não é compatível com as exigências da camada MAC do IEEE802.15.4, que se encontra formatada para uma *TICK\_RATE* de 320us, e que constitui a referência temporal utilizada no algoritmo de acesso ao meio.

Assim, o módulo de temporizadores apresenta duas interfaces, ambas fazendo uso da mesma *TICK\_RATE* de 320us, que é fixa na CC1 (*Capture and compare 1*) [TI08]. As duas CC utilizam rotinas de serviço a interrupções para sinalizarem os eventos, como se pode observar na Figura 5-8

Uma das interfaces executa medições rigorosas, possuindo, para o efeito, um algoritmo de reposicionamento da CC2 (*Capture and compare 2*) para compensar o efeito da posição actual (instante de início de medição) do contador (Figura 5-9). Esta função é utilizada durante o procedimento de acesso ao meio e durante a transmissão de mensagens. A interface com recurso à CC1 é utilizada durante os procedimentos de medida do RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) e pelos temporizadores na camada MAC.

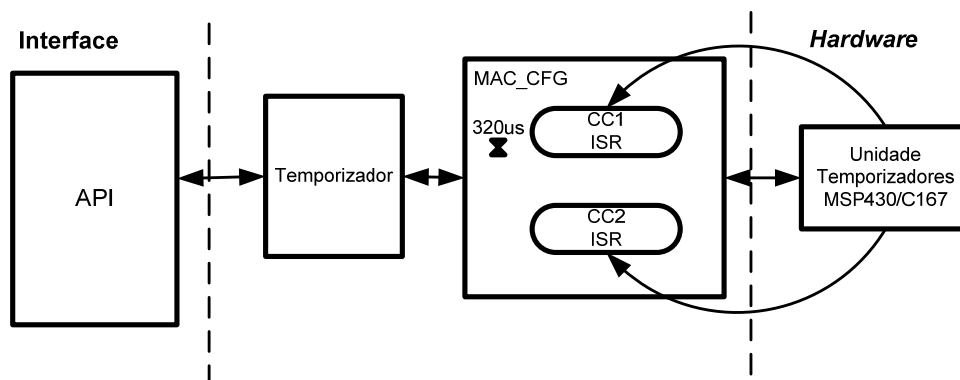


Figura 5-8 Arquitectura interna do módulo temporizadores (módulo *timer* da Figura 5-7)

A interface é composta por três serviços, como se ilustra na Figura 5-8, que possibilitam a inicialização do módulo, a requisição de temporizações com programação de acção no *timeout*, ou, simplesmente, espera por *timeout*. A requisição de serviços está directamente relacionada com as acções da CC2.

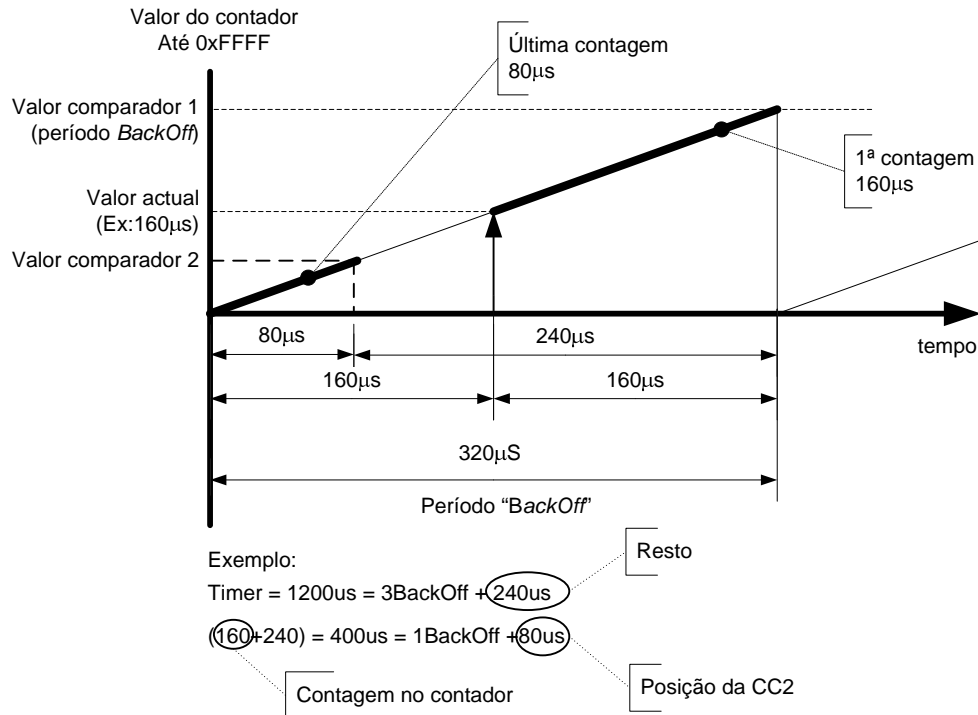


Figura 5-9 Algoritmo de gestão do temporizador – exemplo

#### 5.4.2.2.1.3 Módulo SPI

Este é um módulo de baixo nível, que faz interface directa com o *hardware*, como pode ser observado na Figura 5-10. É este módulo que permite aceder ao controlador CC2420 e, para tal, as suas interfaces estão orientadas segundo os mecanismos gerais de acesso ao referido controlador: (i) envio de comandos, (ii) leitura e escrita directa em registos internos, (iii) escrita e leitura na RAM interna, e (iv) leitura e escrita nos FIFO (RX e TX) do controlador.

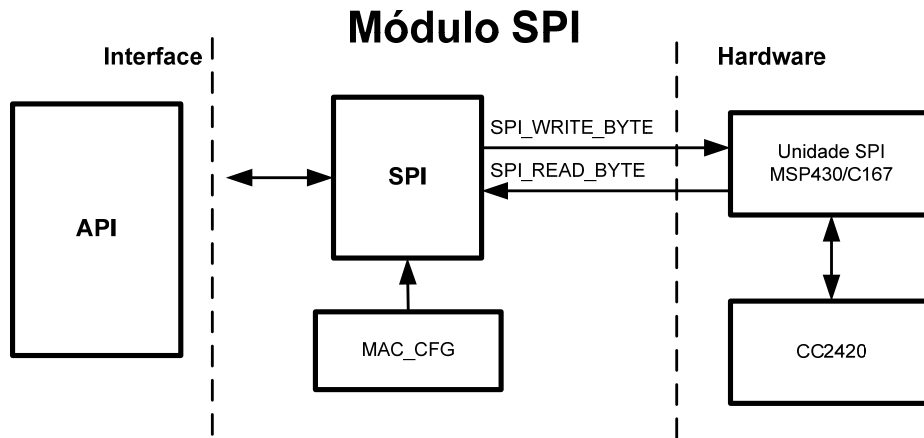


Figura 5-10 Arquitectura interna do módulo SPI

#### 5.4.2.2.2 Auxiliar de Transmissão de Mensagens

O procedimento de transmissão de mensagens é mais complexo do que o da recepção, já que, para garantir a robustez necessária ao sistema, é necessário um apertado controlo dos mecanismos de transmissão oferecidos pelo CC2420.

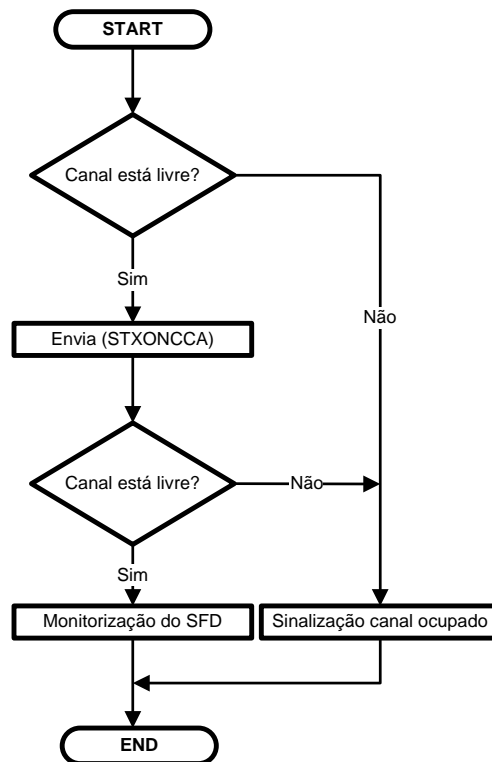


Figura 5-11 Algoritmo de acesso ao meio (actividade TX)

#### 5.4.2.2.1 Módulo Chip\_TX

Este módulo executa ordens provenientes da camada de baixo nível da MAC do IEEE802.15.4, mais concretamente das funções de transmissão de mensagens. As disposições são no sentido de encetar a transmissão, iniciado o algoritmo de CCA (*Clear Channel Assessment*), ou programar acções de *timeout* para controlo de recepção de mensagens de ACK (*Acknowledgement frame*).

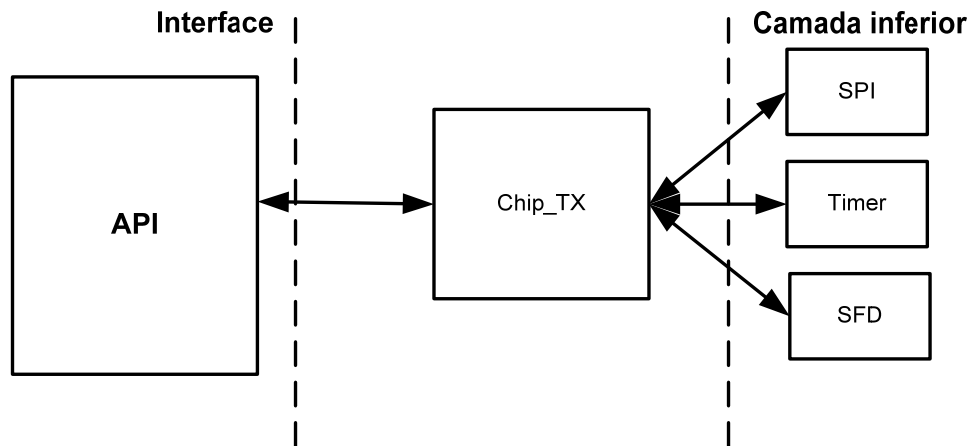


Figura 5-12 Arquitectura do módulo chiptx

#### 5.4.2.2.2 Módulo SFD

O controlador CC2420 faz uso de vários sinais externos para exercer acções imediatas sobre o microcontrolador. Um destes sinais é designado por SFD (*Start of Frame Delimiter*) e indica, durante a transmissão de uma mensagem: (i) o início da transmissão da mensagem, na transição do estado lógico “0” para “1”, e (ii) o fim da transmissão de mensagem, na transição do estado lógico “1” para “0”.

O funcionamento do módulo baseia-se em três estados – ver a Figura 5-13 – cujas transições têm os significados seguintes: (i) a transição 1 é desencadeada no início o procedimento de transmissão de mensagens, (ii) as transições de estado 2 e 3 são desencadeadas na comutação do valor lógico da saída SFD através de evento gerado por uma interrupção, e (iii) a transição 4 força o módulo a entrar no estado “desocupado”.

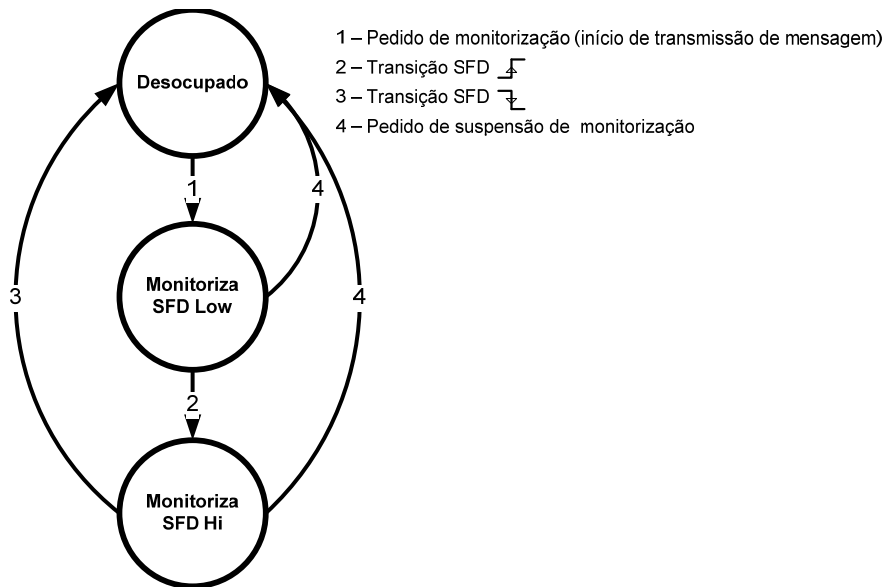


Figura 5-13 Diagrama de estados do módulo SFD

Durante as transições de estados 2 e 3, este executa as acções seguintes: (i) leitura do relógio para marcação temporal, na transição 2, e (ii) sinalização de fim de transmissão, na transição 3.

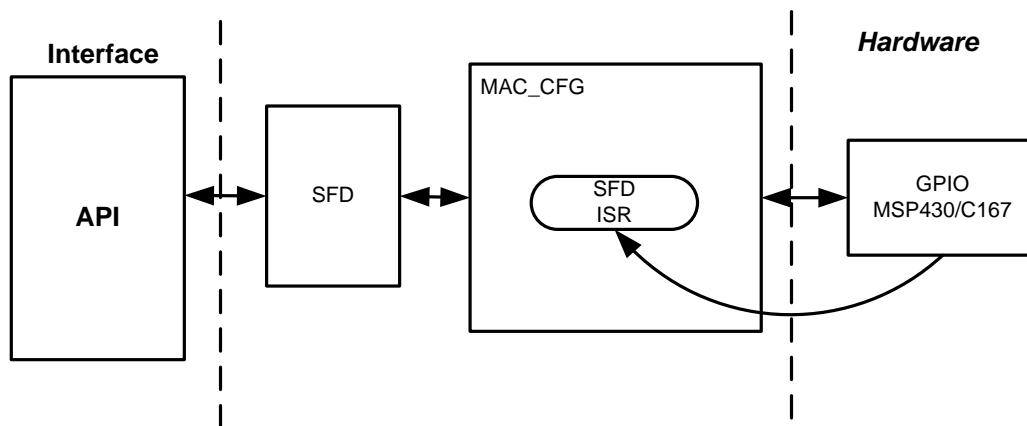


Figura 5-14 Arquitectura interna do módulo SFD

### 5.4.3 MAC – Baixo Nível

O MAC de baixo nível possui a responsabilidade de garantir a articulação de recursos, para assegurar a recepção e transmissão de mensagens, mas não participa na estruturação das mensagens nem na verificação dos dados nelas contidos. As suas responsabilidades cingem-se às funções que necessitem de serviços do *driver* para o controlador CC2420, tais como (i) transmissão e recepção de mensagens, e (ii) gestão

da unidade de radiofrequência, com as consequentes responsabilidades sobre a inicialização e re-parametrização, após os períodos latência<sup>21</sup>,

#### 5.4.3.1 Transmissão e Recepção de Mensagens

A robustez na transmissão e recepção de mensagens constitui o objectivo primordial de qualquer sistema de comunicações. Em particular, o recurso a radiofrequência – IEEE80.2.15.4 – obriga a cuidados especiais, de modo a usufruir das indiscutíveis vantagens, sem penalização de robustez.

Assim, o procedimento de transmissão de mensagens é monitorizado através dos eventos gerados pelo controlador CC2420, para ser garantido o fim de transmissão: sempre que necessário, é iniciado um procedimento de *timeout* pela espera de *acknowledgement*, sendo que a transmissão de mensagens com pedido de *acknowledgement* requer uma forte articulação entre a recepção e a transmissão de mensagens, como a seguir se descreve.

##### 5.4.3.1.1 A Articulação – Transmissão/Recepção

A transmissão e recepção de mensagens no IEEE802.15.4 não são processos apartados, antes estão estreitamente ligados para que seja garantida a máxima robustez ao protocolo. São vários os aspectos a considerar: (i) a necessidade de garantir a correcta entrega de mensagens via rádio, através da utilização de envios com realimentação através de mensagens de ACK (*acknowledgement*) – este mecanismo, sempre que solicitado, requer a íntima ligação entre as funções de transmissão e recepção de mensagens, (ii) sempre que exista indicação para a transmissão se realizar com pedido ACK (*acknowledgement*), o processo de envio fica suspenso até receber indicação da recepção de ACK (Figura 5-15), ou a ocorrência de *timeout*, em que uma indicação de *timeout* ou uma recepção de ACK incorrecto conduzem à indicação de falha na transmissão, (iii) durante a recepção de mensagens que exijam transmissão de ACK, o módulo responsável pela recepção requisita a transmissão da mensagem de

---

<sup>21</sup> As unidades remotas poderão ser alimentadas por bateria, nesta situação será imperativo forçar a entrada destas unidades para o estado de latência, com a consequente desactivação do rádio, durante os períodos de ausência de actividade para aumentar a longevidade das baterias.

ACK ao módulo encarregado pelo envio de mensagens, e (iv) existindo uma tentativa de utilizar o rádio para a transmissão e este esteja ocupado a receber, a transmissão é suspensa, sendo iniciada logo depois de a recepção ter terminado.

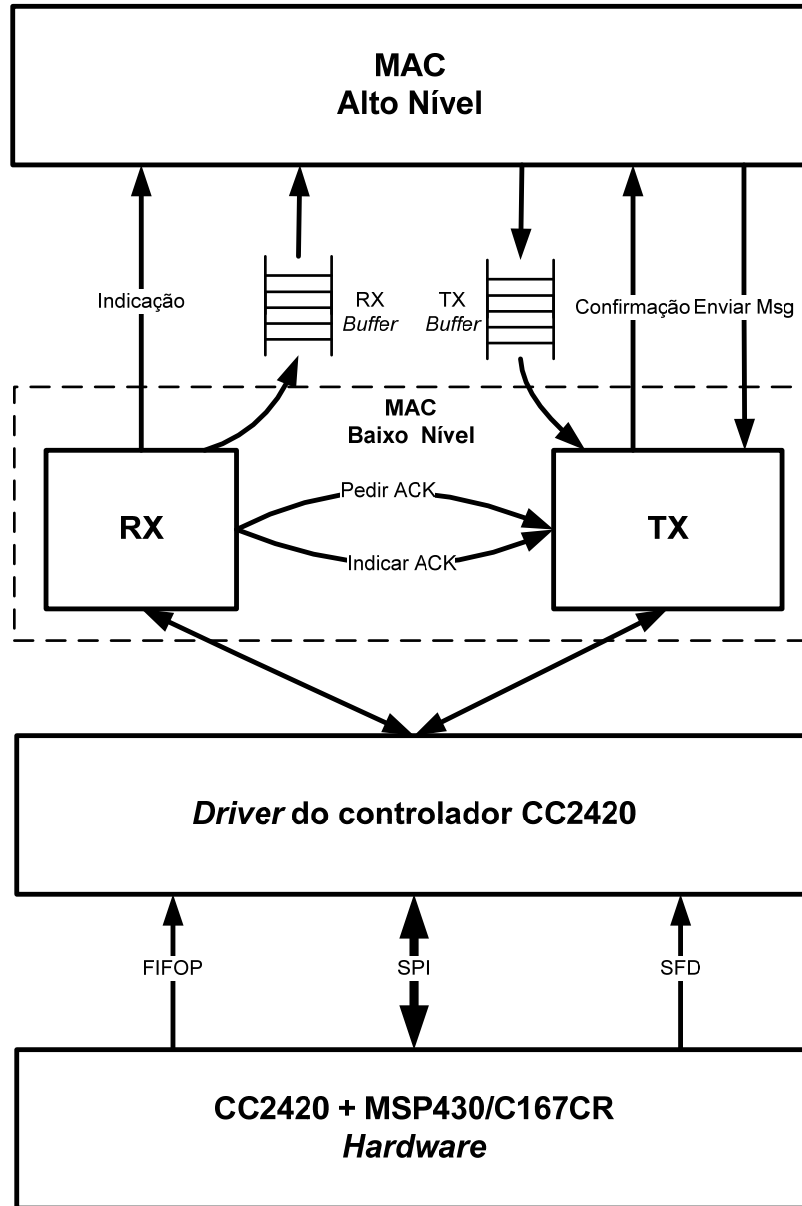


Figura 5-15 Mecanismo de transmissão e recepção de mensagens

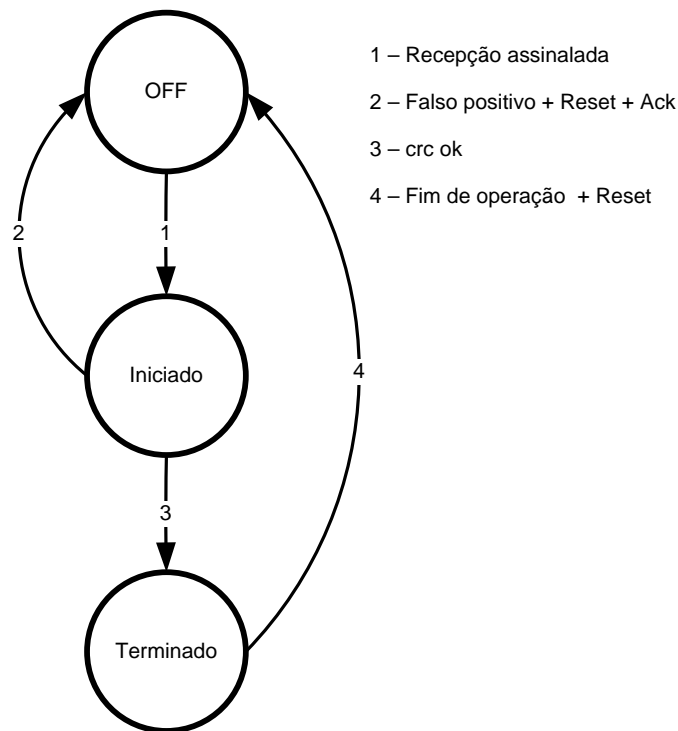


Figura 5-16 Diagrama de estados do modo recepção

#### 5.4.3.1.2 A Recepção

O processo de recepção de mensagens é desencadeado pelo rádio através da sinalização externa indicativa de Rx FIFO *Threshold* (ver especificações do CC2420 em [CC2420]). Essa indicação é desencadeada por um pedido de interrupção ao microcontrolador.

Foi utilizado uma máquina de estados para facilitar o controlo das operações durante a recepção das mensagens, assim como para facilitar a articulação com o módulo de transmissão, tal como se descreve na Figura 5-16. Aqui, os três estados relativos à operação de leitura de mensagens guardadas no controlador CC2420 representam o seguinte: (i) “OFF” indica que não está em curso a leitura, (ii) “Iniciado” indica o decurso de uma leitura, e (iii) “Terminado” indica que a leitura terminou – no entanto, o procedimento de recepção ainda não terminou, ainda sendo necessário enviar a mensagem recebida à camada acima.

O procedimento adoptado para a recepção de mensagens está representado no fluxograma da Figura 5-17, sendo importante referir que este procedimento está dividido em quatro fases: (i) leitura do cabeçalho da mensagem – durante esta fase são

realizados os necessários procedimentos que decorrerão do tipo de mensagem recebida, terminando (para mensagens de dados) com a leitura dos endereços, (ii) leitura do campo de dados da mensagem, (iii) verificação do campo de controlo, e (iv) finalização do procedimento, com a passagem da mensagem recebida à camada MAC de alto nível e reposição do estado inicial no controlador CC2420.

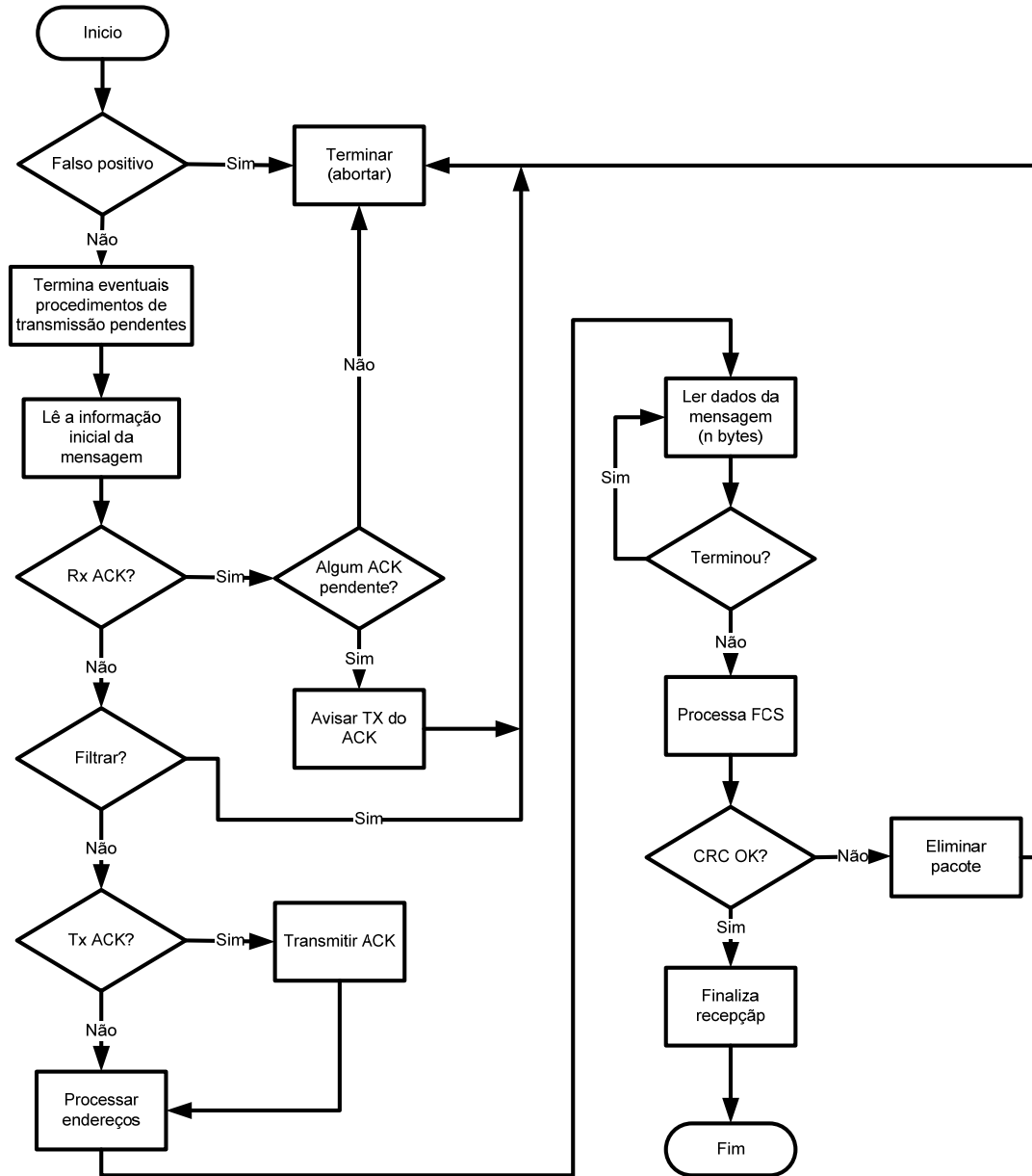


Figura 5-17 Algoritmo do procedimento RX

Após a boa recepção das mensagens que chegam ao controlador, estas são formatadas de acordo com a estrutura de dados representada na Figura 5-18, que se encontra dividida em quatro componentes: (i) o bloco “Comando/Status”, que contém a informação para posterior controlo de acções internas, ao nível das camadas superiores,

(ii) o bloco “Dados”, que contém a informação recebida, (iii) o bloco de controlo interno, que contém informação necessária ao controlo das acções ao nível da MAC de alto nível (só as mensagens de dados são transferidas para as camadas superiores à camada MAC), e (iv) o bloco “Indicação”, onde são colocados os dados de controlo relevantes para as camadas superiores.

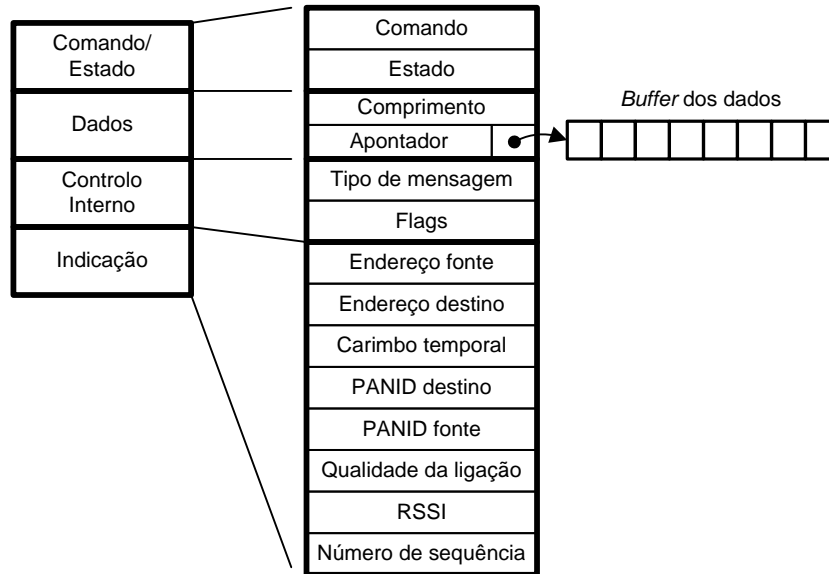


Figura 5-18 Buffer de recepção

### 5.4.3.1.3 A Transmissão

Tal como o procedimento de recepção de mensagens está assente numa máquina de estados, também o procedimento de transmissão de mensagens se baseia numa máquina de estados ilustrada na Figura 5-19. Desta forma, é possível controlar as diferentes etapas envolvidas neste procedimento e, assim, garantir a segurança necessária.

Este módulo prevê a transmissão de mensagens na forma “UNSLOTTED\_CSMA”, “SLOTTED\_CSMA” e “SLOTTED”, embora as duas últimas não tenham sido (ainda) implementadas. Em particular, merecem realce os estados “Fila” e “Espera ACK”, uma vez que surgem para facilitar o sincronismo de operações entre a transmissão e a recepção de mensagens: o estado “Fila” diz respeito à situação em que existe ordem de transmissão, mas o controlador está a receber uma mensagem, caso em que a operação de transmissão fica em espera até que a operação de recepção termine.

As transmissões poderão, sempre que requerido, utilizar a indicação de *acknowledgment* para aumentar a robustez das comunicações. Nesta condição, o estado “Espera ACK” desempenha um papel de sincronismo entre a transmissão e a recepção de mensagens.

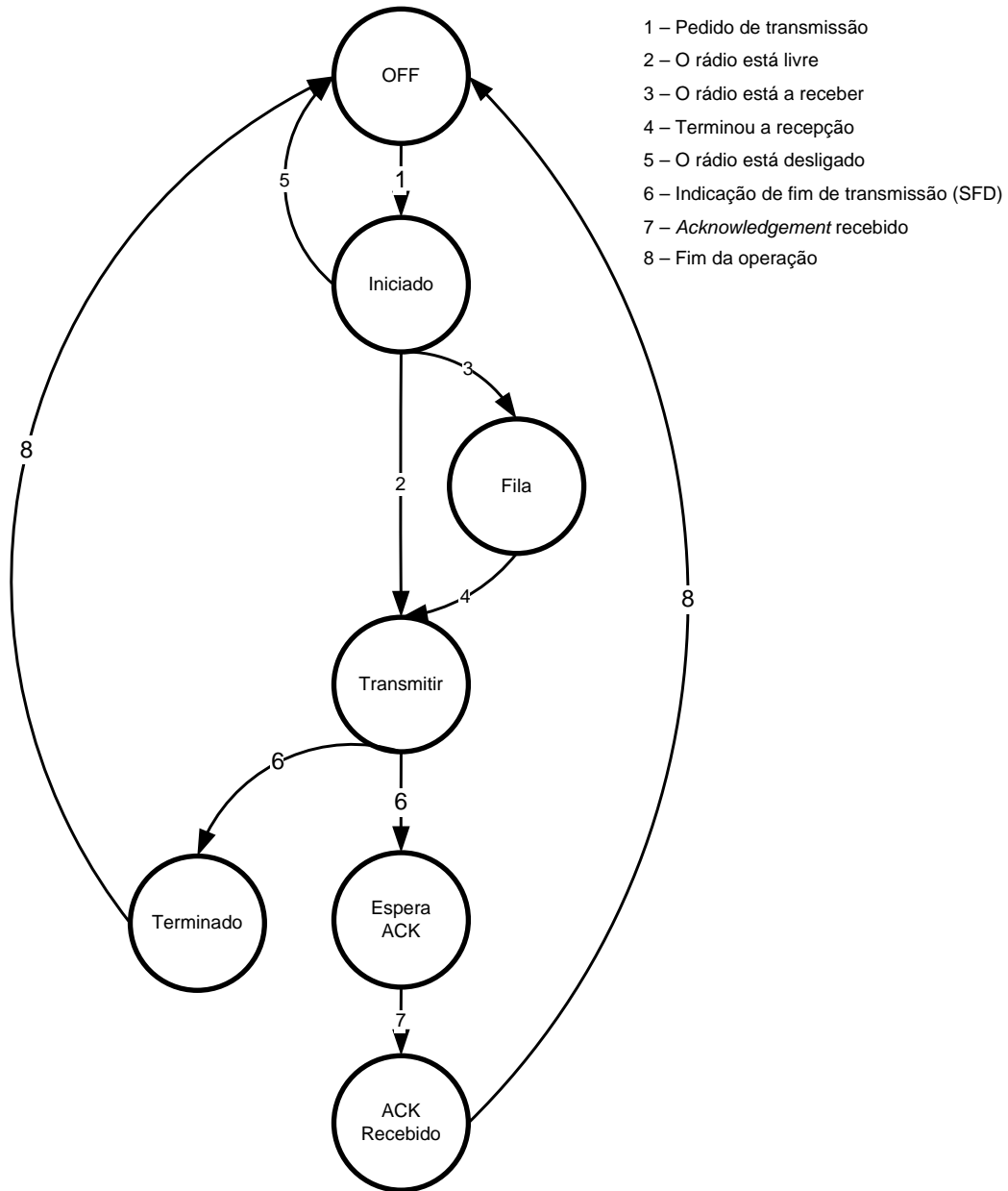


Figura 5-19 Diagrama de estados modo transmissão

Sobre o algoritmo implementado, é relevante salientar três pontos-chave: (i) evitar a redundância de carregar o FIFO do controlador CC2420 com os dados sempre que a camada acima decida retransmitir a mensagem, (ii) gerir o número de tentativas de retransmissão de acordo com o especificado pelas camadas de alto nível, e (iii)

realizar um controlo apertado do procedimento de transmissão baseado em sinalização emitida pelo controlador, com base na indicação SFD do controlador CC2420 [CC2420] para fazer o rastreio ao envio.

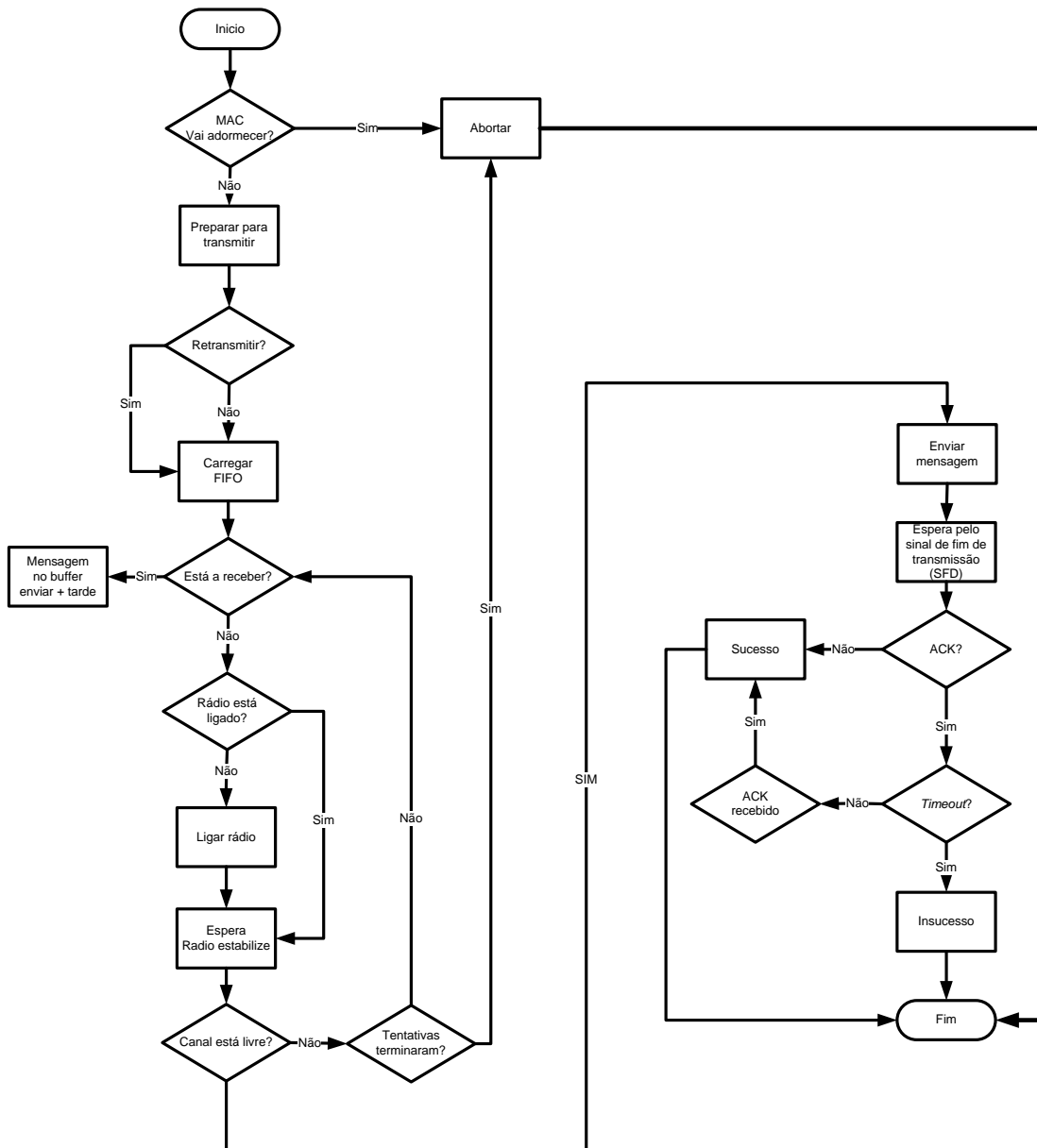


Figura 5-20 Algoritmo do procedimento de TX

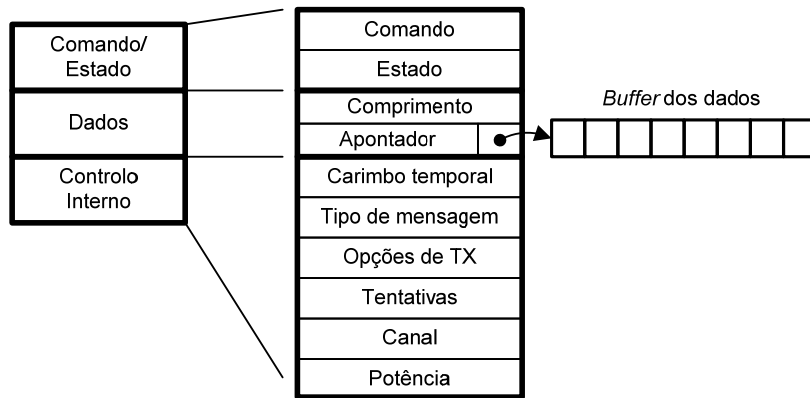


Figura 5-21 *Buffer de transmissão*

Os dados chegam a este módulo formatados na estrutura de dados representada na Figura 5-21, que está dividida em três secções: (i) o bloco “Comando/Status”, que contém a informação para posterior controlo de acções internas, ao nível das camadas superiores (confirmação), (ii) o bloco “Dados”, que contém a informação a transmitir; e (iii) o bloco “Controlo Interno”, que contém a informação auxiliar ao controlo da transmissão.

#### 5.4.3.2 **Gestão do Rádio**

A este grupo funcional são atribuídas funções de gestão de alto nível do *driver* do rádio: (i) inicialização e restabelecimento das condições iniciais (*reset*), (ii) controlo de funcionalidade de alto nível atribuídas ao rádio, e (iii) entrada e saída do estado de latência das comunicações rádio.

Adicionalmente, a gestão de energia constitui um aspecto primordial, sobretudo quando se trata de unidades alimentadas por bateria – nesta situação, com unidades rádio permanentemente ligadas no modo de recepção (RX), duas baterias de 900 mA.h não durariam mais que algumas horas. Por conseguinte, nestas unidades é seleccionado um modo de funcionamento síncrono, activado por um temporizador interno, com estreitos períodos de vigília, em que são executados os procedimentos de sincronização de dados pendentes (*polling* ao “pai” respectivo) e os normais algoritmos da função desempenhada.

As unidades alimentadas por bateria são, todas elas, baseadas no microcontrolador MSP430, em razão do seu baixo consumo. O SOUBI tira partido

dessas características, mas o dispositivo de radiofrequência é, destacadamente, o elemento mais consumidor de energia e, assim, um controlo apertado sobre ele é primordial para alcançar uma longevidade aceitável das baterias. Com este intuito, foram previstos três estados de funcionamento do rádio: (i) “rádio operacional”, em que o rádio se encontra no modo RX, preparado para qualquer eventual recepção ou para iniciar uma transmissão – neste estado o consumo é máximo, (ii) “rádio OFF”, em que o controlador se encontra desligado e, conseqüentemente, também o rádio – neste estado os consumos são nulos, e (iii) “Rádio oscilador OFF”, que é um estado intermédio de poupança de energia, permitindo uma passagem mais rápida ao estado “rádio operacional” que o estado “rádio OFF”.

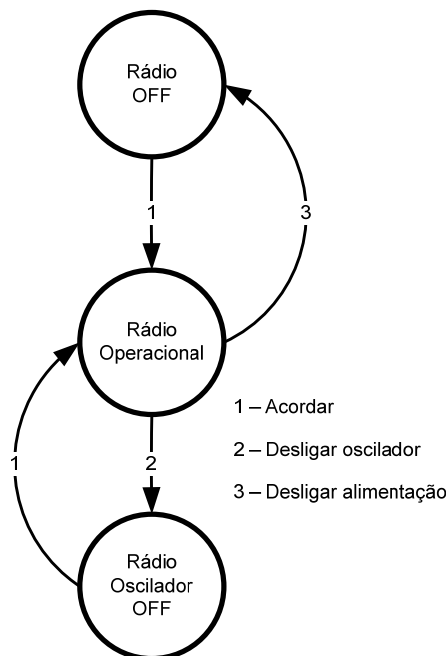


Figura 5-22 Máquina de estados da gestão de energia do rádio

#### 5.4.4 Camadas de Alto Nível

Todas as camadas de alto nível seguem a mesma abordagem de implementação que, essencialmente, é caracterizada do seguinte modo: cada camada é suportada por um *buffer* de recepção de mensagens de comando e por um gestor executivo baseado numa tarefa do SOUBI, em que a activação das tarefas é dependente da presença de mensagens no *buffer*; aparentemente, estas apresentam-se numa base de funcionamento assíncrono, mas o modo de funcionamento do *stack* é síncrono, pelo que a aplicação geral é munida de um gerador de eventos síncronos (mensagens de comando), que vai

activado as várias tarefas do *stack*. A Figura 5-23 esquematiza a estrutura interna das camadas que constituem a implementação das comunicações sem fios.

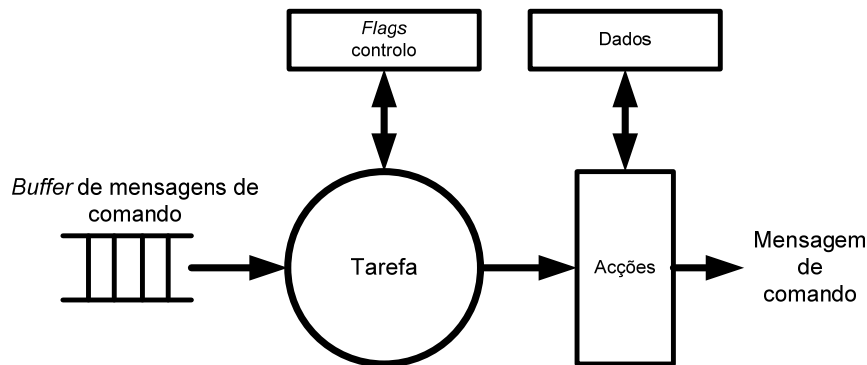


Figura 5-23 Estrutura interna das tarefas do *stack* (comunicações em fios)

## 5.5 COMUNICAÇÕES POR CABO

As comunicações por cabo são baseadas na norma CANopen, que é um sistema de comunicações bem mais simples de pôr em prática, através da exploração de três camadas ISO/OSI: as de mais baixo nível (*Physical Layer e Data Link Layer*) e a de alto nível (*Application Layer*). Aqui, o modelo de comunicações é baseado em mensagens e não em endereços (unidades de rede), não se tratando, pois, de uma rede hierarquizada, não obstante possam existir dispositivos diferenciados e que vão assumindo modelos de comunicações distintos (mestre/escravo, cliente/servidor e produtor/consumidor) em função dos diferentes serviços.

### 5.5.1 Arquitectura Geral

A arquitectura escolhida para implementar as comunicações CAN seguiu a mesma abordagem das comunicações sem fios, fazendo circular mensagens de comando entre as tarefas. A maior diferença reside na maior simplicidade de implementação, em resultado da menor complexidade do protocolo, com as mensagens seguindo a mesma classificação e a mesma estrutura de dados.

A Figura 5-24 esquematiza a estrutura interna desta componente do *firmware*. Aqui, as entidades “USR” e “SYNC” são as mesmas acima representadas na esquematização das comunicações sem fios, sendo, assim, entidades globais à aplicação.

A Figura 5-24 representa a estrutura interna da camada de aplicação do protocolo CANopen: tal como na implementação do *stack* da rede sem-fios, a tarefa descodifica a mensagem de comando, verifica o estado das *flags* internas e desempenha a acção correspondente.

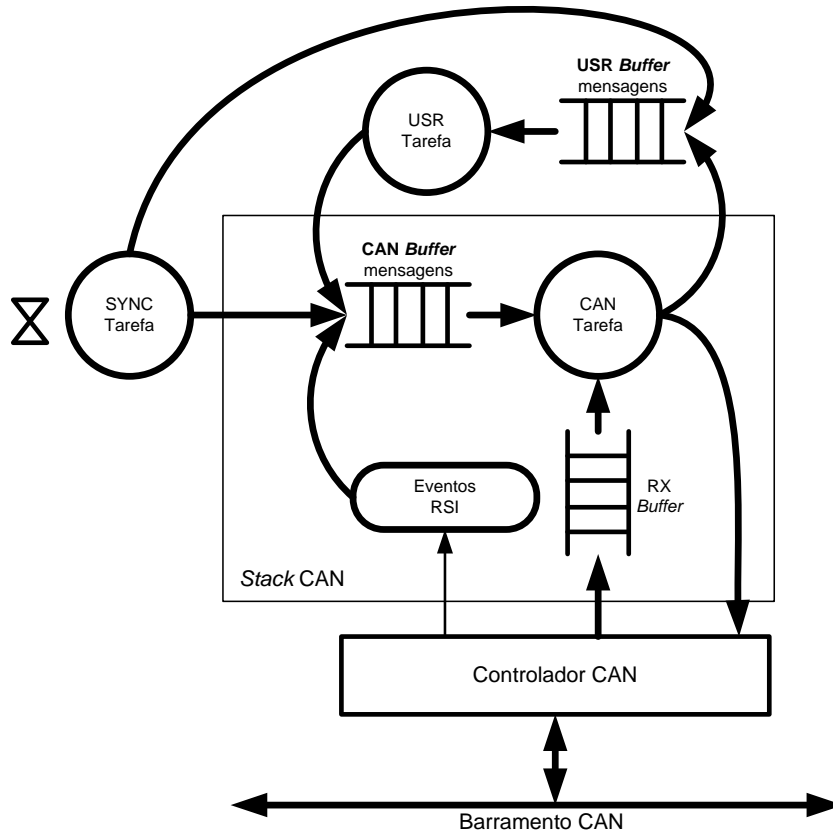


Figura 5-24 Arquitectura geral das comunicações com fios

### 5.5.2 Abstracção do *Hardware* para Módulo CAN

A implementação do *driver* para a interface CAN não segue o modelo estabelecido para a implementação das comunicações sem fios, isto é, não foi organizado em dois níveis de abstracção. Isto decorre do facto de esta interface somente ser utilizada num tipo de dispositivo, as unidades de quadro, e ser um controlador embebido no microcontrolador C167. De resto, o *driver* assegura a transmissão e a recepção de mensagens, assim como a gestão do controlador [Bruno01].

### 5.5.2.1 Transmissão e Recepção de Mensagens

A recepção e transmissão de mensagens CAN são assinaladas por eventos gerados pelo controlador, que accionam uma rotina de serviço a interrupções designada por “gestor de eventos”, (ver a Figura 5-26). É o gestor de eventos que identifica a origem e o tipo de evento, e inicia os procedimentos de acção, de acordo com o evento percebido.

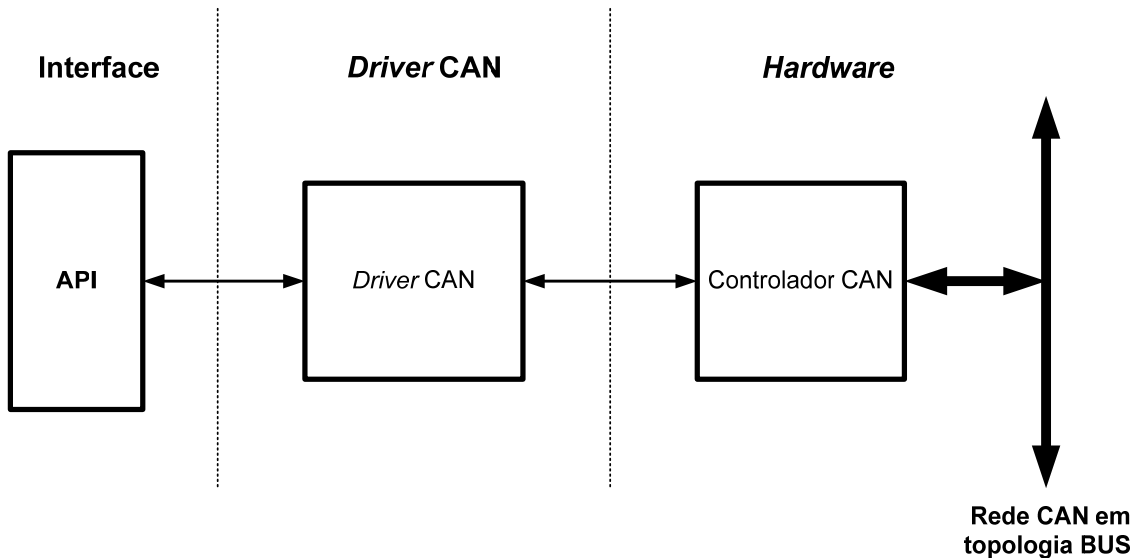


Figura 5-25 Estrutura interna do *driver* CAN

No mecanismo de envio de mensagens CAN através de serviços do driver, as mensagens são colocadas nas *mailbox* CAN de transmissão do controlador e enviadas sem nenhum mecanismo ou buffer intermédio – o controlador é interno, o que permite o mapeamento dos *buffers* directamente sobre as *mailbox* CAN. Para melhorar a segurança das transmissões, o *driver* utiliza um semáforo binário com *timeout* para garantir a certeza da sua correcta transmissão, dentro de um limite máximo de tempo permitido.

No procedimento de recepção de mensagens, o gestor de eventos copia o conteúdo da *mailbox* CAN para a memória, e coloca a informação na fila de eventos (ver a Figura 5-26). Esta acção utiliza um mecanismo de gestão dinâmica de memória, com recurso ao módulo de gestão de memória do núcleo de sistema operativo SOUBI [Bruno01-2].

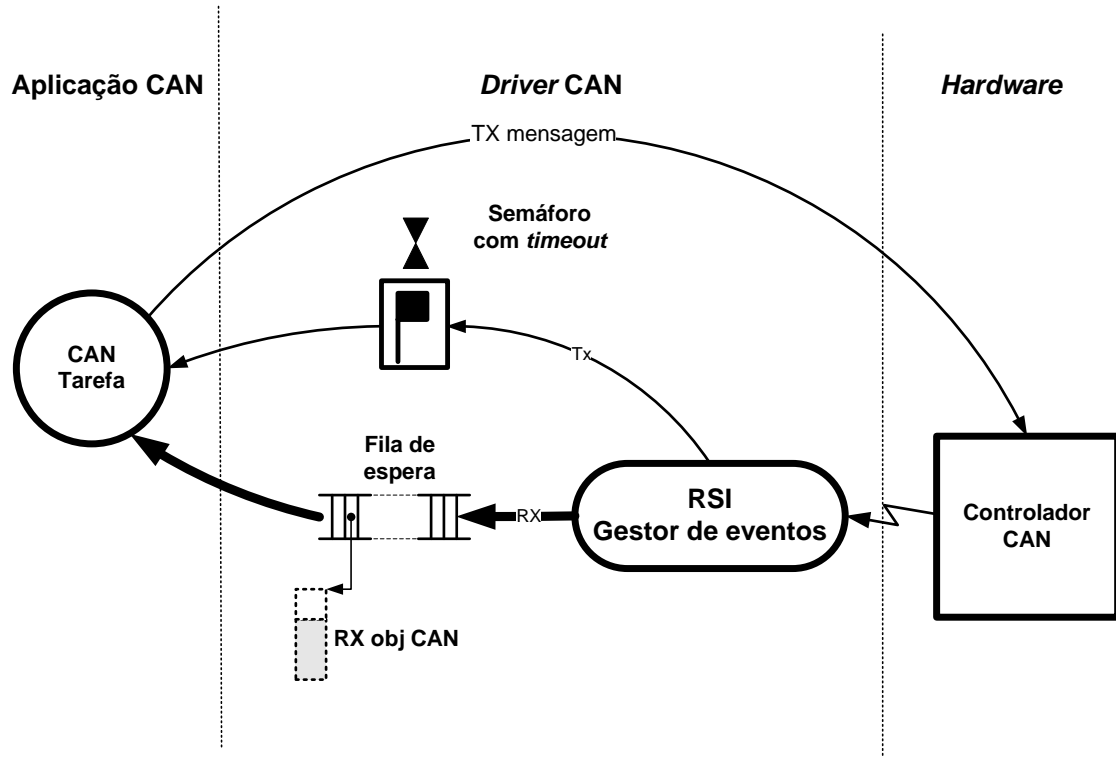


Figura 5-26 Mecanismos de transmissão e recepção de mensagens CAN

### 5.5.2.2 Controlo do *Hardware*

O *hardware* é configurado durante o procedimento de inicialização, excepto as *mailbox* do controlador, que são configuradas durante o procedimento de alocação dinâmica. O controlador CAN encontra-se embebido no microcontrolador C167 e é do tipo *full-CAN* com dezasseis *mailboxes* independentes; por essa razão e para garantir uma melhor gestão de recursos, as *mailboxes* são geridas dinamicamente à medida das necessidades da aplicação.

## 5.6 FERRAMENTAS

Muito embora o sistema operativo SOUBI forneça um vasto número de instrumentos que favorecem a organização gestão do *firmaware*, estas não são o bastante para a totalidade dos requisitos da aplicação global. No SOUBI, está implícita a possibilidade de efectuar o controlo sobre as tarefas de forma síncrona; contudo, esse funcionamento, por si só, não seria o melhor, visto que poderiam surgir atrasos no processamento que se poderiam propagar em cadeia (sobretudo ao longo do *stack* do

protocolo de comunicação sem fios). Por esta razão decidiu-se manter uma base de funcionamento síncrono sobre algumas das tarefas, para manter um controlo mínimo sobre as acções que estas desempenham – sem prejuízo do facto de que o sistema continua a responder de imediato a solicitações, isto é, sempre que um evento chegue a uma tarefa, esta ficará automaticamente pronta.

O *firmware* que corre sobre qualquer uma das unidades desenvolvidas manipula um vasto conjunto de informação, sendo requerido arquivamento em suporte não volátil para alguma dela. Este aspecto de implementação é tanto mais relevante quanto maiores forem as responsabilidades das unidades, em termos de gestão de rede (com ou sem fios). Para dar resposta a esta necessidade, foi realizado um módulo que, com a adequada interface com o *hardware*, permite a gravação de dados em memória não volátil.

O dicionário de objectos foi incluído neste grupo, constituindo a interface entre os objectos físicos dos dispositivos e os objectos de rede (*data points*), isto é, permite estabelecer a correspondência entre endereços lógicos (endereço de rede) e endereços físicos (endereços de memória no interior dos dispositivos). Para tal, foi necessário definir um conjunto de estruturas estáticas, instaladas durante a compilação e que, através das necessárias interfaces, permite a tradução dos endereços de rede em endereços físicos.

### **5.6.1 Dicionário de Objectos**

O dicionário de objectos constitui a interface de transferência de dados entre a aplicação de processo e a rede. A organização básica do dicionário assenta numa estrutura de dados constituída por elementos designados por cabeçalhos, tal como ilustrado na Figura 5-27, que constituem as entradas no dicionário, com o referente índice associado, representando a informação básica sobre cada objecto do dicionário. Assim, cada um possui informação sobre a localização física do objecto e a sua estrutura, através do conhecimento das propriedades de cada elemento do objecto.

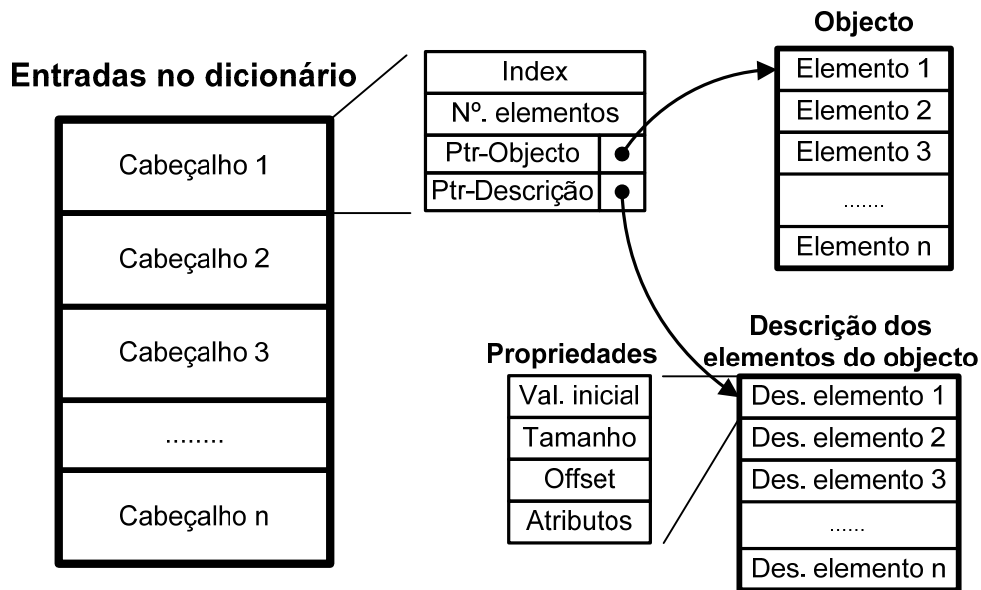


Figura 5-27 Estrutura do dicionário de objectos

O dicionário liga os objectos internos dos dispositivos, variáveis ou não, aos objectos de rede, que passam a fazer parte desta. Esses objectos são transformados em objectos especiais, pois ficam visíveis através da rede CAN (*data points*).

#### 5.6.1.1 Tradução do Endereço

Os cabeçalhos dos objectos estão alinhados numa estrutura de dados com a forma de vector, como se ilustra na Figura 5-27. Deste modo, para aceder a um determinado objecto é necessário realizar uma busca nessa estrutura, com o objectivo de descobrir o cabeçalho com o endereço correcto, após o que, nas situações com objectos compostos, seguir-se-á a localização do elemento pretendido através de um sub-endereço. Para assegurar a constância do tempo de acesso durante a localização de um cabeçalho, esta busca é efectuada através de um método de busca binário, sendo a localização do sub-elemento no objecto conseguida através da soma de um *offset* em bytes ao endereço base deste.

### 5.6.2 Sincronismo

Como já referido anteriormente, a necessidade de manter uma taxa mínima de refrescamento relativamente a algumas actividades do *firmware* é aconselhável ou, mesmo, indispensável. Esse refrescamento é efectuada mediante a recepção de um evento gerado pelo módulo de sincronismo, e as tarefas que necessitam de tal

funcionamento base, farão a requisição de um temporizador, que irá ser gerido por este módulo e no qual programam a acção desejada.

Este módulo é baseado numa tarefa não periódica, com a activação controlada por um semáforo contador, que é incrementado pela chegada dos eventos gerados por um temporizador (*Capture and Compare*). Esta abordagem permite relegar a prioridade desta tarefa para valores mais baixos, sem que se perca alguma informação, e aliviar o processador de sobrecarga desnecessária.

Os temporizadores possuem capacidade de produzirem acção no *overflow*. Essa acção é programada pela tarefa requisitante e, no contexto da aplicação, será uma acção que visa o envio de uma mensagem de comando.

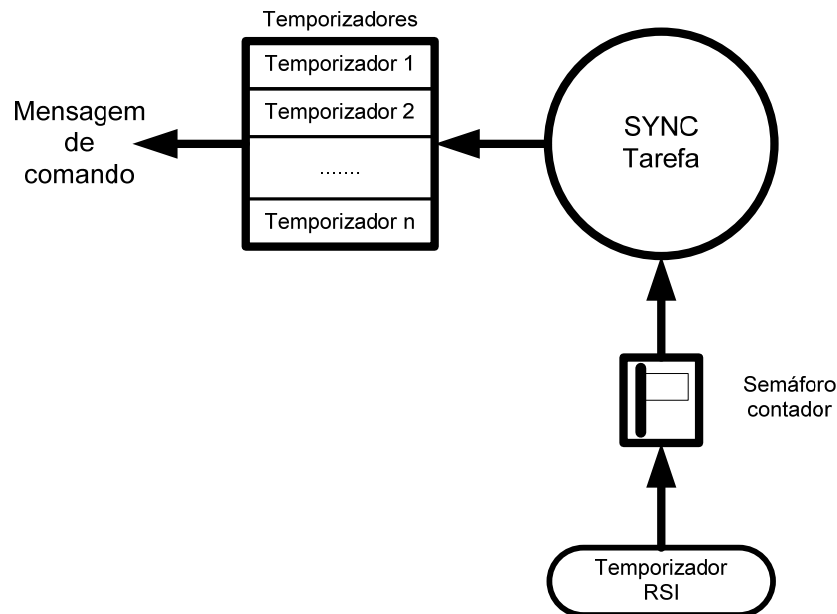


Figura 5-28 Estrutura interna do módulo gerador de eventos de sincronismo

### 5.6.3 O Sistema de Ficheiros

O *hardware* das unidades é baseado em duas tecnologias distintas, com diferentes capacidades. Assim, não obstante ambas as unidades de ambos os tipos possuírem memória não volátil em quantidade suficiente, as unidades baseados no C167 não permitem o acesso facilitado a esse recurso durante o seu normal funcionamento. Por essa razão, essas unidades utilizam uma memória externa para a salvaguarda de

informação, ao passo que as unidades baseadas no microcontrolador MSP430 utilizam a própria memória FLASH interna.

### 5.6.3.1 Unidades Baseadas no Microcontrolador MSP430

A facilidade com que estas unidades permitem o acesso à memória FLASH interna foi o factor chave para o desenvolvimento de um sistema de ficheiros baseado nas páginas de memória FLASH mapeadas nas posições mais elevadas<sup>22</sup> que, na maioria das aplicações e tipo de dispositivo, não são normalmente utilizadas<sup>23</sup>.

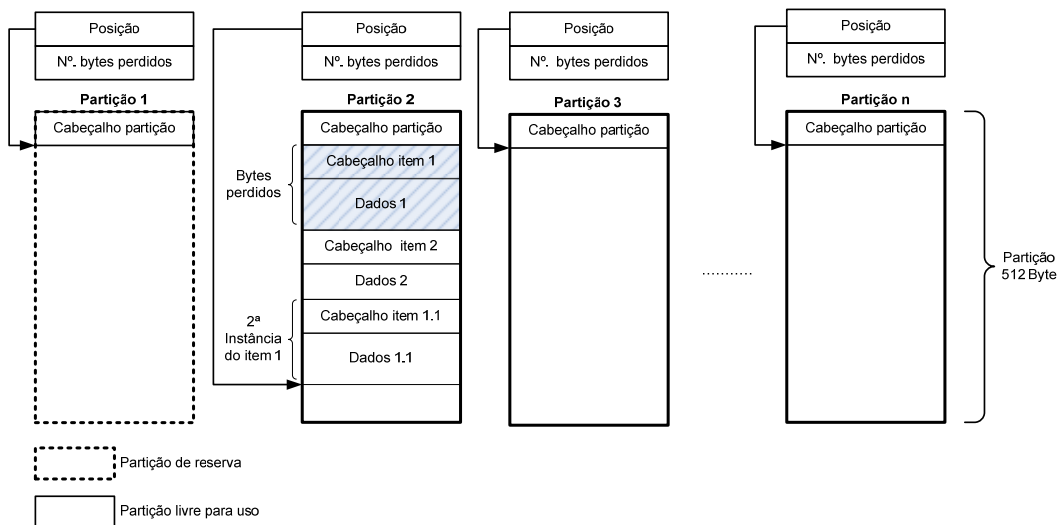


Figura 5-29 Estrutura geral do sistema de ficheiros para unidades as unidades remotas

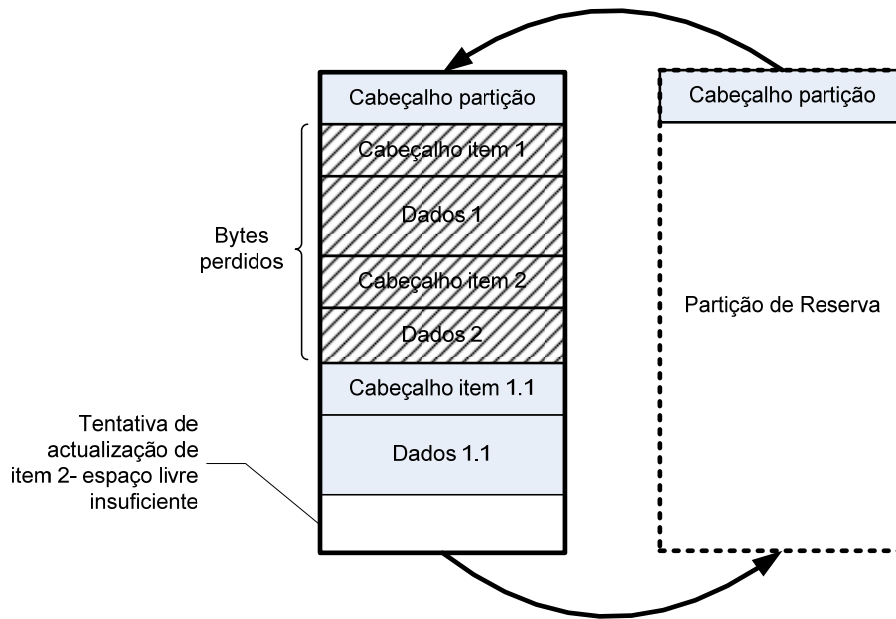
A ideia chave baseia-se no facto de o número de ciclos de *escrita* na memória ser limitado e esta estar orientada por páginas, isto é, para se actualizar um *byte* será necessário apagar e escrever uma página na totalidade. Assim, e para salvaguardar a morte precoce das unidades, o sistema utiliza cerca do dobro da memória necessária para guardar toda a informação, e vai utilizado espaço novo (vazio) para guardar as actualizações dos itens, de que resulta ficar perdida a zona onde estes estavam anteriormente, como se ilustra na Figura 5-29.

<sup>22</sup> A página com o endereço mais elevado está reservada para suporte à tabela de interrupções. As páginas mapeadas nas posições mais baixas, excepto as páginas de dados, são utilizadas pelo compilador para armazenamento do código e dados constantes.

<sup>23</sup> Deverá ser tomado o especial cuidado em não sobrepor o sistema de ficheiros com código.

**Condição de compactação:**

$$((\text{Bytes livres} < \text{Siseof}(\text{item})) \& (\text{Siseof}(\text{item}) < ((\text{bytes perdidos} + \text{Bytes livres})))$$



**Figura 5-30 Procedimento de compactação das partições de memória**

Outro aspecto importante a considerar será o da compactação das partições, isto é das páginas de memória *FLASH*: sempre que existir uma nova tentativa de actualização de um item e não existir espaço livre na partição, é iniciado um procedimento de compactação, visando eliminar a memória perdida nas várias actualizações. A existência de uma partição de reserva é essencial para este efeito (Figura 5-29), a qual irá ser preenchida com os dados válidos da antiga partição, que será limpa e passará a ser a nova página de reserva, como se pode observar na Figura 5-30. Duas estruturas de dados utilizadas para controlo deste algoritmo: uma para o controlo das partições, que é aplicada à partição na forma de cabeçalho, durante o processo de inicialização, e outra que diz respeito aos itens gravados, sendo gravada agregada ao item respectivo, como se pode ver na Figura 5-31.

Duas estruturas de dados utilizadas para controlo deste algoritmo: uma para o controlo das partições, que é aplicada à partição na forma de cabeçalho, durante o processo de inicialização, e outra que diz respeito aos itens gravados, sendo gravada agregada ao item respectivo, como se pode ver na Figura 5-31.

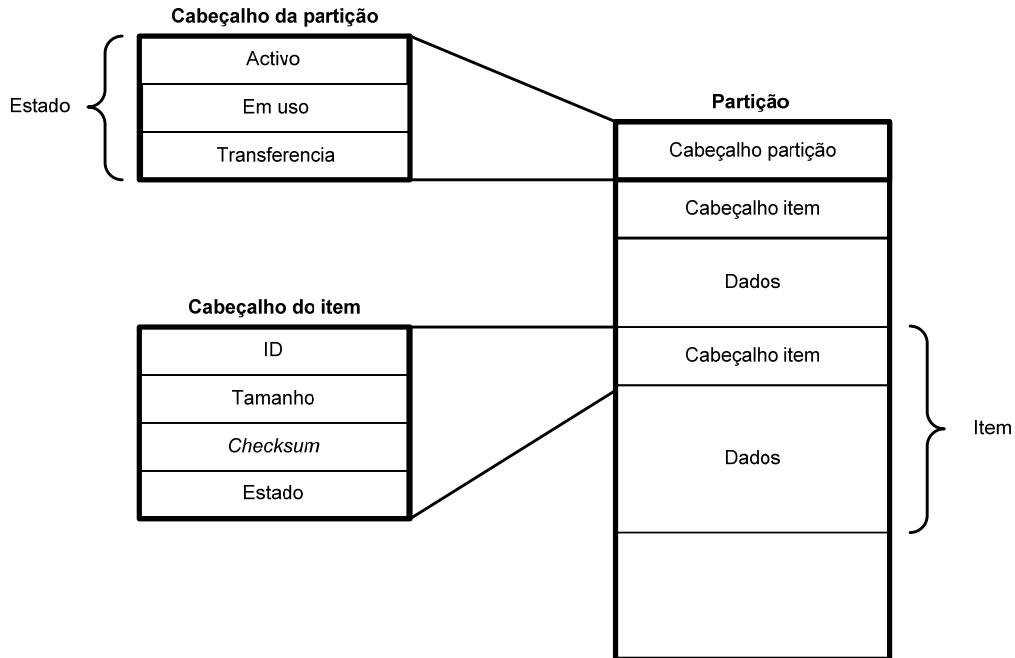


Figura 5-31 Estruturas de dados de controlo do sistema de ficheiros nas unidades remotas

### 5.6.3.2 Unidades Baseadas no Microcontrolador C167CR

A memória externa<sup>24</sup> utilizada possui uma capacidade considerável, bem como um elevadíssimo número de ciclos de leitura e escrita. Estas características e o pressuposto de que os ficheiros nunca são apagados – o que faz todo sentido nesta aplicação – permitiram que fosse elaborado um sistema de gestão de ficheiros simples, baseado numa pequena tabela de acesso residente nos endereços iniciais da EEPROM. A Figura 5-32 esquematiza a organização da memória no interior da EEPROM.

<sup>24</sup> FM25160DS – 16kb com 10<sup>10</sup> ciclos de leitura/escrita.

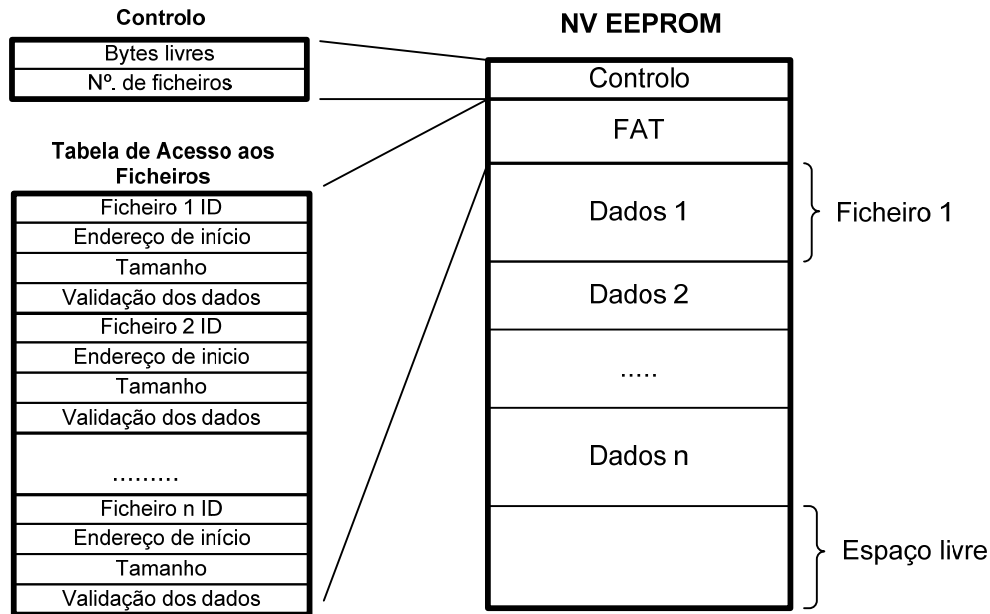


Figura 5-32 Estrutura geral do sistema de ficheiros em unidades baseadas no microcontrolador C167

## 5.7 FUNÇÕES DE INTERFACE LOCAL

No sentido de prover maior realismo nas situações de avaliação de desempenho, foram integradas algumas funções suplementares, que designamos por funções de interface local, já que efectuam a ligação das unidades com o meio envolvente. Nesta classe de *software* estão incluídas as interfaces humanas, as funções de *input* e *output* local, as funções de medida, etc.

Internamente, este grupo funcional é constituído por vários módulos, cuja missão será a interface com o *hardware* envolvido na função. Estes *drivers* de *hardware* são controlados pela tarefa de interface local, cujo acesso estará sujeito a um pedido através de uma mensagem de comando, a qual, por sua vez, enviará a confirmação depois da acção ter terminado – a Figura 5-33 esquematiza a estrutura interna deste módulo.

Alguns *drivers* foram desenvolvidos com o objectivo de tornar mais realista a aplicação, bem como tornar possível a demonstração do sistema. Os *drivers* desenvolvidos, para este efeito, são os seguintes:

- LEDs – Os LEDs são utilizados para sinalização de eventos e de estado de funcionamento;
- Teclado – Para uma eventual interface humana;
- Sensores diversos – Sensores para aplicações AVAC (humidade e temperatura), sensores de luminosidade, interruptores (pulsadores), etc;
- Controlo de energia – São funções que dizem respeito à gestão de energia dos módulos, quando alimentados por bateria.

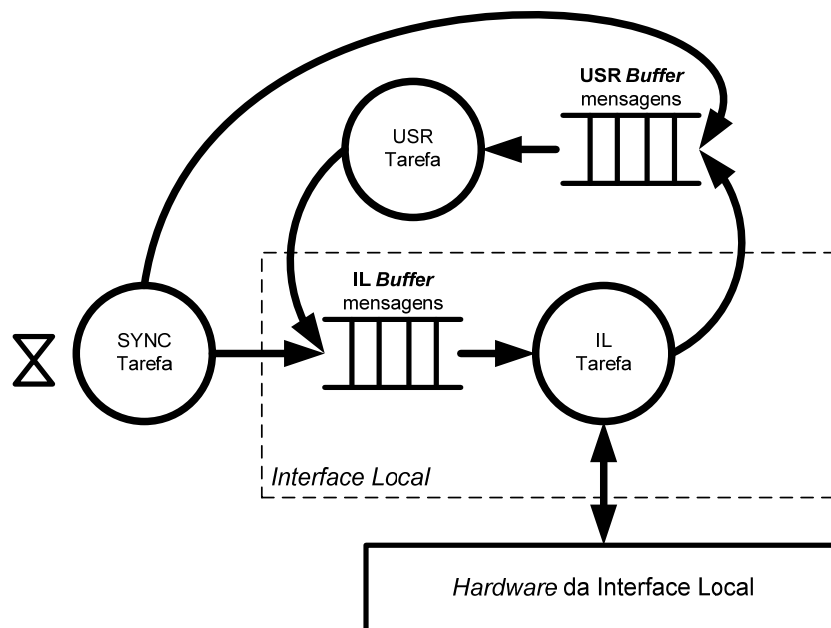


Figura 5-33 Arquitectura da camada de interface local

## 5.8 O HARDWARE

### 5.8.1 A Unidade Controladora Integradora

As subunidades SCI são implementadas com base na família de microcontroladores Infineon C166 ou XC166 (para efeitos de protótipo utilizamos o dispositivo C167CR-LM) [C167]. Esta família de microcontroladores foi seleccionada por: (i) possuir um vasto conjunto de periféricos, (ii) estar bem apetrechada de memória, de programa (até 256kB) e de dados (até 12kB), (iii) possuir um elevado número de unidades de IO (*Input/Output*), (iv) estar equipada com controlador CAN, (v) possuir um núcleo extremamente especializado para aplicações de tempo real, e (vi) apresentar

um bom desempenho devido ao seu *pipeline* de quatro e cinco estágios na versão XC166. O *firmware* para esta unidade foi desenvolvido com recurso ao pacote de ferramentas Tasking para a família C166 e XC166.

A unidade SCI é, sem dúvida, aquela que requer maiores requisitos de *hardware*, já que suporta duas formas de comunicação distintas, sendo constituída por um núcleo baseado num microcontrolador da família C166 ou XC166 da Infineon<sup>25</sup> associado a um conjunto de periféricos importantes ao seu bom desempenho: grande capacidade de RAM e de memória FLASH, RTC (*Real Time Clock*), supervisor de alimentação e Memória não volátil, para assegurar a permanência dos parâmetros de configuração. Na Figura 5-34 é representado o diagrama de blocos da referida unidade.

#### 5.8.1.1 O Núcleo Central

Definimos o núcleo central como sendo o conjunto de dispositivos que assumem a operacionalidade da unidade. Este bloco é constituído pelo microcontrolador, pela memória, pelo relógio de tempo real (RTC) e pelo supervisor de alimentação.

Relativamente à memória, é utilizada uma memória EEPROM com interface série para manter inalterável, mesmo durante longos períodos de falta de alimentação, a configuração total da unidade controladora. Se bem que esta família de microcontroladores dispõe de grande memória interna<sup>26</sup>, os seus membros podem ser configurados para funcionar como microprocessadores, isto é, com barramentos de dados e de endereços disponível no exterior. Nesta situação, faz sentido referir a possibilidade de existir memória externa para dados e programa – ver a Figura 5-34.

O relógio de tempo real (RTC) e o supervisor de tensão são elementos que, embora não sendo imprescindíveis, trazem maior qualidade a esta unidade: (i) o RTC constitui uma referência para a marcação temporal de eventos e para a operação de funções temporizadas, e (ii) o supervisor de alimentação garante um *start/stop* seguro ao

---

<sup>25</sup> Para efeito de protótipo utilizou-se o miniMODUL C167 da Phytex – este dispositivo facilitou a prototipagem rápida do *hardware* e dispõe vários periféricos de impreterível utilização, tais como: Larga capacidade de RAM e memória *Flash*; RTC (*Real Time Clock*) e supervisor de alimentação.

<sup>26</sup> Esta condição depende da versão do microcontrolador

microcontrolador, através da manipulação do sinal de *reset*; assim como mantém uma alimentação de *backup*, em caso de falha temporária de alimentação, através de bateria.

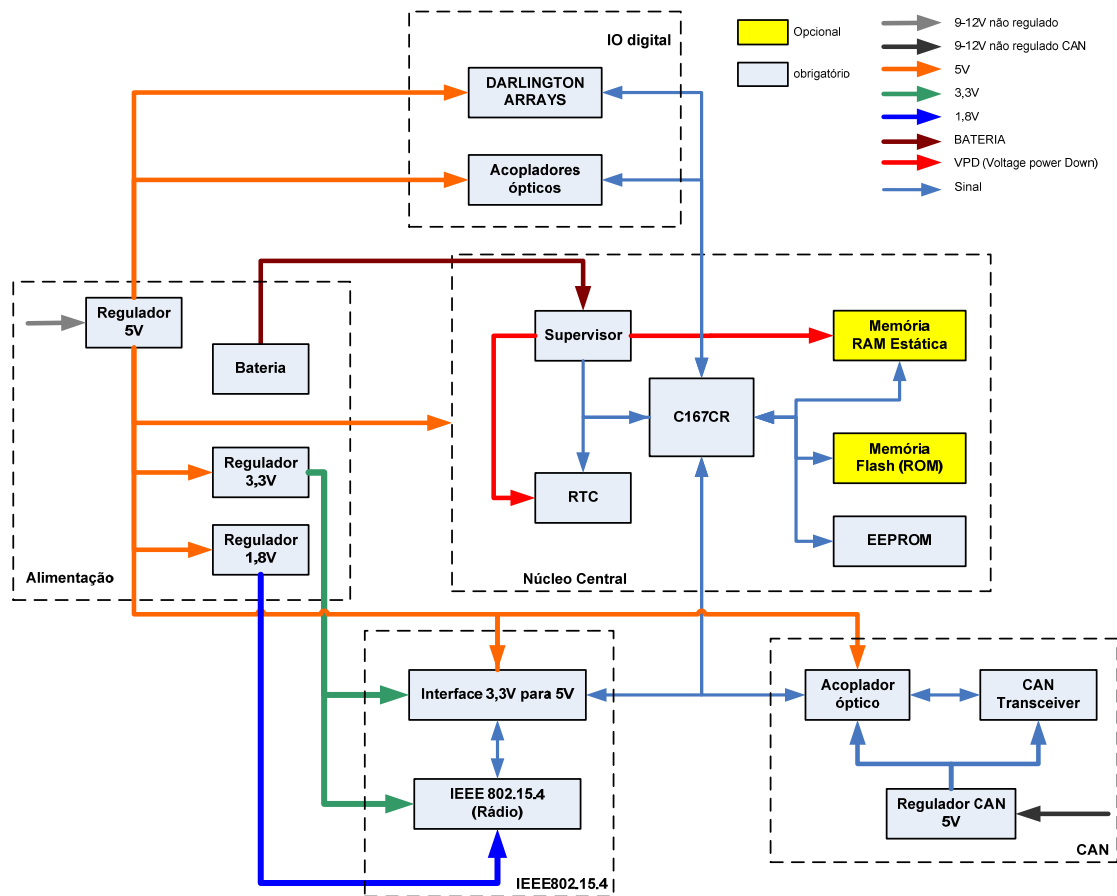


Figura 5-34 Diagrama de blocos do hardware da unidade SCI

### 5.8.1.2 A Alimentação

A fonte é alimentada por uma tensão dc não regulada compreendida entre os 7V e os 12V e disponibiliza três níveis de tensão regulados: 5V, que é utilizada pela maioria dos componentes da unidade, e 3,3V e 1,8V, que alimentam apenas o módulo de comunicações rádio. A alimentação de 1,8V é, ainda, utilizada pelo *transceiver*, com o objectivo de substituir o seu regulador interno e, assim, aumentar o alcance do rádio.

### 5.8.1.3 A Interface de Comunicação

A interface CAN está galvanicamente desacoplada da restante parte da unidade, através de acopladores ópticos e, para garantir total desacoplamento, esta interface recebe alimentação através do barramento CAN<sup>27</sup>.

Tal como nas unidades sem fios, esta unidade realiza as comunicações por rádio através de um dispositivo Chipcon/Texas Instruments CC2420 [CC2420], [TI08], cuja interface com o microcontrolador é realizada através SPI (*Serial Peripheral Interface*).

## 5.8.2 As Subunidades Remotas

As subunidades com interligação por rede sem fios, complementando a unidade controladora, são baseadas em microcontroladores Texas MSP430 [TI08] – para efeitos de protótipo, utilizámos o dispositivo MSP430F1611. Esta família de microcontroladores foi escolhida, sobretudo, pela característica que é tão necessária a estas unidades autónomas: o baixo consumo, também decorrente do baixíssimo *chip-count* atingível. O *firmware* para estas unidades foi desenvolvido com o pacote de ferramentas CrossStudio for MSP430 da Rowley Associates Ltd<sup>28</sup>.

O *hardware* destas unidades foi concebido para ser amplamente modular. Assim, cada unidade é composta por três ou quatro placas modulares diversas – dependendo da função do dispositivo –, que se encontram interligadas, formando uma pilha, como se ilustra na Figura 5-35. Na base da pilha é colocada a placa de alimentação, seguindo-se a placa controladora; em seguida, se a funcionalidade da aplicação da unidade necessitar de *hardware* adicional (sensores, actuadores e GPIO), ele será aplicado, na pilha, sobre a placa controladora. Por fim e conforme o mecanismo de comunicação adoptado, será aplicada a placa de comunicações que, deste modo, poderá ser aplicada directamente na placa controladora ou na placa da aplicação.

---

<sup>27</sup> Opção configurável na placa.

<sup>28</sup> Licenças, para fins de educação, gentilmente oferecidas ao Dep. Eng. Electromecânica.

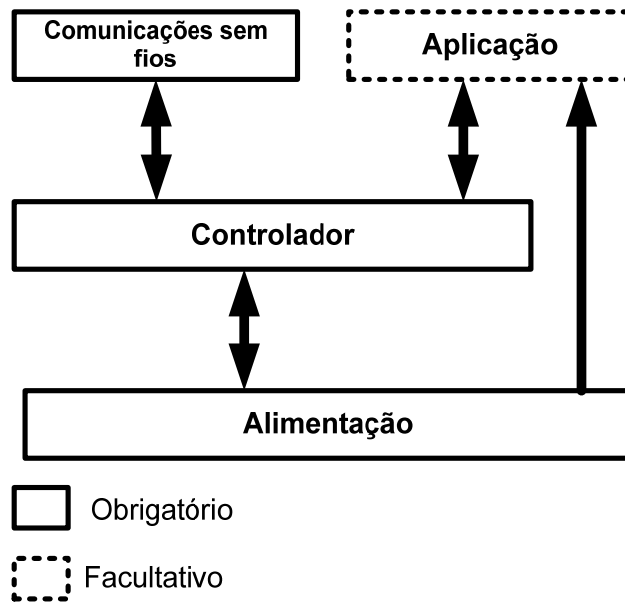


Figura 5-35 Arquitectura do hardware

### 5.8.2.1 A Placa Controladora

A placa controladora é baseada no microcontrolador MSP430F1611 [TI08], da Texas Instruments, que foi seleccionado em razão do seu muito baixo consumo, factor crítico quando se perspectiva a sua alimentação por bateria. Na Figura 5-36 ilustra-se o diagrama de blocos desta placa.

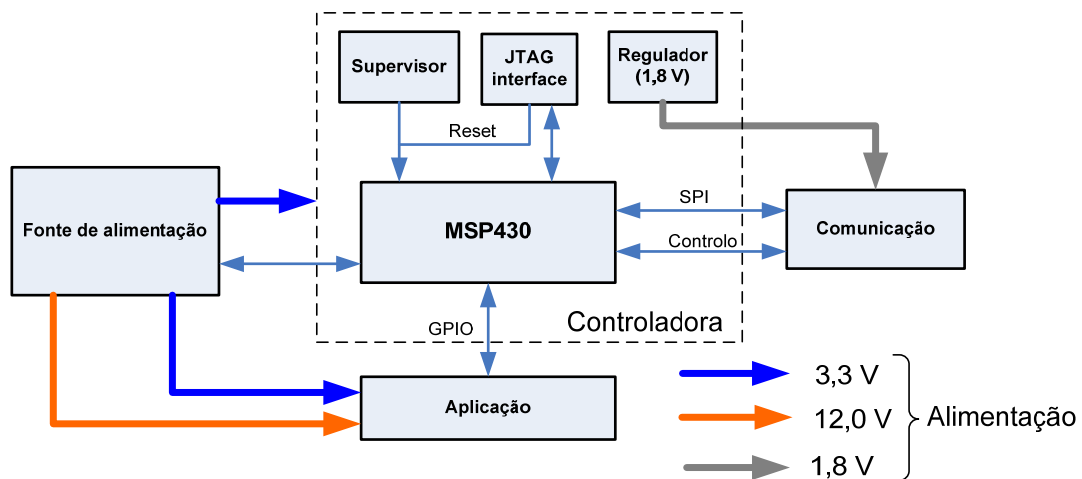


Figura 5-36 Diagrama de blocos da placa controladora

### 5.8.2.2 A Alimentação

A alimentação poderá apresentar duas soluções distintas, tendo em vista a função e a localização do dispositivo, sendo suportada por bateria ou por fonte de alimentação com conversor ac/dc, através de diferentes placas. A Figura 5-37 apresenta o diagrama de blocos destas placas.

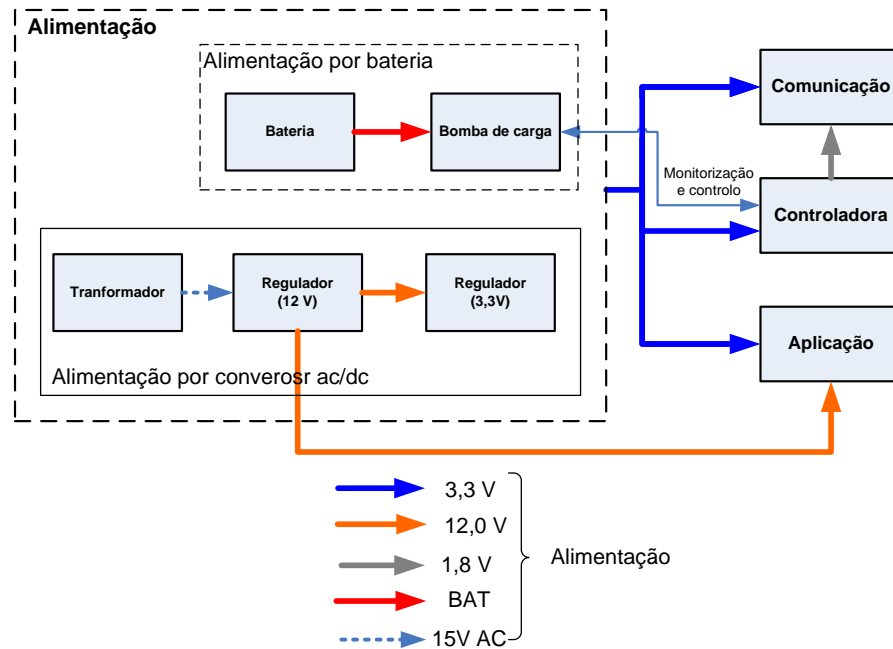


Figura 5-37 – Diagrama de blocos da alimentação

### 5.8.2.3 As Comunicações

Para as comunicações por rádio utilizamos uma placa de desenvolvimento da Chipcon/Texas Instruments CC2420EM [TI08], tal como nas unidades baseadas no C167.

### 5.8.2.4 A Aplicação

A fim de abarcar uma maior latitude experimental, o *hardware* de aplicação é multifacetado, compreendendo um módulo de interruptores (*pulsador*), um módulo com sensores de temperatura e humidade, e outro para medida de luminosidade. Com o objectivo de actuar pequenas cargas, foi igualmente desenvolvido um módulo com

interruptor electrónico, capaz de funcionar como *Light-Dimmer* ou como interruptor ON/OFF, na mesma placa de alimentação com o conversor ac/dc.

O *pinout* disponível para a placa de aplicação contempla duas entradas analógicas e oito pinos de GPIO, três dos quais com suporte para a detecção de eventos esporádicos através de interrupção ao processador.

Com o objectivo de poder accionar cargas de maior potência, está disponível uma alimentação de 12V, através de conversor ac/dc.

---

---

# 6

## AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

### 6.1 SUMÁRIO DOS OBJECTIVOS

A Domótica ainda não conquistou um lugar no nosso quotidiano, muito embora os avanços tecnológicos mais significativos para a progressão na senda da “*web of things*” tenham sido realizados e, noutros domínios de aplicação, rapidamente absorvidos. De facto, são várias as barreiras que têm dificultado a implantação da Domótica no mercado, algumas delas de carácter social e, portanto, de difícil solução através da tecnologia: diversos estudos estatísticos sustentam que as famílias nos países industrializados apresentam uma atitude favorável e, mesmo, de curiosidade perante as tecnologias da informação, o que, tendencialmente, será favorável ao mercado da Domótica. Conjugando este clima favorável com a uma alteração no conceito de realização de Domótica, através da utilização de sistemas inovadores, poderemos admitir uma nova esperança para este mercado.

Desta forma, no sentido de corrigir os pontos fracos identificáveis nos sistemas actualmente utilizados e, finalmente, criar a tão ambicionada oportunidade para a

Domótica, pretende-se apresentar com este trabalho um novo conceito de arquitectura de sistema, fortemente distribuído e integrador, estabelecendo ligações lógicas entre *data points* (interruptores, actuadores, controladores, pontos de medida, etc.), desta forma facilitando a implementação de aplicações distribuídas. Esta aptidão funcional proporciona altos níveis de integração da informação e, acima de tudo, suporta a definição de cenários de funcionamento na linha de abordagem da Instrumentação Virtual.

Com o objectivo último acima fixado, foi criada uma plataforma baseada em unidades com elevada diferenciação funcional e, também por isso, destinadas ao desempenho dos seus papéis nos locais mais diversos das habitações, que são integradas através de dois mecanismos de comunicação – um sistema poderá operar desde a configuração mínima, com uma única unidade de quadro, até uma estrutura com 16 redes sem fios distintas, suportando um elevado número de unidades. Em consequência, esta plataforma possui uma enorme flexibilidade (operacional e dimensional), característica que, tantas vezes tem faltado nos sistemas comerciais do passado.

Uma outra característica alcançada é a facilidade com que o sistema integra a informação, pois toda a informação circulante entre *data points* pode ser observada e centralizada numa única unidade – esta capacidade constitui um elemento chave no suporte à evolução e expansão do sistema global, permitindo que as funcionalidades existentes possam ser expandidas ou adaptadas a novas necessidades.

No respeitante à sua materialização, a solução aqui apresentada baseia-se em duas tecnologias de comunicação distintas e complementares: (i) uma utiliza o cabo como barramento de ligação entre nós de rede, interligando somente unidades alojadas nos quadros eléctricos – onde existe canalização disponível para a passagem do cabo – o que contribui para uma elevada robustez das soluções, tanto mais que, sobre ele, se utiliza o protocolo CAN, e (ii) a outra baseia-se na radiofrequência como meio de transmissão de informação, conferindo-lhe mobilidade e, sobretudo, facilidade de instalação.

Por outro lado, no passado existiu uma cultura de exclusividade industrial, logo contrária à compatibilidade entre produtos de diferentes origens. Actualmente, é obrigatório desenvolver sistemas abertos, capazes de se articular com unidades oriundas

de outros fabricantes, em favor de mercados mais competitivos. A solução aqui apresentada cultiva especialmente esta tendência, nomeadamente pelo uso das normas CANopen e OPC.

Assim, a norma CANopen é sustentada por um grande grupo de interessados que se mantém associado na organização CiA, que, por sua vez, se encontra dividido em subgrupos com objectivos de utilização diferenciados. Contudo, não existe nenhum grupo focado na Domótica, pelo que o presente trabalho constitui um contributo para um novo modelo de aplicação desta norma na automação de espaços residenciais.

Complementarmente, outro aspecto que merece referência consiste na forma de ligação entre as duas tecnologias CANopen e IEEE802.15.4, constituindo uma nova abordagem no conceito de perfil de dispositivos na arquitectura CANopen. De facto, não constituindo uma novidade, a norma IEEE802.15.4 continua a ser uma tecnologia recente, cuja especificação final foi publicada em 2003, com posteriores actualizações para adaptação a novos âmbitos de utilização. Neste contexto, e muito embora já existam grupos de interessados em assegurar a normalização da camada de aplicação para esta norma (especialmente o ZigBee), este trabalho contribui com num protocolo “proprietário” que reputamos como especialmente adequado ao nível de integração de sistemas e serviços pretendido.

## **6.2 CONSTRUÇÃO E EXPLORAÇÃO DO SISTEMA**

A avaliação deste sistema de Domótica foi realizada com base numa “bancada” de testes e demonstração, que permitiu apurar os detalhes de materialização de diversas unidades, diagnosticando o seu funcionamento, bem como avaliar o desempenho dos módulos que, nas diferentes camadas, realizam os serviços anteriormente descritos. Para tal, foi realizada uma aplicação de controlo automático de iluminação, constituindo um compromisso entre o efeito demonstrador – adequado, embora sem explorar a totalidade das potencialidades do sistema – e a deliberada simplicidade de instalação, para facilidade de diagnóstico, com base em múltiplas ferramentas de desenvolvimento, configuração e análise.

### 6.2.1 A Aplicação de Teste

O sistema construído permitiu demonstrar o protocolo da camada de alto nível para as comunicações sem fios (PAN), num cenário simples de aplicação de controlo automático de iluminação – envolvendo um interruptor e diversos dispositivos actuadores, com uma lâmpada ligada a cada actuador – como representado na Figura 6-1.

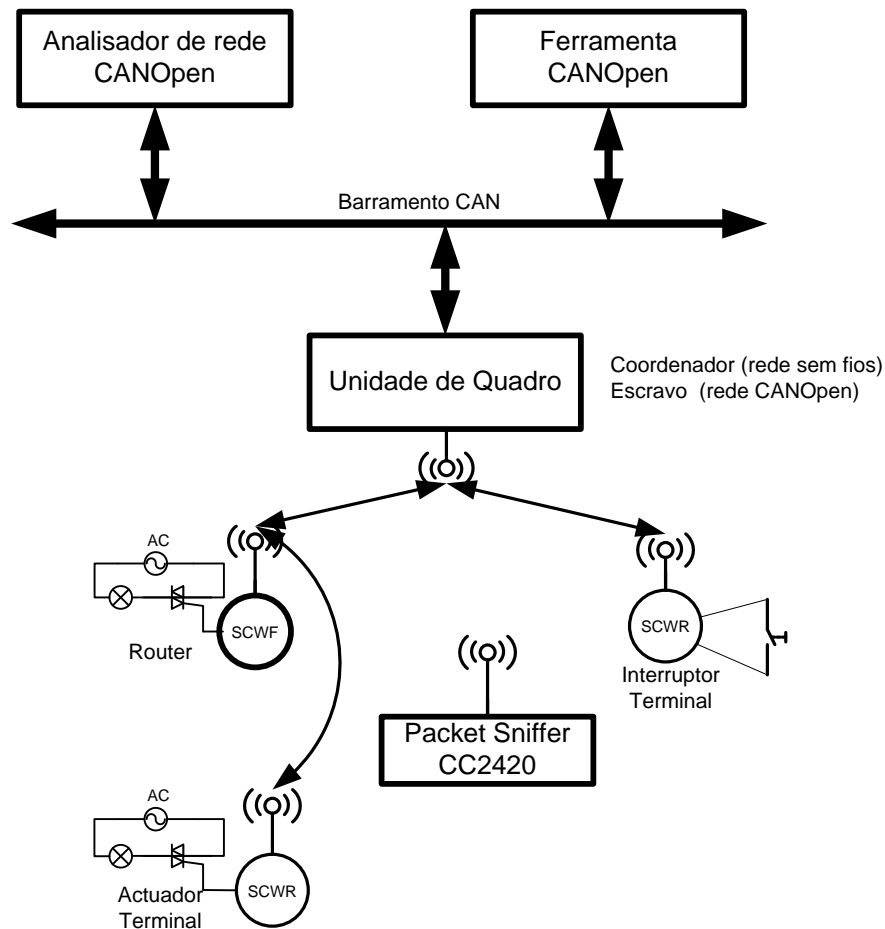


Figura 6-1 A estrutura do protótipo de avaliação

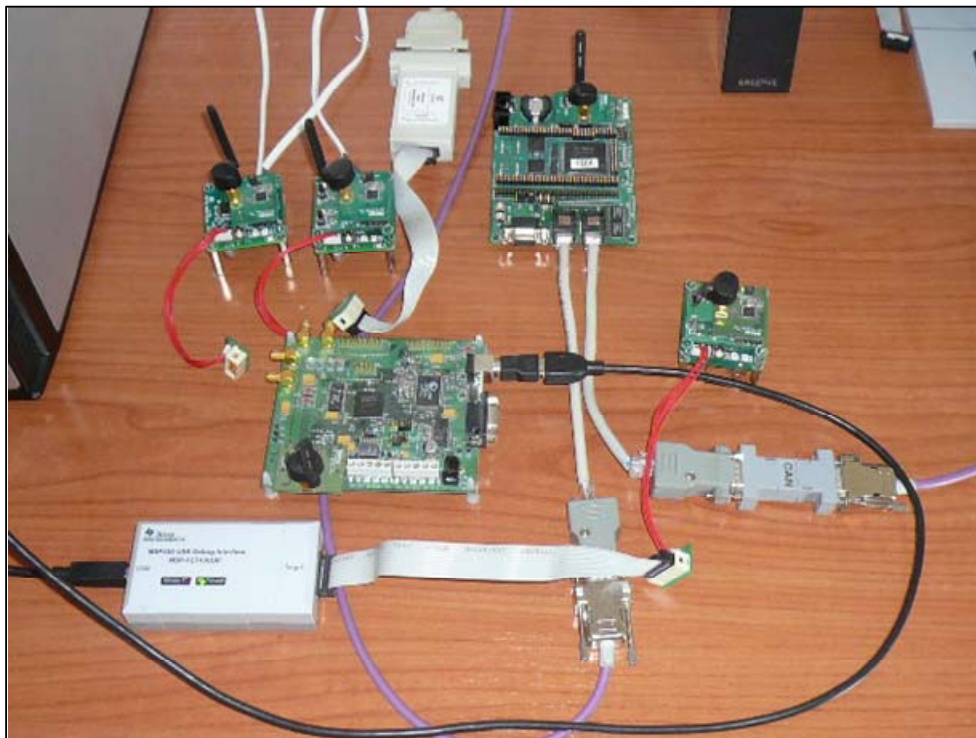
As três vertentes afins de realização destes dispositivos – o *hardware*, o *firmware* e a parametrização/configuração – são tratadas em seguida.

### 6.2.2 A Bancada de Teste

Para demonstrar os princípios e os métodos de realização anteriormente apresentados, foi especificado um cenário e concebida uma bancada de teste da

plataforma, que ilustra o essencial das funcionalidades do sistema, nas suas diversas vertentes: (i) prova o funcionamento da rede sem fios, com os procedimentos de descoberta de rede, conformação de rede e *routing* de mensagens, (ii) demonstra o funcionamento da rede CANopen com dois nós de rede (um dispositivo escravo e um dispositivo mestre), envolvendo o acesso ao dicionário de objectos da unidade quadro, e (iii) demonstra a interface entre as duas tecnologias de comunicação.

Assim, a bancada realizada é composta pelas seguintes unidades: (i) uma unidade de quadro, (ii) uma unidade remota, do tipo terminal com a função de interruptor, (ii) uma unidade *router* para ilustrar o funcionamento hierárquico da rede, (iii) uma unidade actuadora do tipo unidade terminal, com a missão de ligar/desligar uma lâmpada de incandescência.



**Figura 6-2** Fotografia ilustrativa da bancada de teste

A unidade UIS (Unidade Integradora supervisora) foi simulada pela ferramenta IXXAT (CANopen ConfigurationStudio), que permite a edificação de uma rede CANopen com base nas especificações electrónicas dos dispositivos (EDS) – para mais informação sobre os ficheiros EDS consultar [DS301] e [CAN08]. É através desta ferramenta que se controlou o funcionamento da rede, isto é, se conduziu a unidade de

quadro, fazendo-a percorrer o diagrama de estados previsto pela norma. O CANopen ConfigurationStudio possibilita o acesso ao dicionário de objectos, permitindo alterar os estados dos *data points* com ligação remota, e, desta forma, possibilitando ilustrar como a unidade UIS pode alterar o funcionamento da aplicação distribuída.

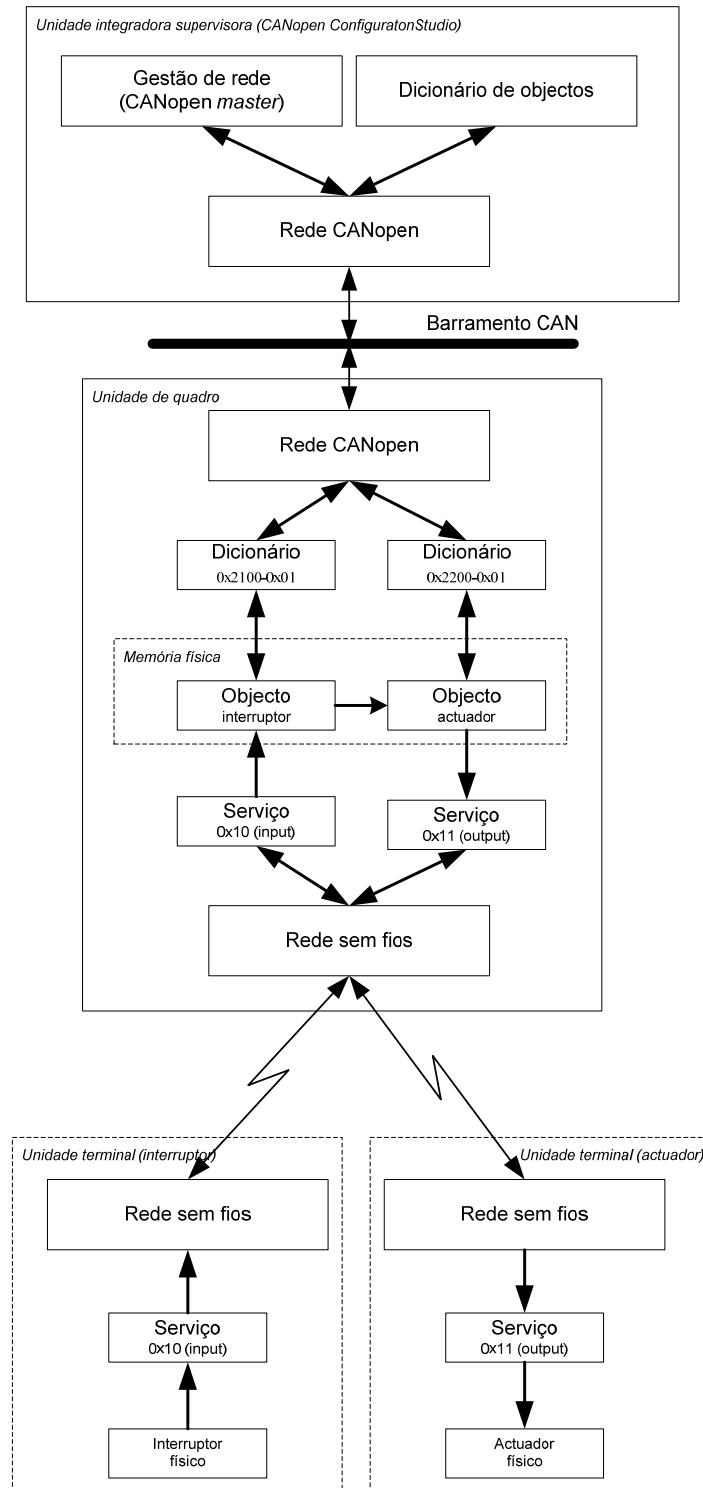


Figura 6-3 Aplicação para testes

A aplicação consiste na actuação remota de uma lâmpada através de um interruptor, também remoto. A unidade terminal interruptor, por acção sobre o interruptor, envia uma actualização de estado à unidade de quadro, através do serviço 0x11 definido pelo protocolo PaN. A unidade de quadro envia, através do serviço 0x10, a indicação para alteração de estado à unidade actuadora – Figura 6-3.

### **6.2.3 Perfis de Dispositivos**

A essência dos perfis funcionais, no âmbito de aplicações baseadas em *fieldbus*, é a normalização da aplicação, em que aqueles representam uma descrição normalizada dos recursos de uma rede. Desta forma, torna-se aberta a utilização dos serviços de rede, podendo os sistemas integrar dispositivos de diferentes origens.

#### **6.2.3.1 Acesso aos Recursos**

Do ponto de vista da exploração, ambas as arquitecturas de rede apresentadas neste trabalho convergem na mesma finalidade: permitir o acesso (escrita e leitura) de objectos relativos a aplicação dos dispositivos, através dos designados *data points*. A diferença reside na forma de realização: (i) em redes CANopen, a forma de ligar a rede aos objectos da aplicação é feita através do dicionário de objectos, que funciona como um descodificador de endereços de rede em endereços físicos, existindo um mapeamento directo (campo por campo) do objecto, e (ii) em redes sem fios, os objectos são acedidos na forma de serviços, sem recurso a mapeamento directo dos objectos, em que um serviço indica uma função que, por sua vez, estará ligada a um objecto (simples ou estruturado).

#### **6.2.3.2 Definição dos Dispositivos (Controlo Automático de Iluminação)**

Os dispositivos são, aqui, definidos no âmbito da aplicação de controlo automático de iluminação, muito embora o seu âmbito de aplicabilidade seja significativamente mais vasto.

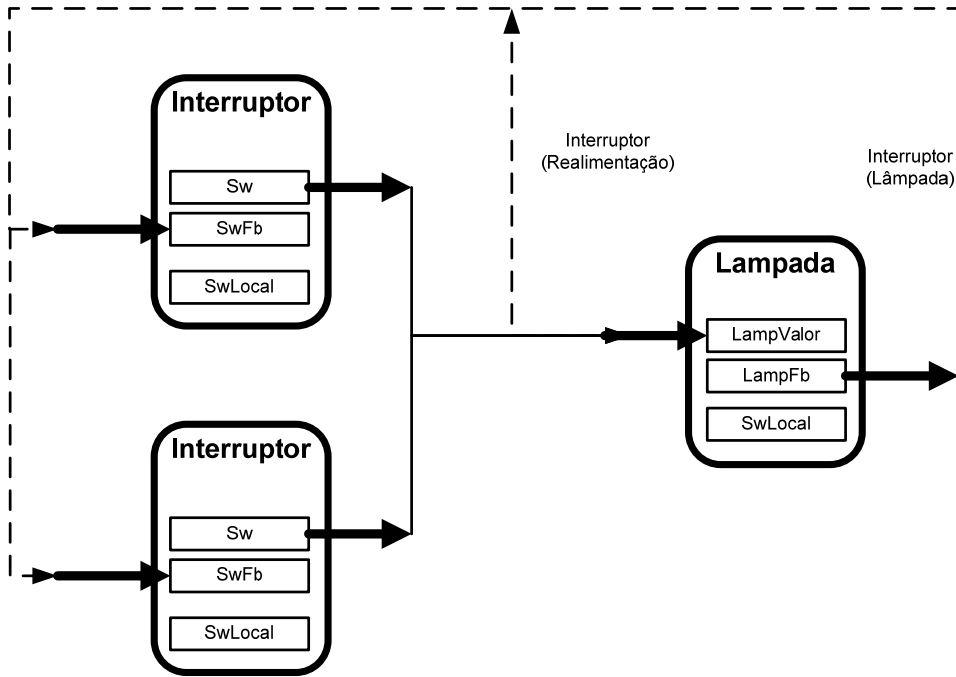


Figura 6-4 Cenário de utilização do interruptor/actuador de lâmpada

O leque de dispositivos definidos abrange apenas o actuador de lâmpada, o interruptor e a unidade remota. O cenário de aplicação está ilustrado na Figura 6-4.

#### 6.2.3.2.1 Estruturas de Dados para Definição de Objectos Complexos

Os dispositivos integram estruturas de dados complexas, que necessitam de ser definidas e enquadradas na especificação de tipos da norma CANopen. A referida norma prevê um intervalo livre de normalização, e será nesse espaço que enquadramos os novos tipos relativos aos nossos dispositivos. Nas secções seguintes são apresentados alguns quadros (em inglês), respeitando a normalização CANopen.

Quadro 6-1 Estrutura de dados referente ao actuador de ponto de luz (ACTUADOR\_ON/OFF)

Index	Sub-Index	Campos do objecto actuador de ponto de luz	Data Type
0x40	0x0	Número de entradas suportadas na estrutura	UNSIGNED8
	0x1	Entrada do actuador	UNSIGNED8
	0x2	Saída de realimentação	UNSIGNED8

**Quadro 6-2 Estrutura de dados referente ao objecto interruptor (*INTERRUPTOR\_ON/OFF*)**

Index	Sub-Index	Campos do objecto interruptor ON/OFF	Data Type
0x41	0x0	Número de entradas suportadas na estrutura	UNSIGNED8
	0x1	Saída do interruptor	UNSIGNED8
	0x2	Entrada de realimentação	UNSIGNED8

**Quadro 6-3 Estrutura de dados referente ao objecto unidade remota (*UNIDADE\_RMT*)**

Index	Sub-Index	Campos do objecto unidade remota	Data Type
0x42	0x0	Número de entradas suportadas na estrutura	UNSIGNED8
	0x1	Estado	BOOLEAN
	0x2	Endereço MAC7	UNSIGNED8
	0x3	Endereço MAC6	UNSIGNED8
	0x4	Endereço MAC5	UNSIGNED8
	0x5	Endereço MAC4	UNSIGNED8
	0x6	Endereço MAC3	UNSIGNED8
	0x7	Endereço MAC2	UNSIGNED8
	0x8	Endereço MAC1	UNSIGNED8
	0x9	Endereço MAC0	UNSIGNED8
	0x10	Ligação de interface	UNSIGNED16

#### 6.2.3.2.2 *Dispositivo Actuador de Ponto de Luz*

O dispositivo actuador de ponto de luz (ON/OFF) suporta três objectos com ligação à rede, todos obrigatórios. Um cenário típico de aplicação encontra-se ilustrado na Figura 6-4, em que o objecto representa a entrada de informação do dispositivo e assume valores ON (ponto de luz ligado) e OFF (ponto de luz desligado), sendo a realimentação obrigatória para conhecer o estado (ON/OFF) do actuador de ponto de luz, realimentando o dispositivo que requisitou uma alteração ao seu estado.

O interruptor pode ser mapeado para interfaces locais ou remotas: (i) valores inferiores a 0x00FFA no Sub\_Index 0x3 indicam interface local, num máximo de 256, e (ii) valores compreendidos entre 0x2000 e 0x5FFF<sup>29</sup> indicam ligação a uma interface remota.

---

<sup>29</sup> Intervalo referente à zona do dicionário de utilização livre, onde estão localizadas as referências aos objectos de controlo das unidades remotas.

Quadro 6-4 Descrição do objecto - Actuador de Ponto de Luz

Index	0x2100 – 0x21FF
Name	Interruptor ON/OFF
Object Code	RECORD
Data Type	ACTUADOR_ON/OFF
Category	Optional, Mandatory para cada actuador

Quadro 6-5 Descrição da entrada - Actuador de Ponto de Luz

Sub-Index	0x0
Description	Número de entradas suportadas
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	ro
PDO Mapping	NO
Value Range	3
Default Value	3

Sub-Index	0x1
Description	Entrada do actuador
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	Optional
Value Range	OFF=0x00; ON=0xFF
Default Value	OFF = 0x00

Sub-Index	0x2
Description	Saída de realimentação do actuador
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	Optional
Value Range	OFF=0x00; ON=0xFF
Default Value	OFF = 0x00

#### 6.2.3.2.3 Dispositivo Interruptor ON/OFF

O dispositivo interruptor suporta três objectos com ligação à rede, apenas podendo ser utilizado em aplicações de controlo ON/OFF. Para tal, possui uma saída com o estado da interface a ele associado, assumindo dois estados: (i) interruptor fechado (SW\_ON=0xFF), e (ii) interruptor aberto (SW\_OFF=0x00).

Para situações em que seja necessária realimentação, está disponível uma entrada opcional para reflectir o estado de uma acção. Um cenário típico de aplicação pode ser visto na Figura 6-4.

O interruptor pode ser mapeado para interfaces locais ou remotas: (i) valores inferiores a 0x00FFA no Sub\_Index 0x3 indicam interface local, num máximo de 256, e (ii) valores compreendidos entre 0x2000 e 0x5FFF<sup>30</sup> indicam a ligação a uma interface remota.

**Quadro 6-6 Descrição do objecto - Interruptor ON/OFF**

Index	0x2200 – 0x22FF
Name	Interruptor ON/OFF
Object Code	RECORD
Data Type	INTERRUPTOR_ON/OFF
Category	Optional, Mandatory para cada interruptor

---

<sup>30</sup> Intervalo referente à zona do dicionário de utilização livre, onde estão localizadas as referências aos objectos de controlo das unidades remotas.

Quadro 6-7 Descrição da entrada - Interruptor ON/OFF

Sub-Index	0x0
Description	Número de entradas suportadas
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	ro
PDO Mapping	NO
Value Range	2-3
Default Value	2

Sub-Index	0x1
Description	Saída do interruptor
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	Optional
Value Range	OFF=0x00; ON=0xFF
Default Value	OFF = 0x00

Sub-Index	0x2
Description	Entrada de realimentação do interruptor
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Optional
Access	rw
PDO Mapping	Optional
Value Range	OFF=0x00; ON=0xFF
Default Value	NO

Sub-Index	0x3
Description	Ligação de interface
Data type	UNSIGNED32
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED32
Default Value	NO

#### 6.2.3.2.4 Dispositivo Remoto

Para obviar as ligações entre as interfaces remotas e os objectos da aplicação local, foram previstos objectos representando unidades remotas e que, depois de parametrizados convenientemente durante a instalação, permitem fazer a associação correcta das interfaces.

A unidade remota é caracterizada pelo endereço IEEE (MAC *address*), que é único, e será com base neste endereço que a unidade de quadro inicia conversação com as unidades remotas. Depois de ligada convenientemente, o estado das unidades remotas passa ao estado ligado.

**Quadro 6-8 Descrição do objecto - Remoto**

Index	0x2000 – 0x20FF
Name	Dispositivo remoto
Object Code	RECORD
Data Type	UNIDADE_RMT
Category	Optional, Mandatory para cada unidade remota

Quadro 6-9 Descrição da entrada - Remoto

Sub-Index	0x0
Description	Número de entradas suportadas
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	ro
PDO Mapping	NO
Value Range	10
Default Value	10

Sub-Index	0x1
Description	Estado da unidade remota
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	0 – Unidade desliga; 1 – Unidade ligada
Default Value	0

Sub-Index	0x2
Description	Oitavo byte do endereço MAC (mais significativo)
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x3
Description	Sétimo byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x4
Description	Sexto byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x5
Description	Quinto byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x6
Description	Quarto byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x7
Description	Terceiro byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x8
Description	Segundo byte do endereço MAC
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x9
Description	Primeiro byte do endereço MAC (menos significativo)
Data type	UNSIGNED8
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED8
Default Value	NO

Sub-Index	0x10
Description	Ligação de interface
Data type	UNSIGNED32
Entry Category	Mandatory
Access	rw
PDO Mapping	NO
Value Range	UNSIGNED32
Default Value	NO

### 6.2.3.3 Serviços nas Unidades Remotas

Os serviços definidos para efeito de teste encontram-se listados no Quadro 6-10. Estes serviços enquadram-se num leque de serviços normalizados, ficando um intervalo de identificadores reservado a serviços não normalizados.

**Quadro 6-10 Serviços do protocolo de alto nível (PaN)**

Nome do serviço	Código de identificação
SERVICO_INTERRUPTOR_ON/OFF	0x10
SERVICO_ACTUADOR_ON/OFF	0x11
Área de serviços livre	0x80 – 0xFF <sup>31</sup>

<sup>31</sup> Intervalo a rever em futuras revisões.

### 6.2.3.3.1 Serviço *SERVICO\_INTERRUPTOR\_ON/OFF*

Este serviço liga a interface local (interruptor) das unidades remotas à rede sem fios. É um serviço se gerador de informação e, como tal, deverá suportar as acções: (i) *GETDATA\_REQ*, na situação em que um dispositivo remoto requisita a leitura do estado do interruptor, e (ii) *SETDATA\_RSP*, na situação em que o dispositivo toma a iniciativa de enviar o seu estado a uma unidade através da acção *SETDATA\_REQ*. A estrutura do serviço está descrita no Quadro 6-11.

**Quadro 6-11 Estrutura do serviço *SERVICO\_INTERRUPTOR\_ON/OFF***

Tipo	Nome do serviço	Valores admissíveis
UNSIGNED8	<i>SERVICO_INTERRUPTOR_ON/OFF</i>	<i>SW_OFF</i> = 0x00, <i>SW_ON</i> = 0xFF
Acções suportadas		<i>GETDATA_REQ</i> <i>SETDATA_RSP</i>

### 6.2.3.3.2 Serviço *SERVICO\_ACTUADOR\_ON/OFF*

Este serviço liga a interface local (actuador) das unidades remotas à rede sem fios. É um serviço consumidor de informação e, como tal, deverá suportar as acções: (i) *GETDATA\_RSP*, na situação em que um dispositivo requisita a leitura do estado do interruptor numa unidade remota, e (ii) *SETDATA\_REQ*, na situação em que o dispositivo recebe informação de uma unidade remota. A estrutura do serviço, como ilustrada no Quadro 6-12.

**Quadro 6-12 Estrutura do serviço *SERVICO\_ACTUADOR\_ON/OFF***

Tipo	Nome do serviço	Valores admissíveis
UNSIGNED8	<i>SERVICO_INTERRUPTOR_ON/OFF</i>	<i>SW_OFF</i> = 0x00, <i>SW_ON</i> = 0xFF
Acções suportadas		<i>SETDATA_REQ</i> <i>SETDATA_RSP</i>

## 6.2.4 O Hardware

O *hardware* das unidades construídas é diferenciado, encontrando-se sucintamente descrito nas secções seguintes.

### 6.2.4.1 Unidade de Quadro

O *hardware* da unidade de quadro é baseado num módulo Phytec miniMODUL-167 [PHY08], e as comunicações sem fios são realizadas com recurso a um módulo CC2420EM [TI08] da Chipcon. Esta unidade acumula as funções de coordenador da rede sem fios e de escravo na rede cablada CANopen.

O *hardware* desta unidade está patente na fotografia da Figura 6-5, onde podemos identificar o módulo de comunicações sem fios, o módulo Phytec com o núcleo central da unidade, e a placa base com os restantes dispositivos, onde se destaca um *DIP-Switch* para configuração do endereço CANopen/(canal de rede IEEE802.15.4) e três LEDs de sinalização, indicando: (i) o correcto arranque do *hardware*, (ii) a iniciação da rede sem fios, e (iii) o acolhimento de uma nova unidade, no quadro do processo de associação.

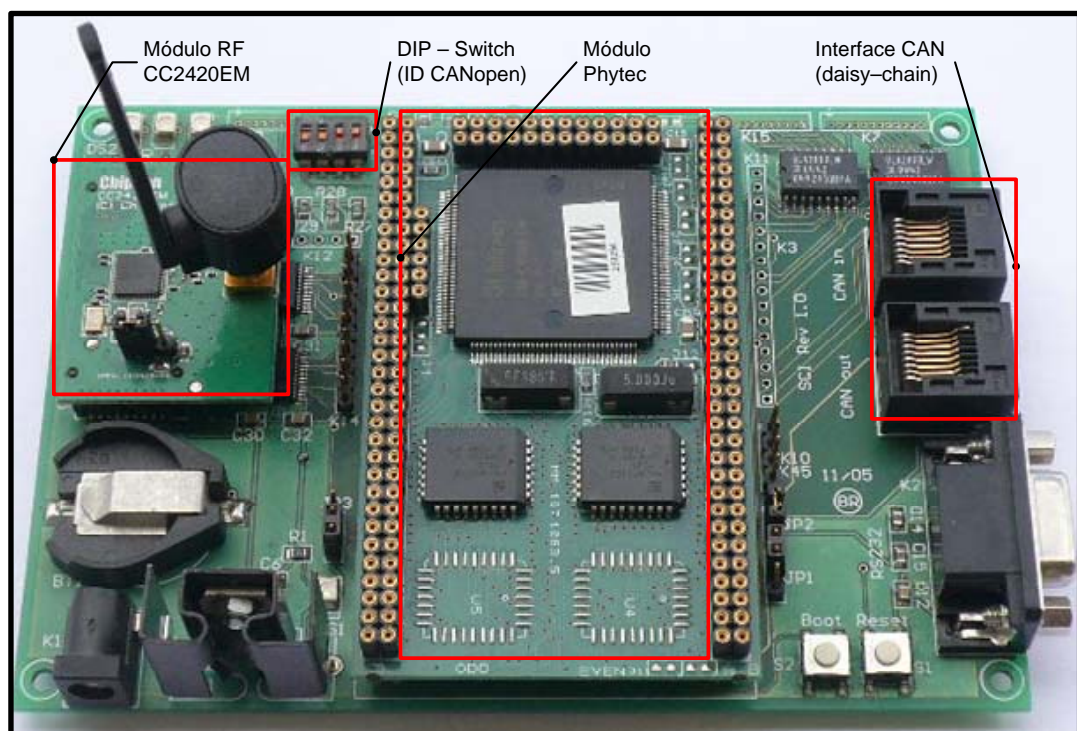


Figura 6-5 Protótipo da unidade de quadro

A sinalização externa é utilizada para sinalizar o correcto arranque do *hardware*, sinalização de iniciação da rede sem fios e, por fim, para sinalizar o acolhimento de mais uma unidade (associação).

#### 6.2.4.2 Unidade Coordenadora

O *hardware* da unidade coordenadora (*router*) está representado pela fotografia da Figura 6-6, onde é patente a sua organização em três placas distintas concatenadas em pilha. Aqui, a placa nuclear – representada na Figura 6-7 – é baseada num microcontrolador MSP430F1611, com quantidades de memória RAM e FLASH bastantes para suportar as suas funções embebidas e uma reduzida interface humana (indicações de alimentação e de nova unidade associada). A sua alimentação é realizada através de uma placa contendo um conversor ac/dc, a qual assegura, também, o controlo *ON/OFF* de um ponto de luz com alimentação do sector (230V @ 50 Hz), até 100W de potência activa, que foi utilizada no controlo de um ponto de luz na aplicação de demonstração – as fotografias na Figura 6-8, mostram as duas faces da referida placa.

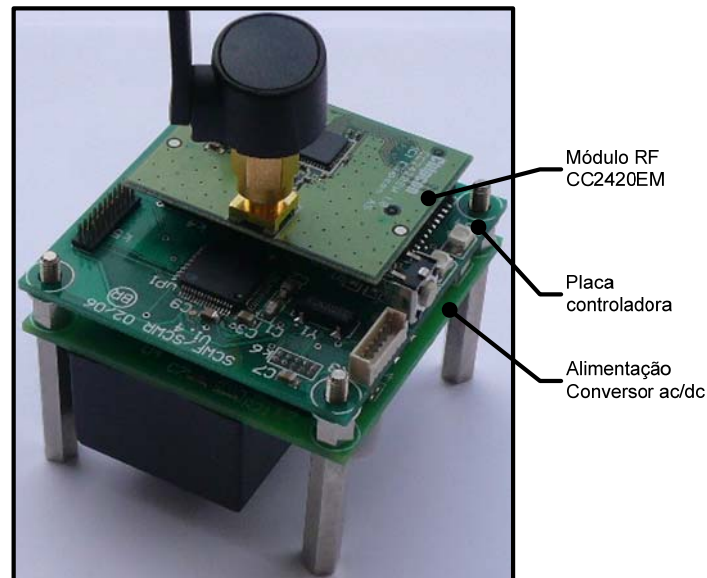
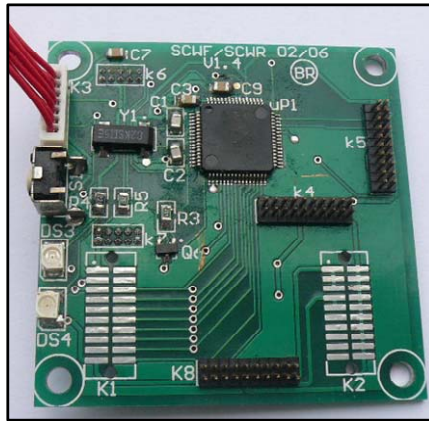
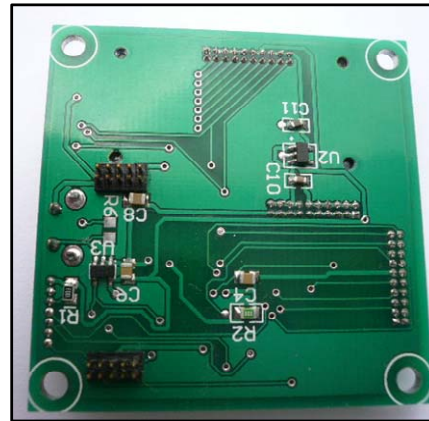


Figura 6-6 Protótipo da unidade coordenadora



Face1

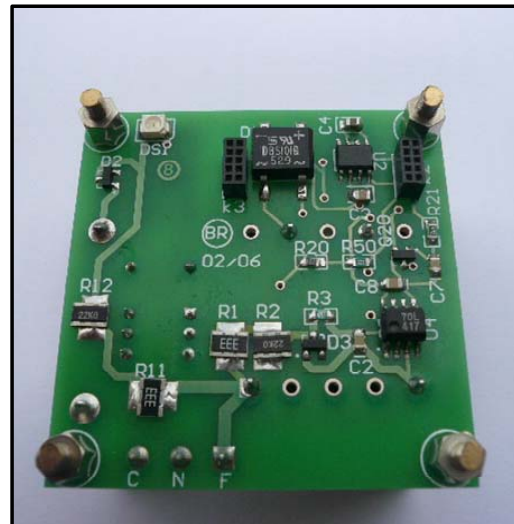


Face 2

Figura 6-7 Placa controladora para as unidades coordenador



Face 1

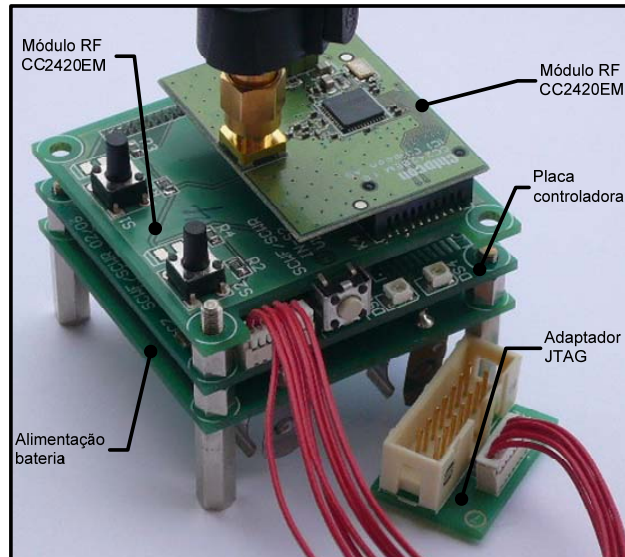


Face 2

Figura 6-8 Placa de alimentação para unidades coordenadora com conversor ac/dc

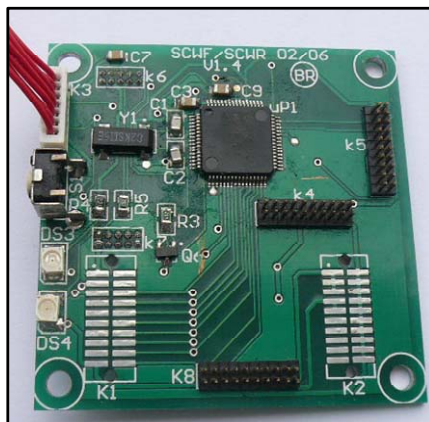
### 6.2.4.3 Unidade Terminal

O protótipo da unidade terminal está representado na fotografia da Figura 6-9, e, tal como para a unidade *router*, foi organizado em quatro placas distintas concatenadas em pilha.

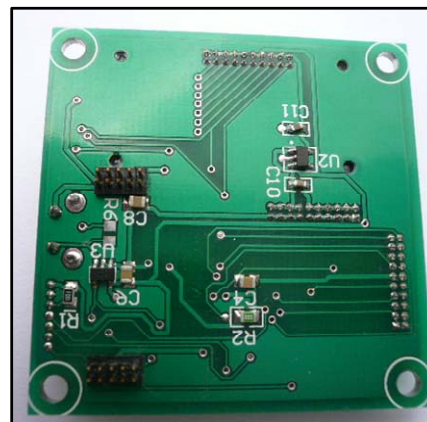


**Figura 6-9** protótipo da unidade terminal

Numa perspectiva de construção modular, a unidade terminal foi baseada na mesma placa já utilizada como placa nuclear na unidade coordenadora – Figura 6-10– sendo que, aqui, a interface humana a suportar disponível se cinge a um único LED, para indicar a recepção de mensagens de sincronismo enviadas pela unidade “Pai”.

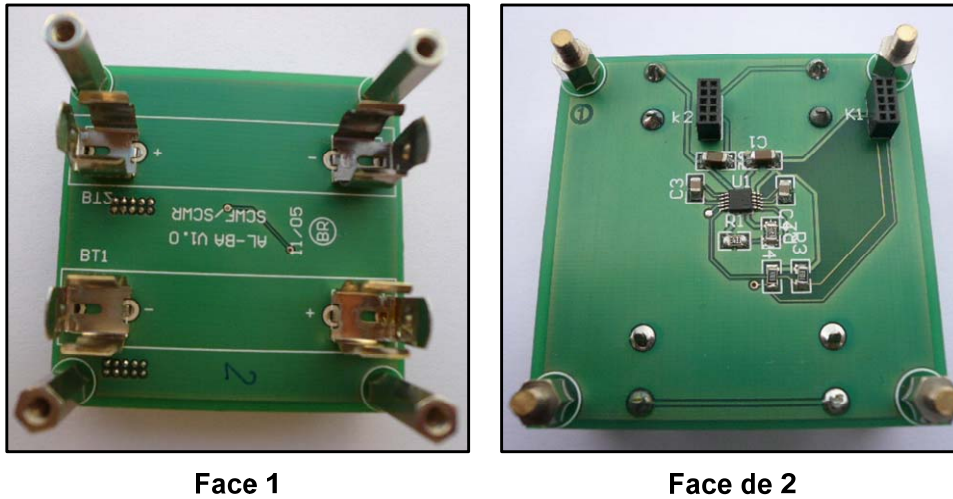


**Face 1**



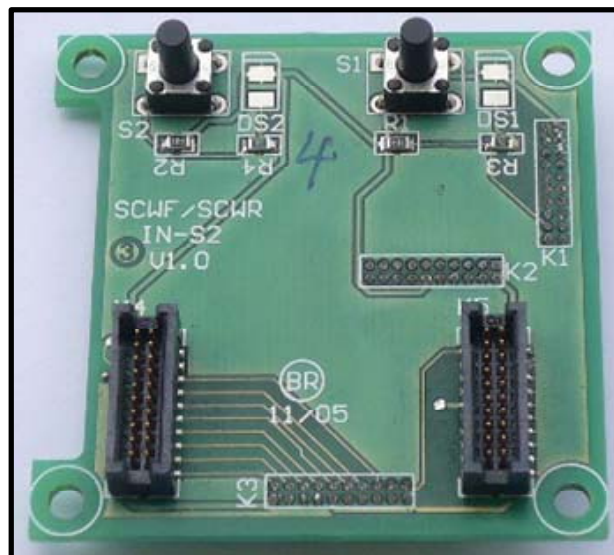
**Face 2**

**Figura 6-10** Placa controladora para as unidades terminal



**Figura 6-11** Placa de alimentação para unidades remotas com bateria e bomba de carga

A alimentação desta unidade é baseada numa bomba de carga (conversor dc/dc), a cuja entrada é aplicada uma tensão de cerca de 3 V, que são gerados pela associação em série de duas baterias de 1,5V; este conversor permite otimizar o consumo da energia acumulada nas baterias, bem como a monitorização da carga das mesmas – a Figura 6-11 mostra fotografias das duas faces desta placa.



**Figura 6-12** Placa de aplicação – interruptores

A fotografia da Figura 6-12 representa o *hardware* de aplicação que, para esta aplicação de demonstração, contém dois pulsadores.

### **6.2.5 O Firmware**

Como anteriormente referido, o *hardware* das diferentes unidades foi realizado com respeito por critérios de modularidade construtiva, com a consequente partilha de tecnologias, dispositivos e placas. A semelhança assim conseguida teve como contraponto o *software* relativo aos algoritmos implementados ao nível da camada de aplicação, de modo a realizar a diferenciação funcional entre os tipos de unidade, como se ilustra nas Figura 6-13, Figura 6-14 e Figura 6-15 – tomando em atenção que a sequência nelas expressa não tem o mesmo “carimbo temporal”, pois é efectuada por etapas, em resposta às mensagens de comando recebidas pela tarefa – e, seguidamente, se descreve para cada um dos tipos de unidade.

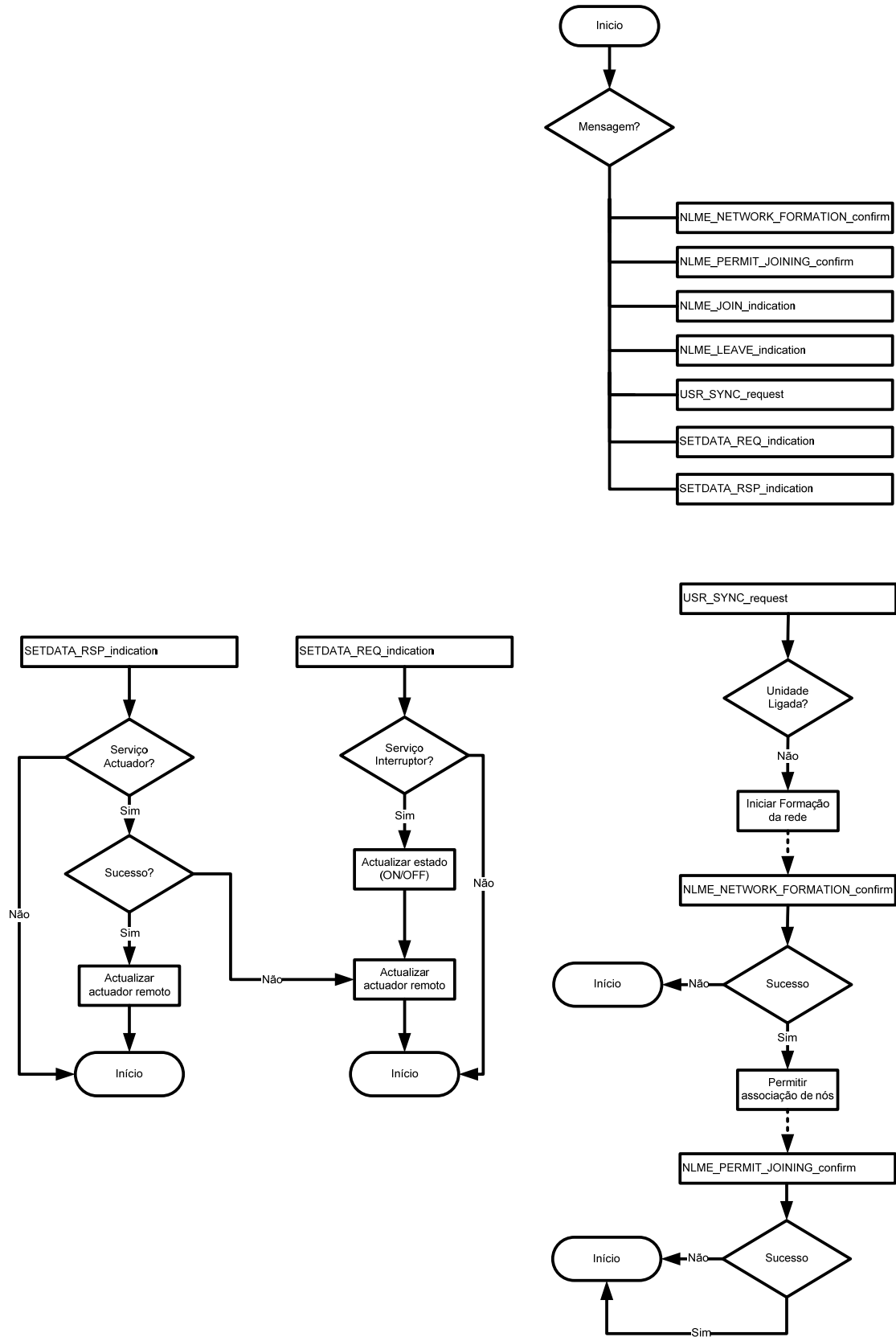


Figura 6-13 Algoritmo da aplicação da unidade coordenadora de rede (unidade de quadro)

### 6.2.5.1 **Unidade de Quadro**

A unidade de quadro, ou unidade coordenadora, acumula três funções: (i) gestão de rede, função que se reveste da máxima importância, já esta unidade é responsável pela conformação de redes sem fios, verificando a existência de canais livres, a fim de ocupar um deles<sup>32</sup>, e permitindo a associação de novos elementos à rede, (ii) estabelecimento das necessárias ligações lógicas com unidades remotas, através dos serviços do protocolo PaN, e (iii) o desempenho de funções de aplicação, com base no conteúdo dos objectos ligados às interfaces. A rede CANopen é diferente, não necessitando de qualquer procedimento de *setup* e, por essa razão, não é incluída nas funções de aplicação – Figura 6-13.

### 6.2.5.2 **Unidade Coordenadora**

As tarefas de aplicação desta unidade são de dois tipos: (i) gestão da rede sem fios, englobando os procedimentos de associação e o reencaminhamento de mensagens, e (ii) tarefas de aplicação que, embora opcionais, devem ser acumuladas com as funções de *routing*, numa mesma unidade com alimentação permanente (ac).

No presente caso, esta unidade acumula a função de interface remota a uma unidade actuadora, respondendo ao serviço `SERVICO_INTERRUPTOR_ON/OFF` – o algoritmo aplicado a esta tarefa está representado na Figura 6-14.

---

<sup>32</sup> Existe o devido cuidado de, previamente, seleccionar o canal a utilizar e, assim, evitar a sobreposição de redes.

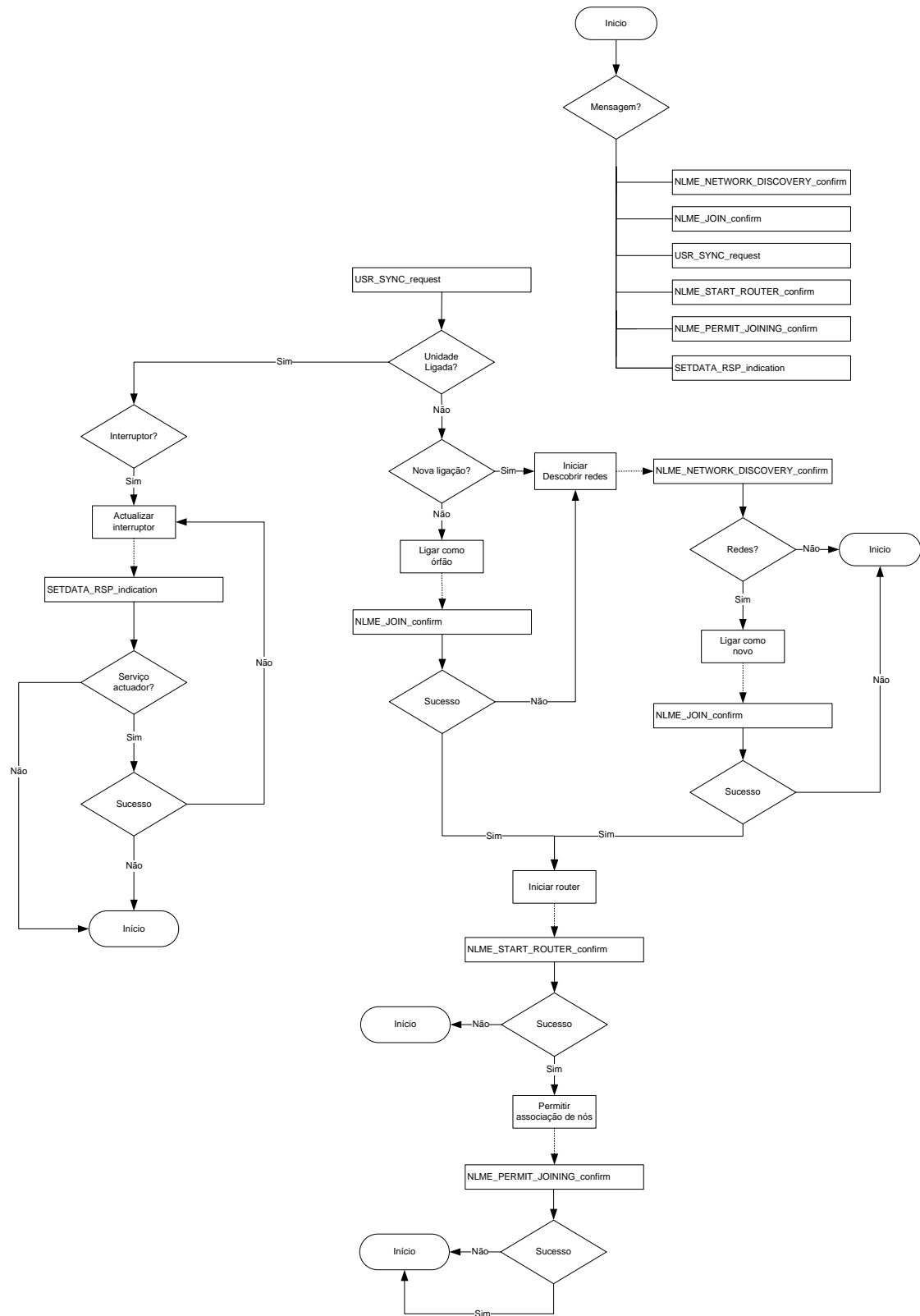


Figura 6-14 Algoritmo da aplicação na unidade coordenador

### 6.2.5.3 Unidade Terminal

As tarefas da aplicação desta unidade são de dois tipos: (i) estabelecimento de rede sem fios, através da procura de canal admissível e dos procedimentos de associação, e pela manutenção de uma ligação sincronizada com o “pai” respectivo, através de consulta periódica acerca da existência de mensagens a si dirigidas, e (ii) tarefas de aplicação que, presentemente, se resumem ao envio de alterações de estado dos interruptores, através do serviço `SERVICO_INTERRUPTOR_ON/OFF`, para a unidade coordenadora. A Figura 6-15 apresenta a esquematização dos procedimentos nela implementados.

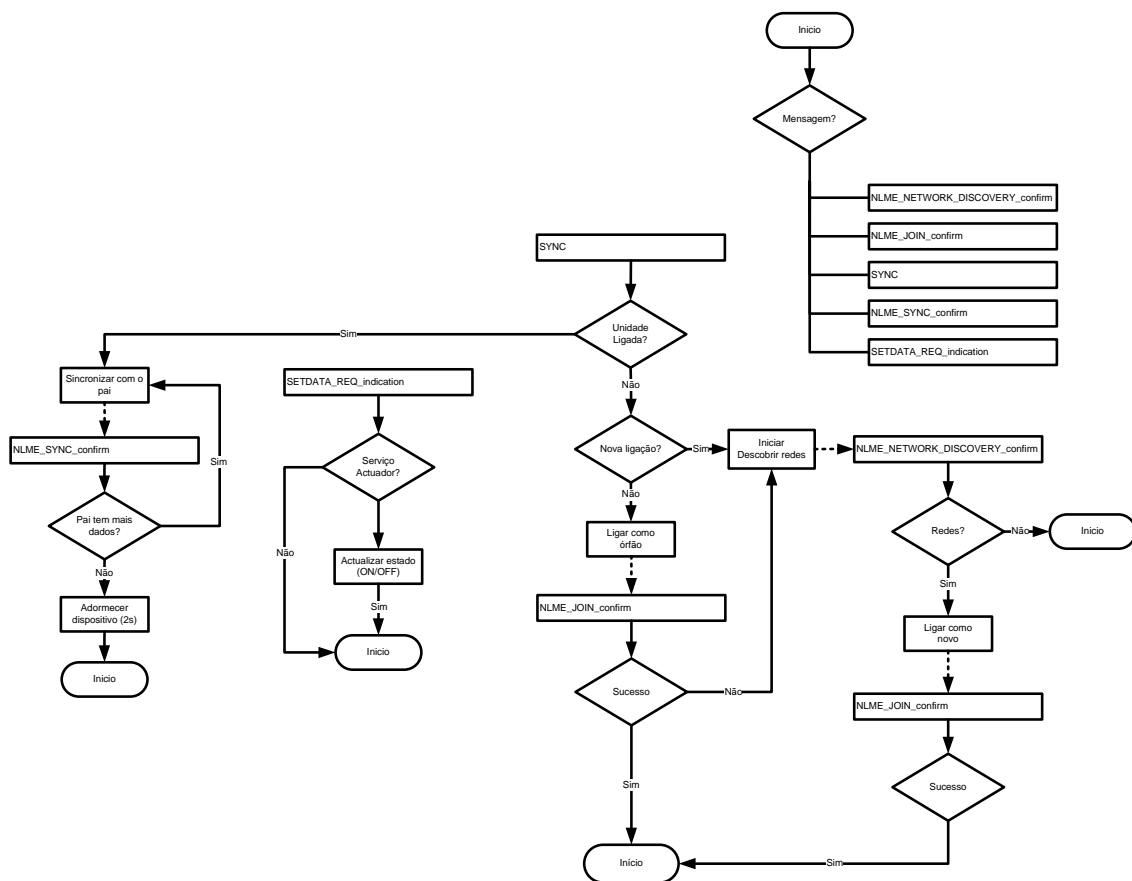


Figura 6-15 Algoritmo da aplicação para unidades Terminal (Interrupção)

## 6.2.6 A Parametrização

### 6.2.6.1 Gestão das Prioridades no SOUBI

Dado o carácter assíncrono das tarefas em aplicações de Domótica, o critério de atribuição de prioridades<sup>33</sup> no sistema operativo baseou-se nos seguintes factores: (i) a importância relativa de cada função, no seio da aplicação, (ii) a predominância da entrada de dados externos, e (iii) o tempo médio de execução de cada tarefa. Em consequência, resultou a tabela de prioridades apresentada no Quadro 6-13.

Quadro 6-13 Atribuição de prioridades no SOUBI

Prioridade	SYNC	IEEE802.15.4			USR	CAN	IL
		MAC	NWK	APP			
0							X
1						X <sup>34</sup>	
2		X					
3			X				
4				X			
5	X						
6					X		

### 6.2.6.2 Parametrização do *Stack* das Comunicações Sem Fios

Esta parametrização visa eliminar da compilação porções de código desnecessários ao dispositivo, através da selecção de parâmetros de funcionamento estáticos, isto é, sem alteração durante o funcionamento programado do dispositivo.

A informação é apresentada na forma de quadros, em que a informação constante num mesmo quadro apresenta a mesma afinidade. As tabelas que constam no ANEXO B – Configuração do *Firmware*

## 6.2.7 Dicionário de Objectos

Um dicionário, tal como especificado pela norma CANopen, está dividido em três secções, em que duas delas são referentes a dispositivos normalizados e a outra é

<sup>33</sup> As prioridades decrescem no sentido do maior valor – somente aplicável nas unidades de quadro.

<sup>34</sup> Somente aplicável nas unidades de quadro, nas restantes esta prioridade não é utilizada.

para utilização livre. Assim, o dicionário de objectos da unidade de quadro especifica a parte relativa às comunicações e enquadra os perfis de aplicação na área de utilização livre – ANEXO C - Dicionário de Objectos.

### 6.2.8 Validação de Resultados

Com o intuito de atestar o funcionamento do sistema, nas secções seguintes apresentam-se alguns quadros resultantes dos procedimentos chave para o funcionamento da rede sem fios – estes resultados foram obtidos através *packet sniffer* para o IEEE 802.15.4 da Texas Instruments.

#### 6.2.8.1 Conformação da Rede Sem Fios

A rede sem fios foi composta por quatro unidades e organizada como representado na Figura 6-16.

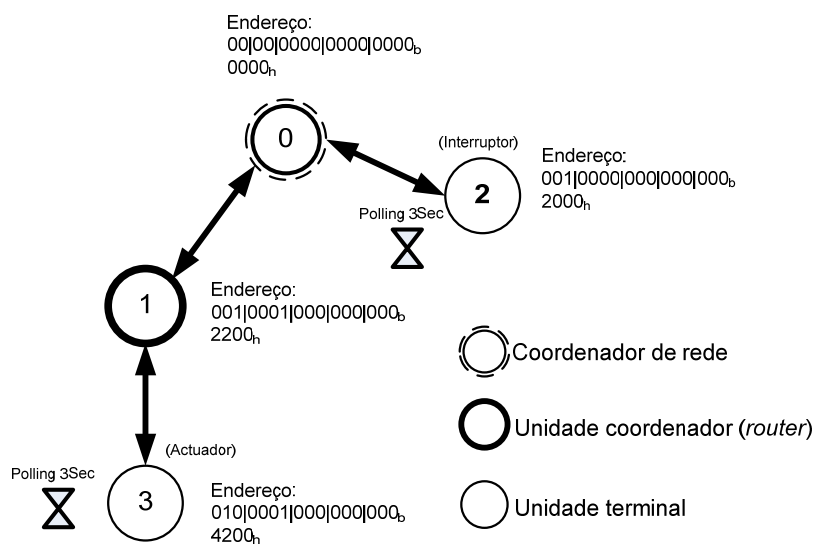


Figura 6-16 Arquitectura da rede

Os quadros seguintes ilustram a conformação da rede, representando a sequência da associação dos vários nós a esta.

6.2.8.1.1 Associação da “unidade interruptor” directamente ao coordenador de rede.

Time (s)	Length	Type	Sec	Prd	ACK	req	Intra	PAN	Sequence number	Dest. PAN Address	Source PAN Address	LOI	FCS
+0	10	CD	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	112	OK
+0.001711	10	CD	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	112	OK
+0.0035471	10	CD	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	112	OK
+26543	15	ECN	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	112	OK
+2722014	15	ECN	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	112	OK
+202333	21	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	104	OK
+5224347	21	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	104	OK
+1060	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	108	OK	
+5925407	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	108	OK	
+36234	20	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	96	OK
+5961641	20	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	96	OK
+1028	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	100	OK	
+5926269	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	100	OK	
+463737	29	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK
+6264206	29	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK
+1316	5	ACK	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK	
+6427222	5	ACK	0	0	0	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK	
+765956	14	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK
+6504718	14	CD	0	0	1	0	0	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	92	OK

Unidade Coordenadora de rede terminou a sua inicialização. A rede está iniciada, podendo receber novas unidades

Inicialização do procedimento de associação à rede pela unidade terminal (interruptor) com o procedimento de “active scan”

Resposta do coordenador com mensagem “rádio-farol” com indicação de permissão de associação e a profundidade de rede

Procedimento “Active Scan” terminado. A unidade terminal solicita permissão para associação a rede

Pedido de informação ao coordenador

Procedimento de associação terminado com a resposta do coordenador contendo a indicação de sucesso e o endereço de rede atribuído à unidade interruptor

Figura 6-17 Procedimento de associação da unidade interruptor





### **6.2.8.2 Procedimentos da Camada de Alto Nível**

De seguida são apresentados quadros ilustrativos de alguns procedimentos do protocolo da camada de alto nível, nomeadamente para as acções de CONNECT\_REQ, CONNET\_RSP, SET\_REQ e SET\_RSP.



6.2.8.2.2 Acção CONNECT\_RSP

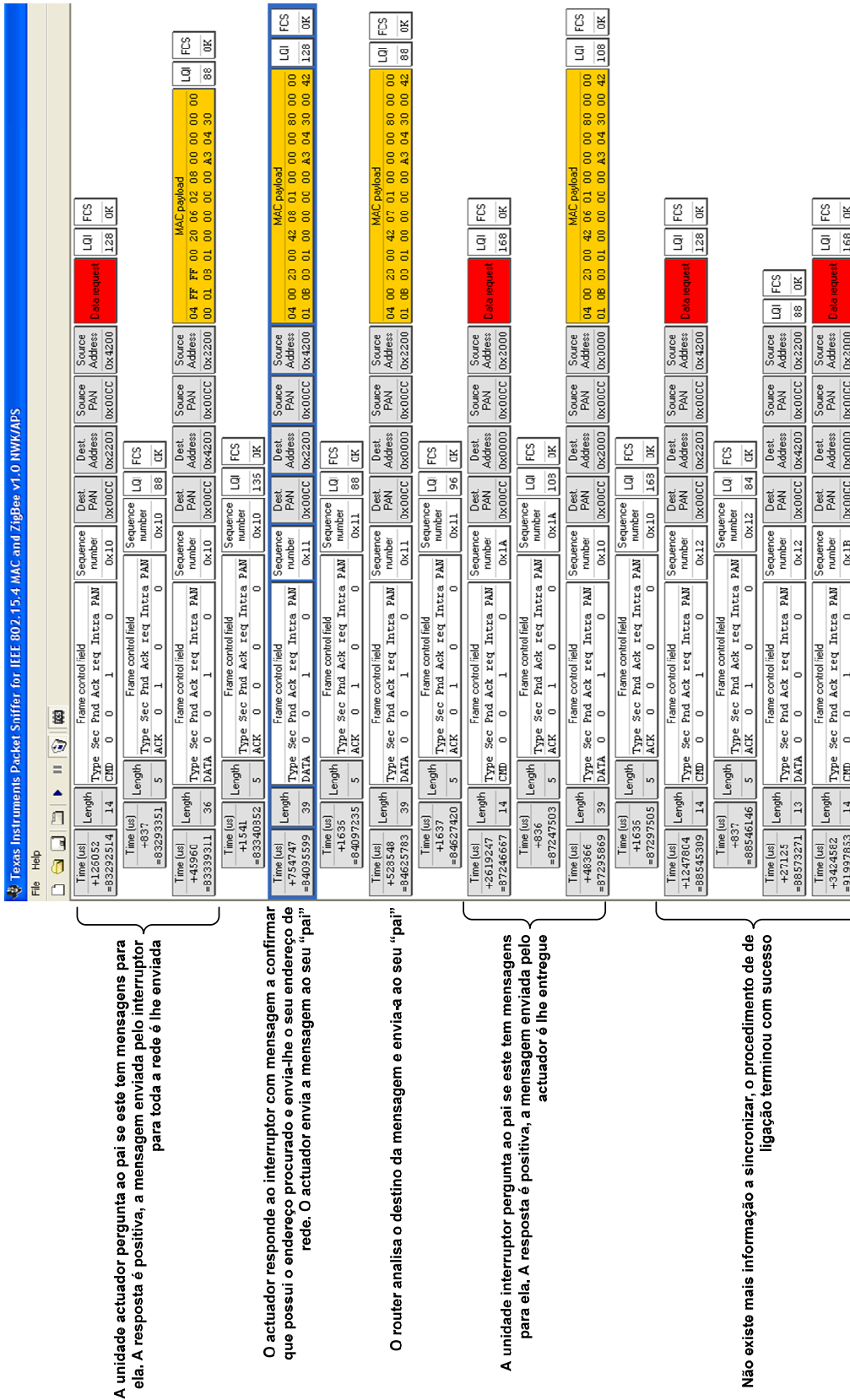


Figura 6-21 Procedimento para a acção CONNECT\_RSP

6.2.8.2.3 Acção SETDATA\_REQ

Texas Instruments Packet Sniffer for IEEE 802.15.4 MAC and ZigBee v1.0 NWK/APS

Time (us)	Length	Type	Sec	Pnd	ACK	req	Intra	PAN	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source PAN	Source Address	MAC payload	LOI	FCS
+50994 =62120281	29	DATA	0	0	1	0	0	0x0133	0x13	0x0133	0x0000	0x0133	0x2000	04 00 42 00 20 08 03 00 01 00 05 01 00 01 01 F0	128	OK
+1316 =62121597	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0133	0x13	0x0133	0x112	0x0133	0x112			
+1316 =62592253	29	DATA	0	0	1	0	0	0x0133	0x15	0x0133	0x2200	0x0133	0x2000	04 00 42 00 20 07 03 00 01 00 05 01 00 01 01 F0	112	OK
+1316 =62597569	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0133	0x15	0x0133	0x120	0x0133	0x120			
+1819405 =64416974	14	CMD	0	0	1	0	0	0x0133	0x0C	0x0133	0x2200	0x0133	0x4200	Data request	132	OK
+837 =64417811	5	ACK	0	1	0	0	0	0x0133	0x0C	0x0133	0x120	0x0133	0x120			
+40748 =64458559	29	DATA	0	0	1	0	0	0x0133	0x0F	0x0133	0x4200	0x0133	0x2200	04 00 42 00 20 06 03 00 01 00 05 01 00 01 01 F0	116	OK
+1317 =64459876	5	ACK	0	0	0	0	0	0x0133	0x0F	0x0133	0x132	0x0133	0x132			

O interruptor envia ao actuador um pedido de comutação de estado. A mensagem foi enviada ao seu "pai"

O coordenador entrega ao "pai" do actuador e que é seu "filho"

A unidade actuador pergunta ao pai se este tem mensagens para ela. A resposta é positiva, a mensagem enviada pelo interruptor é lhe entregue

Figura 6-22 Procedimento para a acção SETDATA\_REQ

6.2.8.2.4 Acção SETDATA\_RSP

Time (us)	Length	Type	Sec	Pnd	ACK	req	Intra	PAN	Frame control field	Sequence number	LOI	FCS
+1317 =64459876	5	ACK	0	0	0	0	0	0		0x0F	132	OK
+590410 =65150286	30	DATA	0	0	1	0	0	0		0x0D	0x0133	0x220D
+1349 =65151635	5	ACK	0	1	0	0	0	0		0x0D	116	OK
+512221 =656663856	30	DATA	0	0	1	0	0	0		0x10	0x0133	0x080D
+1349 =656665205	5	ACK	0	1	0	0	0	0		0x10	112	OK
+517772 =65182977	14	CMD	0	0	1	0	0	0		0x14	0x0133	0x0000
+836 =66183813	5	ACK	0	1	0	0	0	0		0x14	100	OK
+42063 =66225876	30	DATA	0	0	1	0	0	0		0x16	0x0133	0x2000
+1348 =66227224	5	ACK	0	0	0	0	0	0		0x16	120	OK
+3029700	Length	Type	Sec	Pnd	ACK	req	Intra <td>PAN <td>Frame control field <td>Sequence number <td>LOI <td>FCS</td> </td></td></td></td>	PAN <td>Frame control field <td>Sequence number <td>LOI <td>FCS</td> </td></td></td>	Frame control field <td>Sequence number <td>LOI <td>FCS</td> </td></td>	Sequence number <td>LOI <td>FCS</td> </td>	LOI <td>FCS</td>	FCS

O actuador responde ao interruptor. A mensagem foi enviada ao seu "pai"

O router envia-a ao seu "pai"

A unidade interruptor pergunta ao "pai" se este tem mensagens para ela. A resposta é positiva, a mensagem enviada pelo actuador é lhe entregue

Figura 6-23 Procedimento para a acção SETDATA\_RSP

## **6.3 O FUTURO: LINHAS DE ORIENTAÇÃO**

O trabalho realizado constitui uma base de trabalho vasta, permitindo diferentes rumos na orientação do seu seguimento: (i) expansão da plataforma, sobretudo no que diz respeito às interfaces com o sistema domótico, (ii) optimização das comunicações, sobretudo na rede sem fios, e (iii) traduzir para perfis funcionais as aplicações e dispositivos domóticos.

Em larga medida, a expansão desta plataforma deverá incidir sobre a unidade UIS, em particular nos aspectos seguintes:

- A unidade UIS participa no sistema domótico como um servidor OPC, portanto integrando a informação dos vários sistemas domóticos através desta tecnologia de interligação de sistemas abertos – a tecnologia OPC constitui uma forma “natural” de interacção entre os diversos subsistemas de automação e a sua generalização neste domínio deve ser aprofundada;
- A definição de perfis de unidades de serviço alojadas nas unidades de quadro, para elevar a operacionalidade do sistema – um bom exemplo será o da entidade de controlo remoto, para fazer chegar estímulos/comandos à unidade UIS;
- Uma definição da interface humana na unidade UIS, uma vez que é através da sua convivialidade que o mercado fará, em grande parte, a sua apreciação sobre o sistema;
- O complemento do sistema através do reforço das ferramentas de apoio à instalação de sistemas, particularmente para auxiliar a determinação dos melhores locais de instalação das unidades sem fios, cujo alcance de radiofrequência tanto depende das condições construtivas do meio circundante.

Por outro lado, a optimização das comunicações sem fios constituirá um factor fundamental, sendo alvo da atenção de muitos investigadores. Os aspectos que reputamos como mais merecedores de atenção são os seguintes:

- A segurança<sup>35</sup> das comunicações sem fios foi um factor pouco focado neste trabalho, onde se privilegiou a operacionalidade (flexibilidade e débito de desempenho) do sistema; contudo, aquele será um aspecto merecedor da maior atenção, pois ninguém querará ver a sua casa controlada ou espiada por estranhos;
- O algoritmo de *routing* aplicado serve o sistema! Contudo, o nível de desempenho na entrega de mensagens pode ser melhorado, já que, actualmente, todas as mensagens passam pelo coordenador de rede e poderão existir situações em que uma mensagem passe primeiro pelo nó de destino sem que aí seja de imediato acolhida.

## 6.4 CONCLUSÃO

Este sistema representa uma plataforma de automação residencial capaz de integrar um vasto conjunto de dispositivos material e funcionalmente diversos. A definição de perfis de dispositivos nos vários domínios de incidência da Domótica é fundamental e, para isso, aqui se apresentou um contributo geral em termos de método e foram exemplificados alguns perfis de dispositivos concretos. A abordagem desta temática deverá continuar a ser efectuada de forma sistemática e estruturada, definindo primeiramente o serviço e depois, para cada serviço, os perfis para os vários dispositivos.

---

<sup>35</sup> Será importante relembrar que só as unidades inscritas na rede podem participar na aplicação distribuída. É permitido às não registadas associar-se à rede mas não podem participar na aplicação.

---

---

# 7

## BIBLIOGRAFIA

- [Alex02] Alexander Bauer, Peter Rössler; “A Hard Real-Time Bus Arbitration Protocol based on EIA-709”; *Proceedings of 14th Euromicro Conference on Real-Time Systems*, 2002, Page(s): 127 – 133.
- [Alonso00] Alonso, J.M.; Ribas, J.; Coz, J.J.D.; Calleja, A.J.; Corominas, E.L.; Rico-Secades, M., “Development of a distributive control scheme for fluorescent lighting based on LonWorks technology”; *IEEE Transactions on industrial Electronics*, Volume 47, Issue 6, Dec. 2000 Page(s): 1253 – 1262.
- [Alve03] José Augusto Alves, José Mota; “Casas Inteligentes”; *centroatlantico.pt*, 2003.
- [auna] (2008) *Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks*, AUNA fundación. [Online]. Disponible: <http://www.fundacionorange.es>.
- [aunaA] (2008) *Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks, Anexo A: Descripción de tecnologías para telecontrol*, AUNA fundación. [Online]. Disponible: <http://www.fundacionorange.es>.
- [Baker05] Baker, N.; “ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications”; *Computing & Control Engineering Journal*, Volume 16, Issue 2, April-May 2005, Page(s):20 - 25.
- [BCI] (2008) *BatiBUS Club International (BCI)*. [Online]. Disponible: <http://www.batibus.com>.

- [Ber03] Bergamo, P.; Maniezzo, D.; Mazzini, G.; “RWPS: a low computation routing algorithm for sensor networks”; *Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia, 15-18 Dec 2003, Page(s): 1071 – 1075, vol.2.*
- [Berge02] Jonas Berge; “Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance”; ISA – The Instrumentation and Automation Society, 2002.
- [Bha04] Archana Bharathidasan and Vijay Anand Sai Ponduru; “SENSOR NETWORKS: an Overview”; *SURVEY paper, IEEE Infocom, 2004.*
- [Bosch91] Robert Bosch GmbH; “CAN Specification 2.0 Part A and Part B”; September 1991.
- [Bowdell99] Ken Bowdell; “The Emerge Use of FieldBus in Distributed Control Systems”; ISA - Instrument Society of America, 1999.
- [Bruno01] Bruno Ribeiro; “UMA PLATAFORMA UNIVERSAL Para a Automação e a Instrumentação Industrial”; *Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade da Beira Interior, 2001.*
- [Bruno01-2] Bruno Ribeiro;” *SOUBI – Núcleo de Sistema Operativo para Tempo Real – Manual de utilização*”; *Dep. Eng. Electromecânica, Universidade da Beira Interior, 2001.*
- [Bruno05] Bruno Ribeiro, Francisco Cardoso, “Um Sistema Colaborativo Baseado em Entidades Virtuais para a Automação Residencial e de Edifícios”, UBI – Engenharias 2005.
- [Bruno07] Bruno J. F. Ribeiro, Francisco J. A. Cardoso, “Integração M2M de Sistemas Wireless em Domótica”, UBI – Engenharias 2007, Covilhã, Novembro, 2007.
- [Buhler00] Buhler, D.; Nusser, G.; “The Java CAN API-a Java gateway to fieldbus communication”; *Proceedings of IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Page(s):37 - 43, 2000.*
- [C167] (2008) Infineon. [Online]. Disponível: [www.infineon.com](http://www.infineon.com).
- [Callaway02] Callaway, E. Gorday, P. Hester, L. Gutierrez, J.A. Naeve, M.Heile, B.Bahl, V; “Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks”; *EEE Communications Magazine, 2000, Volume: 40, Issue: 8, page(s): 70- 77.*
- [CAN08] (2008) CAN in Automation (CiA). [Online]. Disponível: <http://www.can-cia.org>.
- [Cardoso05] Francisco J. A. Cardoso, Paulo M. R. Falcão, Luís M. A. Oliveira, Nuno J. M. Rocha, Alejandro N. Cruz, Bruno J. F. Ribeiro, “Defining Scenarios in Home and Building Automation: CANopen and the Virtual Entities Approach”, *International CAN Conference, 2005.*
- [Caval00] Cavalieri, S.; Mirabella, O.; “Small EHS: proposal for a profile of the European Home System protocol”; *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, Volume 1, 19-22 Jan. 2000, Page(s): 486 – 490, vol 2.*
- [CC2420] (2008) 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver, reference manual, Texas instruments [online]. Disponível: <http://www.ti.com>.
- [CEN] CEN, *Data Communication for HVAC Applications Automation Net EIB: Annex A: Interface to BACnet*, CEN European Committee for Standardization, Brussels.
- [CENELEC] BS EN 50325-4:2002; “Industrial communication subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces .CANopen”, CENELEC, 2003.

- [Ciard05] Ciardiello, T.; "Wireless communications for industrial control and monitoring"; *Computing & Control Engineering Journal*, Volume 16, Issue 2, April-May 2005, Page(s):12 - 13
- [DS102] CiA Draft Standard DS 102 2.0; "CAN Physical Layer for Industrial Applications"; CiA – CAN in Automation, 1994.
- [DS301] CiA Draft Standard 301 (DS 301) version 4.02;"CAL based Communication Profile for Industrial Systems"; CiA - CAN in Automation, 2002.
- [Dutt99] Dutta-Roy, Amitava; "Networks for Homes"; *IEEE Spectrum*, December, 1999.
- [ECH] (2008) Echelon Corporation. [Online]. Disponível: <http://www.echelon.com>.
- [Egan05] Egan, D.; "The emergence of ZigBee in building automation and industrial control"; *Computing & Control Engineering Journal*; Volume: 16, Issue: 2; page(s): 4- 19; April-May 2005.
- [EHS] (2008) European Home Systems Association (EHSA). [Online]. Disponível: <http://www.ehsa.com>.
- [EIA10] ANSI/CEA Standard - ANSI/CEA-600.10, Introduction to the CEBus Standard, December 1999, ANSI Approval June 2000.
- [EIA-600.10] EIA-600.10, Introduction to the CEBus Standard, 1995.
- [EIB] (2008) European Installation Bus Association (EIBA). [Online]. Disponível: <http://www.eiba.com>.
- [EIBA] (2008) EIBA, handbook Series, Release 3.0. [Online]. Disponível: <http://www.eiba.com>.
- [Else03] Robert C. Elsenpeter, Toby J. Velte, "Build Your Own Smart Home", McGraw-Hill/Osborne, 2003.
- [Evans03] Evans-Pughe, C.; "Bzzzz zzz [ZigBee wireless standard]"; *IEE Review*, March 2003, Volume: 49, Issue: 3, page(s): 28- 31.
- [Farsi00] M. Farsi, M. Barbosa; "CANopen Implementation: application to industrial networks"; RSP-Research Studies Press, 2000.
- [Galeev04] Mikhail Galeev; "Home networking with Zigbee"; *embedded systems*, April 2004.
- [Gann99] David Gann, James Barlow, Timvenables; "Digital futures: making homes smarter"; published for the Joseph Rowntree Foundation by the Chartered Institute of Housing, 1999.
- [Gass01] O. Gassmann, H. Meixner; "Sensors Applications Volume 2 - Sensors in Intelligent Buildings"; WILEY-VCH Verlag GmbH, 2001.
- [Gerald] J. A. GERALD, J. A. L. INÁCIO, "Sistema de Transmissão de Elevado Ganho de Processamento para Canais de Rádio Selectivos", RELATÓRIO CIENTÍFICO DE PROGRESSO DO PROJECTO POSI - EEI/10249/2001 (2001-2002), INESCID, Lisboa.
- [Greichen92] John J. Greichen e Arthur D. Little, Inc.; "Value based home automation for today's market"; *IEEE Transactions on Consumer electronics*, Volume 38, Issue 3, Aug. 1992, Page (s): XXXIV – XXXVIII.
- [Gutierrez01] Gutierrez, J.A.; Naeve, M.; Callaway, E.; Bourgeois, M.; Mitter, V.; Heile, B.; "IEEE 802.15.4: a developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks"; *IEEE Network*, Volume 15, Issue 5, Sep/Oct. 2001, Page(s):12 – 19.

- [Gutierrez04] Jose A. Gutierrez, Edgar H. Callaway, Raymond Barrett; “IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensor Networks”; IEEE, New York, 2004.
- [Haas00] Haas, Z.J.; “A communication infrastructure for smart environments: a position article”; IEEE Personal Communications, Oct. 2000, Volume: 7, Issue: 5, page(s): 54-58.
- [Hadellis02] L. Hadellis, S. Koubias, Vassilios Makios; “An integrated approach for an interoperable industrial networking architecture consisting of heterogeneous fieldbuses”; Computers in Industry, Volume 49, Issue 3, Pages: 283 – 298, Elsevier Science Publishers B. V, 2002.
- [Haper03] Richard Harper; Inside the Smart Home”; Springer-Verlag, London Limited, 2003.
- [Herb00] Samuel M. Herb; “Networks for Factory Automation”; ISA - Instrument Society of America, 2000.
- [Hong02] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu, and Mario Gerla; “Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”; IEEE Network, special issue on Scalability in Communication Networks, July-Aug. 2002, pp: 11-21.
- [IEEE87] IEEE standards for local area networks: supplements to carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications Dec. 1987.
- [IEEEStd04] IEEE Std 802.15.4; IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-part15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).
- [INE05] INE – Instituto Nacional de Estatística; “Sociedade da informação e do conhecimento – inquérito à utilização tecnologias da informação e da comunicação pelas famílias 2005”; 5 de Dezembro de 2005.
- [INE05-2] Estatísticas Demográficas 2005, Instituto Nacional de Estatística, I.P., Lisboa, 2007.
- [INE06] Estadísticas da Habitação e Construção 2006, Instituto Nacional de Estatística, I.P., Lisboa, 2006.
- [INTL08] (2008) Introduction to LonWorks System. [Online]. Disponível: <http://www.echelon.com>.
- [ISO84] International Standards Organization (ISO); “Basic Reference Model for Open Systems Interconnection”; ISO 7498, 1984.
- [Iwanitz01] Frank Iwanitz, Jurgen Lange; “OLE for Process Control – Fundamentals, Implementation, and Application”; Huthig GmbH & Co. KG Heidelberg, 2001
- [JAMES98] James Barlow and David Gann; “A changing sense of place: are integrated IT systems reshaping the systems reshaping the home?”; Paper presented to the Technological Futures, Urban Futures Conference, Durham, 23-24 April 1998.
- [Janke99] Janke, M.; “OPC-simple software integration for legacy systems”; Advanced Process Control Applications for Industry Workshop, IEEE Industry Applications Society, 1999, Page(s):9 – 14.
- [Javier05] Javier García, Ana Nieto, Ana Barbolla, José Corredera; “El Hogar Digital Como Solución A Las Necesidades De Las Personas Mayores”; Ceditec (Centro de Difusión de Tecnologías), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [JRF08] (2008) Joseph Rowntree Foundation. [Online]. Disponível: <http://www.jrf.org.uk>.

- [Kastner02a] Kastner, W.; Tumfart, W.; "Remote control of EIB systems based on virtual shared group objects"; 4th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, 2002, Page(s): 63 – 70.
- [Kastner02b] Kastner, W., Sauter, T.; "Network management of fieldbus systems with limited devices: a case study for EIB and Palm OS"; Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Volume 1, 2002, Page(s): 129 – 134.
- [Kastner05] Kastner, W.; Neugschwandner, G.; Soucek, S.; Newmann, H.M.; "Communication Systems for Building Automation and Control"; Proceedings of the IEEE, Volume 93, Issue 6, June 2005, Page(s):1178 – 1203.
- [Kiencke04] Uwe Kiencke; "Controller Area Network – From Concept to Reality"; Proceedings of 1<sup>st</sup> International CAN Conference, 1994.
- [Kim02] Kim, D.S. Cho, G.Y. Kwon, W.H. Kwan, Y.I. Kim, Y.H.; "Home network message specification for white goods and its applications"; IEEE Transactions on Consumer Electronics, Feb 2002 Volume: 48, Issue: 1, page(s): 1-9.
- [KNX] (2008) Konnex Association, KNX Handbook: Volume 3: System Specifications: Part 1: Architecture; 2004. [Online]. Disponível: <http://www.knx.org>.
- [KON] (2008) Konnex Association. [Online]. Disponível: <http://www.knx.org>.
- [Kri05] Prasant Mohapatra, Srikanth V. Krishnamurthy; "Ad Hoc Networks Technologies And Protocols"; Springer, 2005.
- [Kunes01] Kunes, M.; Sauter, T.; "Fieldbus-internet connectivity: the SNMP approach"; IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 48, Issue 6, Dec 2001, Page(s):1248 – 1256.
- [Lee03] Lee S.-J.1; Hsu J.; Hayashida R.; Gerla M.; Bagrodia R.; "Selecting a routing strategy for your ad hoc network"; Computer Communications, Volume 26, Number 7, 1 May 2003 , pp: 723-733, Elsevier.
- [LON08] (2008) LonWorks. [Online]. Disponível: <http://www.echelon.com>.
- [Neusch05] Neugschwandner, G.; Kastner, W.; Kogler, M.; "Programming fieldbus nodes: a RAD approach to customizable applications", 10th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2005, Volume 1, 19-22 Sept. 2005.
- [Nichol99] Nicholson, S.; Billington, D.J.; ".ETHOS. Results of the implementation of an EHS system in UK homes"; Ninth International Conference on Metering and Tariffs for Energy Supply, (Conf. Publ. No. 462), Aug 1999, Page(s):205 – 209.
- [Ningbo04] Ningbo Feng; Mingguang Wu; Xunsheng Zhou, "Research of EIB and development of application module", Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA 2004, Volume 6, Issue, 15-19 June 2004 Page(s): 5375 – 5377.
- [Nune04] Renato Nunes; "Modelo De Especificação E Programação De Um Sistema Domótico"; IADIS Conferência Ibero-Americana WWW/Internet 2004, Madrid, Spain, October 2004, pp: 377-384.
- [Nune95] Renato Nunes; "Integração de Serviços para Edifícios Inteligentes"; Tese de Doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, Julho 1995.
- [OPC08] (2008) OPC Foundation. [Online]. Disponível: <http://www.opcfoundation.org>.

- [Ott99] Ott, R.; Reiter, H.; “Connecting EIB components to distributed Java applications”; *Proceedings of 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Volume 1, 1999, Page(s):23 – 26.*
- [Palensky97] Palensky, P.; Dietrich, D.; Posta, R.; Reiter, H., “Demand side management in private homes by using LonWorks”, *Proceedings of IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, 1-3 Oct 1997, Page(s):341 – 347.*
- [PHY08] (2008) Phytec miniMODUL. [Online]. Disponível: [www.phytec.com](http://www.phytec.com).
- [Pragnell00] Mark Pragnell, Lorna Spence and Roger Moore;” *The market potential for Smart Homes*”; Joseph Rowntree Foundation, 2000.
- [Rab00] Rabaey, J.M.; Ammer, M.J.; da Silva, J.L., Jr.; Patel, D.; Roundy; “PicoRadio supports ad oc ultra-low power wireless networking”; *IEEE Computer, Volume 33, Issue 7, July 2000, Page(s):42 – 48.*
- [Roy00] Samir R. Das.; Charles E. Perkins.; Elizabeth M. Royer.; “Performance comparison of two on-demand routing protocols for adhoc networks”; *Proceedings of IEEE Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2000, Volume 1, Issue, 2000, Page(s):3 – 12.*
- [Roy99] Elizabeth M. Royer; “A review of current routing protocols for adhoc mobile wireless networks”; *Technical report, IEEE Personal Communications, 1999.*
- [Sanz05] Sanz, A., Garcia-Nicolas, J.I., Estopinan, P.;”A complete node for power line communications in a single chip”; *IEEE - International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 6-8 April 2005, Page(s):285 – 289.*
- [Sanz96] Sanz, A.; “Public networks and home networks”; *IEEE Proceedings of 3rd International Workshop on Community Networking, 23-24 May 1996, page(s): 103-105.*
- [Shehata] Shehata, Mohamed; Eberlein, Armin; Fapojuwo, Abraham O.;”*Managing Policy Interactions in KNX-Based Smart Homes*”; *31st Annual International Conference on Computer Software and Applications, Volume 2, 24-27 July 2007, Page(s):367 – 378.*
- [Sitao00] Wu Sitao, Qian Qingquan; “Combining OPC with autonomous decentralized systems”; *Proceedings of International Workshop on Autonomous Decentralized Systems, Page(s):126 – 129, 2000.*
- [Stan03] Stankovic, J.A.; Abdelzaher, T.E.; Chenyang Lu; Lui Sha; Hou, J.C.; “Real-time communication and coordination in embedded sensor networks”; *Proceedings of the IEEE, Volume 91, Issue 7, July 2003, Page(s):1002 – 1022.*
- [stefan05] Stefan Junstrand, Xavier Pasarte, Daniel Vásques; “*Domótica y Hologar Digital*”; Thomson Editores Spain, 2005.
- [TI08] (2008) Texas Instruments. [Online]. Disponível: [www.ti.com](http://www.ti.com).
- [Tie00] (2008) F. Tiersch. *LonWorks Technology: An Introduction*. Desotron Verlagsgesellschaft, 2004. [Online]. Disponível: [www.ebv.com](http://www.ebv.com).
- [Topalis] Topalis, E.; Orphanos, G.; Koubias, S.; Papadopoulos, G.;”A generic network management architecture targeted to support home automation networks and home Internet connectivity”; *IEEE Transactions on Consumer Electronics, Volume 46, Issue 1, Feb. 2000, Page(s):44 – 51.*

- [Tse03] W. L. Tse, W. L. Chan and S. S. Lai; "Emergency lighting monitoring system using LonWorks"; *Automation in Construction*, Volume 12, Issue 5, September 2003, Pages: 617-629.
- [Wack97] Wacks, Kenneth P. PhD; "Introduction to the CEBus Communications Protocol"; *HTI News Article*, 1997.
- [Wang06] Ning Wang, Naiqian Zhang, and Maohua Wang; "Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective"; *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 50, Issue 1, January 2006, Pages: 1-14.
- [Warren99] Webb, Warren; "Consumer Bus Defends Home Turf"; *EDN Access*, ISSN 0012-7515, 1999, vol. 44.
- [Werthsch01] Werthschulte, K.; Schneider, F.; "Linking devices to the European Installation Bus"; *Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Volume 2, Issue, 2001, Page(s):827 – 832.
- [X10a] (2008) X10. [Online]. Disponível: <http://www.x10.com> .
- [X10c] (2008) Standard and Extended X-10 Code Formats, September 22, 1993. [Online]. Disponível: <ftp://ftp.x10.com/pub/manuals/>
- [XIE98] XIE C, PU J.-S., MOORE P. R.; "A case study on the development of intelligent actuator components for distributed control systems using LONWORK neuron chips"; *Mechatronics*, 1998, vol 8 n 2, pp: 103-119.
- [Yanbin99] Yanbin Pang; Xiangyu Wei; Youhua Wu; "The sensor network based on LONWORKS technology"; *Proceedings of 38th Annual SICE*, Aug. 1999, Page(s):897 – 900.
- [You05] Kemal Akkaya, and Mohamed Younis; "A survey on routing protocols for wireless sensor networks"; *Ad Hoc Networks*, Volume 3, Issue 3, May 2005, Pages: 325-349.
- [Zahari04] Th. Zahariadis, K. Pramataris; "Broadband consumer electronics networking and automation"; *International Journal of Communication*, John Wiley and Sons, Volume 17, Issue 1, (February 2004), Pages: 27 – 5.
- [Zheng04] Jianliang Zheng; Lee, M.J.; "Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality?: a discussion on a potential low power, low bit rate standard"; *IEEE Communications Magazine*, Volume 42, Issue 6, June 2004, Page(s): 140 – 146.
- [Zig08] (2008) ZigBee Alliance. [Online]. Disponível: <http://www.zigbee.org>.

# ANEXOS

---

---

**A** **ANEXO A – TECNOLOGIAS PARA**  
**A DOMÓTICA**

## A.1 O CONCEITO DE *FIELD*BUS

Os protocolos de redes de comunicações designadas por *fieldbus* surgiram nas décadas de oitenta e noventa para substituírem a tradicional ligação ponto a ponto para pequenas distâncias (RS232) e para longas distâncias (anel de corrente de 4-20mA), e as ligações ponta a multiponto (RS485) entre controladores e dispositivos com funções de aquisição de dados e actuação sobre o processo. Esta nova tecnologia possibilita a transmissão bidireccional de dados (em formato digital) entre sensores, actuadores e controladores, e suporta a utilização de ferramentas de configuração.

O número de protocolos *fieldbus* que têm vindo a surgir é considerável, reflectindo a evolução desta tecnologia, os custos e os requisitos específicos de funcionalidade para as diversas áreas de aplicação. A diversidade destas tecnologias condicionou a sua aceitação no mercado, pois suscitava aos utilizadores desconfianças relativas à sua continuidade [Bowdell99]. Contudo, nos últimos anos, cerca de uma dezena de protocolos receberam plena aceitação, fomentando a adopção generalizada por parte dos grandes fabricantes de sistemas de automação.

Tal como outras redes de computadores, as redes *fieldbus* têm por base uma estrutura por camadas derivada do modelo de referência para sistemas abertos ISO/OSI, [ISO84]. Devido aos requisitos especiais que estas redes apresentam e à simplicidade dos dispositivos que as integram, a utilização da totalidade das camadas do modelo ISO/OSI torna-se desnecessária. Desta forma, a maioria dos *fieldbus* apresenta uma estrutura optimizada constituída por apenas três camadas do modelo OSI, como ilustrado na Figura A.1, que é designada por EPA (*Enhanced Performance Architecture*) [Herb00].

A estrutura EPA tem por base as três camadas do modelo ISO: *Physical Layer*, *Data Link Layer* e *Application Layer*. Nas situações em que o *fieldbus* apresenta funcionalidades especificadas pelas outras camadas, esta organização não se altera.

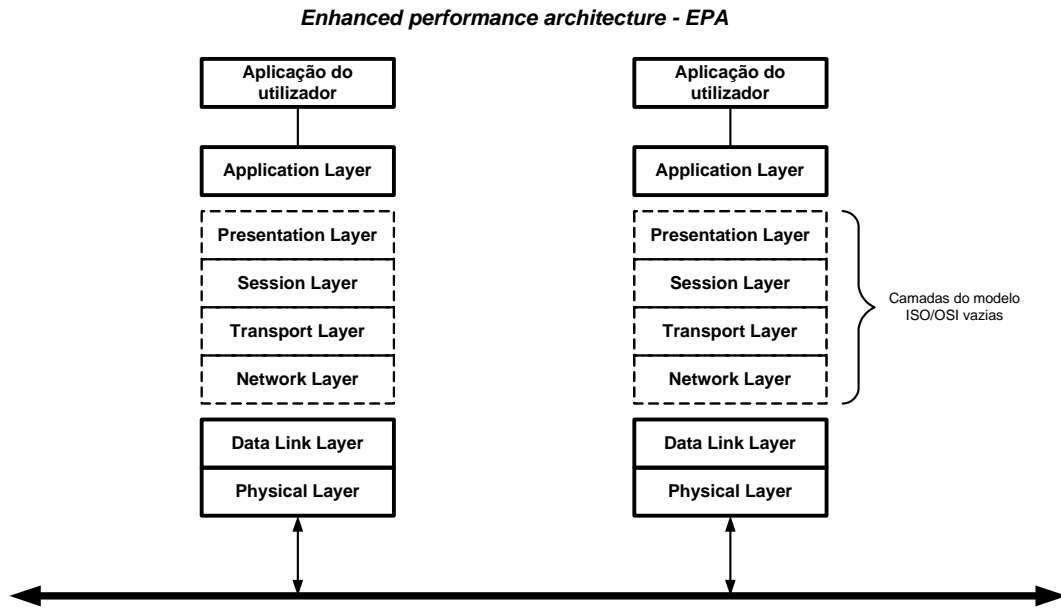


Figura A.1 Modelo de referência para o *fieldbus* CAN

## A.2 O SISTEMA X-10

A plataforma X-10, [X10a], [X10c] representa o sistema domótico mais utilizado no mundo, sobretudo em pequenos espaços residenciais, ficando grande parte do seu êxito a dever-se à sua orientação para projectos DiY (*Do it Yourself*), com um baixo custo devido à escala de mercado e ao aproveitamento da rede eléctrica para comunicação interna. Foi desenvolvido no Reino Unido, no final da passada década de setenta, com o objectivo de transmitir dados a um muito baixo débito, utilizando a instalação eléctrica. O protocolo é “proprietário”, com uma capacidade de endereçamento limitada a 256 dispositivos, mas qualquer fabricante pode produzir dispositivos X-10 mediante o pagamento de *royalties* à empresa detentora da tecnologia [X10c] – esta não é uma plataforma aberta, pelo que o desenvolvimento dos produtos é feito em colaboração com a empresa detentora da tecnologia. Os produtos são de baixo custo e de simples instalação e, em virtude da sua já larga existência no mercado (cerca de 20 anos), apresenta uma vasta diversidade de equipamentos.

As fragilidades tecnológicas desta plataforma são várias [Nune04]: ruído eléctrico na rede causado pelos muito equipamentos domésticos dotados de motor eléctrico e por fontes de alimentação de muitos outros aparelhos; existência de várias fases na instalação eléctrica, baixa taxa de transmissão (50 bit/s na Europa) e a

possibilidade de interferências entre habitações confinantes. Em geral, os dispositivos X-10 são aplicados em tomadas, o que limita significativamente a sua dispersão no interior da habitação.

### A.3 A TECNOLOGIA *LONWORKS*

*LonWorks* é uma tecnologia desenvolvida pela companhia Echelon [LON08], [INTL08], [Tie00], no início da década de noventa. Desde Dezembro de 1999 que a ANSI (*American National Standards Institute*) adoptou esta tecnologia como sendo a norma ANSI/EIA 709 e, na Europa, está normalizada pela norma ENV 13254-2 [Gass01].

Esta tecnologia de rede foi desenvolvida com intuito de resolver os problemas de controlo de sistemas relacionados com a crescente necessidade de estabelecer estratégias de controlo bem hierarquizadas e baseadas em ligações ponto a ponto. Inicialmente desenvolvido sem um objectivo específico, está agora nitidamente direccionado para o mercado da automação de edifícios.

A *LonWorks* existe há mais de 15 anos e possui mais de 1500 empresas associadas, que produzem equipamentos sob esta norma. O protocolo de comunicações utilizado por esta plataforma é designado por *LonTalk*, definindo a totalidade das 7 camadas do quadro de referência ISO/OSI [ISO84]. A Echelon oferece uma implementação por *hardware* das 6 camadas de mais baixo nível do protocolo, com a designação de *Neuron Chip* – até à normalização desta tecnologia, apenas a Motorola, a Toshiba e a Cypress produziam este circuito integrado, havendo agora uma oferta de novas implementações independentes, a menor custo [Alex02].

O protocolo *LonTalk* oferece um conjunto de serviços, que possibilitam à aplicação receber e enviar mensagens para outras unidades do sistema sem a necessidade de conhecer a topologia de rede, os nomes identificadores, os endereços ou as funções dos outros dispositivos. Os sistemas constituídos com base nesta norma podem ser compostos por 2 a 32000 elementos, sendo suportados por diferentes meios de transmissão de mensagens: rede de energia (*power line*), par entrançado, radiofrequência, cabo coaxial ou fibra óptica – contudo, o meio mais utilizado é o par

entrançado. Dependendo do meio de propagação do sinal e dos *transceivers* associados, a topologia de rede poderá ser diversa: barramento, anel, estrela ou outra.

Ao longo do tempo, a plataforma *LonWorks* tem mostrado ser uma tecnologia segura e flexível, critérios que presidiram à sua concepção. Contudo, os sistemas de automação para espaços residências são, habitualmente pequenos e primam pela simplicidade construtiva e de instalação, baixo consumo de energia e baixo custo, tudo características para as quais a *LonWorks* não foi desenvolvido – os seus preços são relativamente altos e, obrigatoriamente, devem ser instalados por instaladores credenciados pela *LonWorks*, o que mais encarece as soluções –, pelo que a sua utilização em espaços residenciais se mantém limitada. Mais informação sobre esta tecnologia pode ser encontrada nas seguintes referências: [Palensky97], [Yanbin99], [Alonso00], [XIE98], [Tse03], [stefan05], [aunaA].

## **A.4 CONVERGÊNCIA DE TECNOLOGIAS – A INICIATIVA KONNEX**

A grande diversidade de tecnologias existentes no mercado europeu dificultou o desenvolvimento do mercado da Domótica, pela dificuldade dos fabricantes em perceber qual a tecnologia que poderia vingar como norma. No ano de 1996, em Bruxelas, foi iniciado um processo de convergência, onde as iniciativas predominantes na Europa (EHS, Batibus, EIB) se uniram para desenvolverem uma nova plataforma tecnológica designada por Konnex.

### **A.4.1 A Tecnologia EHS (European Home System)**

No final da década de oitenta, a Comissão Europeia patrocinou uma série de projectos no âmbito do programa SPRIT: dois desses projectos resultaram na *European Home System Association* (EHSA), que, inicialmente, foi constituída por grandes empresas Europeias com interesses na área da automação de edifícios (ABB, BT, Legrand, Philips, Siemens, Thomson, entre outras) [aunaA].

A EHSA desenvolveu uma tecnologia – designada por EHS [Topalis], [Nichol99], [Caval00], [Sanz96] – aberta, no sentido em que permite a interligação de

dispositivos de diferentes fabricantes, com capacidade para realizar a integração dos sistemas domóticos, e de fácil instalação e operação por quaisquer utilizadores.

O protocolo foi baseado no modelo ISO/OSI [ISO84], com base em diversos meios de transmissão de sinal, tais como rede eléctrica, par entrançado, cabo coaxial, radiofrequência ou infravermelhos.

#### **A.4.2 A Tecnologia EIBUS (EUROPEAN INSTALLATION BUS)**

O sistema EIB surgiu da ideia de introduzir no mercado um sistema unificado, que se tornasse numa norma de aceitação generalizada para a gestão de edifícios, havendo sido desenvolvido em 1990 pelo consórcio Europeu EIBA (*European Installation Bus Association*) [EIB].

Os meios físicos de propagação do sinal podem ser o par entrançado, a *power line*, a radiofrequência e a cablagem estruturada, organizados em topologias diversas, com a excepção de anel. Mais informação sobre esta tecnologia pode ser encontrada nas seguintes referências: [EIBA], [CEN], [Ningbo04], [Kastner02a], [Kastner02b], [Werthsch01] [Ott99], [stefan05], [aunaA].

#### **A.4.3 A Tecnologia Batibus**

Desenvolvida pela Merlin Gerin, esta tecnologia tem como alvo principal a indústria, só depois sendo aplicado à automação de edifícios. Com realização cablada, as topologias de rede aplicáveis são o barramento, a estrela e o anel. Este protocolo, tal como o EIB ou CAN [Bosch91], [CAN08], utiliza um política de acesso ao meio de comunicação CSMA/CA, (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) similar à *Ethernet* [IEEE87], mas com resolução positiva das colisões.

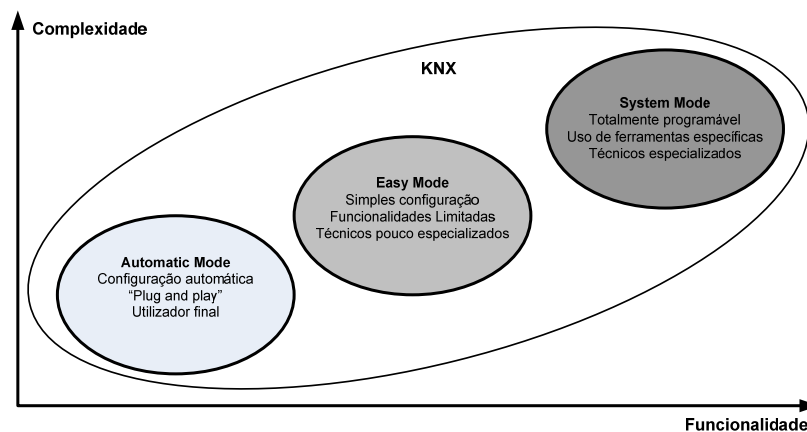
#### **A.4.4 A Tecnologia KNX**

A organização *Konnex Association*, [KON], [KNX] foi criada em 1999 e resulta da fusão de três organizações: *Batibus Club International* (BCI) [BCI], *European Home System Association* (EHSA) [EHS], e *European Installation Bus Association* (EIBA) [EIB]. O objectivo da organização é o de promover uma única norma para a automação de espaços residenciais e de serviços designada por KNX – esta organização conta com

cerca de 200 empresas líderes mundiais na área de sistemas de automação para edifícios.

O protocolo KNX possui por base a norma EIB, integra as funcionalidades ao nível dos sistemas de aquecimento, ventilação e climatização existentes no BatiBus, e baseando em EHS as funções de controlo e regulação dos sistemas domésticos. Esta norma suporta vários suportes físicos (total compatibilidade com o antigo EIB e EHS) para o estabelecimento de comunicações, tais como: o par entrançando, a rede eléctrica, a radiofrequência (RF); e os infravermelhos (IR). O protocolo possui por base o modelo de comunicações para sistemas abertos (OSI) [ISO84], e especifica as camadas: *Data Link Layer*, *Network Layer*, *Transport Layer*, e *Application Layer*, não considerando as camadas *Session Layer* e *Presentation Layer*.

A compatibilidade entre esta nova norma e as predecessoras não é total: a compatibilidade entre o KNX e o EIB é praticamente completa, uma vez que este nasceu com base no núcleo do EIB, mas, relativamente ao HES, só o modo de funcionamento automático (A-Mode) apresenta alguma compatibilidade, sendo necessária uma conversão de mensagens. O BatiBus não é compatível com o KNX, muito embora se utilize o mesmo meio de transmissão (par entrançado no KNX *E-Mode*).



**Figura A.2 Modos de funcionamento do KNX**

Aqui, o objectivo inicial consistia em especificar um sistema capaz de suprir todas as necessidades e requisitos das instalações em edifícios comerciais e residenciais,

que pudesse vir a ser considerada como norma a nível europeu, competindo, desta forma, com os grandes do mercado (LonWorks e CEBus). Para isso, foram especificados três modos de funcionamento (*System mode, easy mode e automatic mode*), como se ilustra na Figura A.2. O comit  técnico do CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) redigiu os documentos finais da norma KNX, que tomou a designa o de EN50090. Mais informa o sobre esta tecnologia pode ser encontrada nas seguintes referências: [stefan05], [aunaA], [Shehata], [Sanz05], [Kastner05], [Neugsch05].

## A.5 O SISTEMA CEBUS

O CEBus (Consumer Electronics Bus) foi desenvolvido nos Estados Unidos da América pelo CIC (*CEBus Industry Council*) – organiza o surgida em 1994, estabelecida pela Honeywell, Intel, Microsoft e Thomson Consumer Electronics –, não tendo expressão no mercado europeu. Aquele encontra-se normalizado pela EIA (*Electronics Industry Association*), com a referência EIA-600. O CEBus segue o modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*) [ISO84] para sistemas abertos, mas, tal como os *fieldbus*, s  utiliza parte da pilha. O meio de propaga o do sinal pode ser bem diverso, desde o par entrançado, a rede de distribui o de energia, a radiofrequência, fibra óptica e infravermelhos.

O CEBus   uma tecnologia com cerca de 15 anos e a sua implementa o no mercado não tem sofrido grande expansão, talvez devido ao seu elevado custo. Mais informa o sobre esta tecnologia pode ser encontrada nas seguintes referências: [EIA-600.10], [Warren99], [Wack97], [Dutt99], [aunaA].

## A.6 A TECNOLOGIA SEM FIOS ZIGBEE

O ZigBee [Zig08] representa um consórcio de empresas cujo objectivo   o de promover solu es, através de comunica o por radiofrequência, para o controlo e a automa o de residências e edifícios, garantindo a interoperabilidade entre dispositivos através da norma IEEE 802.15.4. O alcance das aplica es contempla a Domótica, a automa o de edifícios, a automa o industrial, as liga es sem fios de periféricos nos

computadores, o controlo remoto de dispositivos electrónicos de entretenimento (TV, DVD, etc.) e aplicações médicas (mercado com elevado potencial de desenvolvimento).

As topologias de rede suportadas são a estrela, o *cluster* e *cluster-tree* e a rede emalhada. Também especifica três tipos de dispositivos: o “*ZigBee Coordinator*”, o “*Zigbee End Device*” e o “*Zigbee router*”. O *ZigBee Coordinator* é responsável pela formação e manutenção da rede ZigBee, guardando informação sobre a rede e sobre os seus participantes; Tipicamente, este dispositivo permanece continuamente à escuta na rede e, por isso, não é alimentado por bateria. Já os dispositivos *ZigBee End Device* são otimizados para alimentação por bateria, e, por conseguinte, são dispositivos com longos períodos de inactividade para minimizarem o consumo de energia. Para mais informação sugerimos a seguinte bibliografia: [Ciard05], [Baker05], [Egan05], [Galeev04], [Wang06], [Zheng04], [Evans03].

## A.7 TECNOLOGIAS PARA TRANSFERÊNCIA DE DADOS E ENTRETENIMENTO

Os quadros, A.1 e A.2, apresentam um resumo sucinto sobre as tecnologias mais comuns utilizadas para suporte à transferência de dados<sup>36</sup> e entretenimento.

**Quadro A.1 Interligação entre dispositivos (ponto a ponto)**

Tecnologia	Meio de transmissão	Velocidade de transmissão	Distancia máxima
IEEE 1394	UPT/FO	400Mb a 3,2Gbps	4,5m a 70m
USB	USB	12Mbps a 480Mbps	5m
Bluetooth	Sem fios	1Mbps a 10Mbps	10m a 100m
IRDA	Sem fios	9600Bps a 4Mbps	2m

**Quadro A2 Redes de dados - Quadro resumo**

Tecnologia	Meio de transmissão	Velocidade de transmissão	Distancia máxima
Ethernet	UTP/FO	100Mbps a 1Gbps	100m /15km
HomePlug	Rede Eléctrica	14Mbps	650m <sup>2</sup>
IEEE802.11	Sem fios	10Mbps a 54Mbps	33m a 100m
HomePNA	Linha telefónica	10Mbps	304m 930m <sup>2</sup>

---

<sup>36</sup> Neste contexto, o significado da expressão “transferência de dados” está relacionado com a transferência de grandes blocos de dados, sem constrangimentos temporais.

---

---

# **B** ANEXO B – CONFIGURAÇÃO DO *FIRMWARE*

## B.1 UNIDADE DE QUADRO

Quadro B.1 Endereço IEEE

Endereço IEEE (MAC Address)		
Parâmetro	Valor	Comentário
Byte[7]	0x00	Este endereço é composto por oito bytes e numa situação de produto final deverá possuir uma componente atribuída pelo IEEE, identificando o fabricante. Neste caso o endereço poderá ser escolhido de forma arbitrária.
Byte[6]	0x04	
Byte[5]	0xA3	
Byte[4]	0x00	
Byte[3]	0x00	
Byte[2]	0x00	
Byte[1]	0x00	
Byte[0]	0x67	

Quadro B.2 Informação sobre o dispositivo

Informação sobre o dispositivo		
Parâmetro	Valor	Comentário
EU_SOU_UNIDADE_COORDENADORA	1	Identifica e inclui secções do código que apenas diz respeito a unidades coordenadoras de rede.
EU_SOU_UNIDADE_FFD	1	Identifica e inclui secções de código que apenas diz respeito a unidades alimentadas por conversor ac/dc.
EU_SUPPORTO_ROUTING	1	Identifica e inclui secções do código que apenas diz respeito ao reencaminhamento de mensagens.

Quadro B.3 Configuração da camada de alto nível

Configuração da camada de alto nível		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_APL_FRAMES	4	Número máximo mensagens (em simultâneo) que a camada de aplicação poderá gerir.
MAX_APS_ACK_FRAMES	4	Número máximo de mensagens de resposta (em simultâneo) que a camada de aplicação poderá gerir
MAX_APS_ENDEREÇOS	6	Número máximo de entradas na tabela de tradução de endereço.
MAX_BINDINGS	100	Número máximo de ligações de dados.

Quadro B.4 Configuração da camada de rede

Configuração da camada de rede		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_VIZINHOS	16	Número máximo de vizinhos permitidos.
ROUTING_TABELA	16	Número máximo de entradas na tabela de <i>routing</i> .

Quadro B.5 Configuração da camada do IEEE802.15.4

Configuração da camada MAC		
Parâmetro	Valor	Comentário
RX_BUFFER_SIZE	256	Tamanho máximo do <i>buffer</i> de recepção.
MAC_PIB_macBeaconOrder	15	Sincronização de rede sem auxílio de mensagens radio-farol, ( <i>polling</i> ).
AC_PIB_macSuperframeOrder	15	IEEE802.15.4 Superframe não será activada. (apenas por razões de compatibilidade)

Quadro B.6 Definições do rádio

Definição do rádio		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAC_PIB_macAckWaitDuration	(54+3)	Tempo em unidades (IEEE802.15.4 <i>Symbol</i> ) máximo de espera por um <i>Acknowledgment</i> .
NIVEL_PA	0xEF	Para feitos de teste escolheu-se a potência máxima que corresponderá a maiores consumos.
CANAIS_PERMITIDOS	0x00000800	A presença de um “1” na posição do bit indica a permissão de funcionamento nesse canal.

## B.2 UNIDADE ROUTER

Quadro B.7 Endereço IEEE

Endereço IEEE (MAC Address)		
Parâmetro	Valor	Comentário
Byte[7]	0x02	Este endereço é composto por oito bytes e numa situação de produto final deverá possuir uma componente atribuída pelo IEEE, identificando o fabricante. Neste caso o endereço poderá ser escolhido de forma arbitrária.
Byte[6]	0x04	
Byte[5]	0xA3	
Byte[4]	0x00	
Byte[3]	0x00	
Byte[2]	0x00	
Byte[1]	0x00	
Byte[0]	0x67	

Quadro B.8 Informação sobre o dispositivo

Informação sobre o dispositivo		
Parâmetro	Valor	Comentário
EU_SOU_UNIDADE_ROUTER	1	Identifica e inclui secções do código que apenas dizem respeito a unidades coordenadoras.
EU_SOU_UNIDADE_FFD	1	Identifica e inclui secções de código que apenas dizem respeito a unidades alimentadas por conversor ac/dc.
EU_SUPPORTO_ROUTING	1	Identifica e inclui secções do código que apenas diz respeito ao reencaminhamento de mensagens.

Quadro B.9 Configuração da camada de alto nível

Configuração da camada de alto nível		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_APL_FRAMES	4	Número máximo mensagens (em simultâneo) que a camada de aplicação pode gerir.
MAX_APS_ACK_FRAMES	4	Número máximo de mensagens de resposta (em simultâneo) que a camada de aplicação poderá gerir.
MAX_APS_ENDEREÇOS	5	Número máximo de entradas na tabela de tradução de endereços.

Quadro B.10 Configuração da camada de rede

Configuração da camada de rede		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_VIZINHOS	16	Número máximo de vizinhos permitidos (número máximo de potenciais pais).
ROUTING_TABELA	16	Número máximo de entradas na tabela de <i>routing</i> .

Quadro B.11 Configuração da camada do IEEE802.15.4

Configuração da camada MAC		
Parâmetro	Valor	Comentário
MINIMO_LQI_PARA_ASSOCIACAO	48	Após a detecção de rede é medida a qualidade da ligação e este parâmetro assegura a rejeição de associação para redes com índice de qualidade (LQI) inferiores a este parâmetro.
RX_BUFFER_SIZE	256	Tamanho máximo do <i>buffer</i> de recepção.
MAC_PIB_macBeaconOrder	15	Sincronização de rede sem auxílio de mensagens rádio-farol, ( <i>polling</i> ).
AC_PIB_macSuperframeOrder	15	IEEE802.15.4 Superframe não será activada. (apenas por razões de compatibilidade).
MAX_BINDINGS	4	

Quadro B.12 Definições do rádio

Definição do rádio		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAC_PIB_macAckWaitDuration	(54+3)	Tempo em unidades (IEEE802.15.4 <i>Symbol</i> ) máximo de espera por um <i>Acknowledgment</i> .
NIVEL_PA	0xEF	Para feitos de teste escolheu-se a potência máxima que corresponderá a maiores consumos.
CANAIS_PERMITIDOS	0x00000800	A presença de um “1” na posição do bit indica a permissão de funcionamento nesse canal.

## B.3 UNIDADE REMOTA (INTERRUPTOR)

Quadro B.13 Endereço IEEE

Endereço IEEE (MAC Address)		
Parâmetro	Valor	Comentário
Byte[7]	0x01	Este endereço é composto por 8 bytes e numa situação de produto final deverá possuir uma componente atribuída pelo IEEE, identificando o fabricante. Neste caso o endereço poderá ser escolhido de forma arbitrária.
Byte[6]	0x04	
Byte[5]	0xA3	
Byte[4]	0x00	
Byte[3]	0x00	
Byte[2]	0x00	
Byte[1]	0x00	
Byte[0]	0x67	

Quadro B.14 Informação sobre o dispositivo

Informação sobre o dispositivo		
Parâmetro	Valor	Comentário
EU_SOU_UNIDADE_REMOTA	1	Identifica e inclui secções do código que apenas dizem respeito a unidades remotas, (unidades simples com funções de rede limitadas).
EU_SOU_UNIDADE_RFD	1	Identifica e inclui secções de código que apenas dizem respeito a unidades alimentadas por bateria.
INCLUI_ED_SCAN	1	Inclui o procedimento de busca de rede baseado na presença de comunicações no o canal em escuta.
INCLUI_ACTIVE_SCAN	1	O dispositivo inicia a procura de redes, enviando um pedido de rádio-farol no canal seleccionado.
TAXA_POLLING	2 [Segundos]	Período de tempo entre sucessivos despertar.

Quadro B.15 Configuração da camada de alto nível

Configuração da camada de alto nível		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_APL_FRAMES	4	Número máximo mensagens (em simultâneo) que a camada de aplicação pode gerir.
MAX_APS_ACK_FRAMES	4	Número máximo de mensagens de resposta (em simultâneo) que a camada de aplicação poderá gerir.
MAX_APS_ENDEREÇOS	5	Número máximo de entradas na tabela de tradução de endereços.
MAX_BINDINGS	4	Número máximo de ligações de dados.

Quadro B.16 Configuração da camada de rede

Configuração da camada de rede		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAX_VIZINHOS	1	Número máximo de vizinhos permitidos (número máximo de potenciais “pais”).

Quadro B.17 Configuração da camada do IEEE802.15.4

Configuração da camada MAC		
Parâmetro	Valor	Comentário
MINIMO_LQI_PARA_ASSOCIACAO	48	Após a detecção de rede é medida a qualidade da ligação e este parâmetro assegura a rejeição de associação para redes com índice de qualidade (LQI) inferiores a este parâmetro.
RX_BUFFER_SIZE	256	Tamanho máximo do <i>buffer</i> de recepção.
MAC_PIB_macBeaconOrder	15	Sincronização de rede sem auxílio de mensagens-farol, ( <i>polling</i> ).
AC_PIB_macSuperframeOrder	15	IEEE802.15.4 Superframe não será activa, (apenas por razões de compatibilidade).

Quadro B.18 Definições do rádio

Definição do rádio		
Parâmetro	Valor	Comentário
MAC_PIB_macAckWaitDuration	(54+3)	Tempo em unidades (IEEE802.15.4 <i>Symbol</i> ) máximo de espera por um <i>Acknowledgment</i> .
NIVEL_PA	0xEF	Para feitos de teste escolheu-se a potência máxima que corresponderá a maiores consumos.
CANAIS_PERMITIDOS	0x00000800	A presença de um “1” na posição do bit indica a permissão de funcionamento nesse canal.

---

---

**C**

**ANEXO C - DICIONÁRIO DE  
OBJECTOS**

## C.1 DICIONÁRIO DE OBJECTOS DA UNIDADE DE QUADRO

A coluna ‘Atri’ apresenta os atributos de acesso ao dicionário: RO = só leitura, RW = leitura e escrita, e WO = só escrita. A coluna PDOMap apresenta a disponibilidade para a variável ser inserida num PDO: S = mapeamento possível, N = mapeamento não possível.

Quadro C.1 Área do dicionário de objectos para “Communication Profile Area”

Área do Perfil de Comunicações (DSP 301)							
Índice (hex)	Sub Índice	Nome	Dados/Objecto	Atri	Default (hex)	PDO Map	Comentários
1000	—	Device type	U32	RO	xxxxx	N	PROTÒTIPO
1001	—	Error register	U8	RO	0	S	Erros em acordo com DSP 301
1002	—	Manufacturer status register	U32	RO	0	N	Erros das interfaces.
1004		# PDOs Supported	ARRAY				
	0	Total # PDOs Supported	U32	RO	00010001	N	1 Rx PDO e 1 Tx PDO
	1	Total # PDOs sync	U32	RO	00010001	N	1 Rx PDO e 1 Tx PDO
	2	Total # PDOs async	U32	RO	00010001	N	1 Rx PDO e 1 Tx PDO
1005	—	COB-ID sync Message	U32	RW	80000080	N	Recebe mensagem SYNC com ID 0x80
1008	—	Manufacturer device name	VisStr	RO	“xxxx”	N	Ex. Unidade de quadro
1009	—	Manufacturer hardware version	VisStr	RO	“xx.x”	N	Ex. 01.0
100A	—	Manufacturer Software version	VisStr	RO	“xx.x”	N	Ex. 01.0
100F	—	# SDOs Supported	U32	RO	00000001	N	0 SDO client, 1 SDO server
1010		Store parameters	ARRAY				
	0	Largest supported sub index	U8	RO	4	N	
	1	Save all parameters	U32	RW	00000002	N	Dispositivo guarda parâmetros autonomamente
	2	Save communication parameters	U32	RW	00000002	N	Dispositivo guarda parâmetros autonomamente
	3	Save Application parameters	U32	RW	00000002	N	Dispositivo guarda parâmetros autonomamente
	4	Save Manufacturer defined parameters	U32	RW	00000002	N	Dispositivo guarda parâmetros autonomamente
1400		1 Receive PDO parameters					Código do objecto = Record Tipo de dado = PDOommPar
	0	Number of entries	U8	RO	2	N	
	1	COB-ID used by PDO	U32	RW	200+NID	N	Em acordo com DSP 301
	2	Transmission type	U8	RW	FE	N	254 em decimal
1600		1 Receive PDO mapping	RECORD				Código do objecto = Record Tipo de dado = PDOMapping
	0	Number of entries	U8	RO	3	N	
	1	INPUT_FB	U32	RW	21000208	N	OD índice = 2100, sub índice=02, tamanho=8b
	2	INPUT	U32	RW	22000108	N	OD índice = 2200, sub índice=01, tamanho=8b
	3	INPUT	U32	RW	22010108	N	OD índice = 2201, sub índice=01, tamanho=8b
1800		1 transmit PDO parameters					Código do objecto = Record Tipo de dado = PDOommPar
	0	Number of entries	U8	RO	3	N	

Anexo C – Dicionário de Objectos

	1	COB-ID used by PDO	U32	RW	180+NID	N	Em acordo com DSP 301
	2	Transmission type	U8	RW	FE	N	254 em decimal
	3	Inhibit time	U16	RW	0064	N	Em unidades de 1µs
1801		2 transmit PDO parameters					Código do objecto = Record Tipo de dado = PDOommPar
	0	Number of entries	U8	RO	3	N	
	1	COB-ID used by PDO	U32	RW	280+NID	N	Em acordo com DSP 301
	2	Transmission type	U8	RW	FE	N	254 em decimal
	3	Inhibit time	U16	RW	0064	N	Em unidades de 1µs
1A00		1 transmit PDO mapping					Código do objecto = Record Tipo de dado = PDOMapping
	0	Number of entries	U8	RO	4	N	
	1	INPUT_FB	W32	RW	21000108	N	OD índice = 2100, sub índice=01, tamanho=8b
	2	OUTPUT_FB	W32	RW	2200208	N	OD índice =2200, sub índice=02, tamanho=08b
	3	OUTPUT_FB	W32	RW	22010208	N	OD índice = 2101, sub índice=02, tamanho=08b

Quadro C.2 Área do dicionário de objectos para “Manufacturer Specific Profile Area”

<b>Área do Perfil Específico do Fabricante</b>							
Índice (hex)	Sub Índice	Nome	Dados/ Objecto	Atri	Default (hex)	PDO Map	Comentários
2000		UNIDADE_RMT_1	RECORD				
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	9	N	
	1	UNIT_STATUS	U8	RW	-	N	
	2	IEEE_7	U8	RW	-	N	
	3	IEEE_6	U8	RW	-	N	
	4	IEEE_5	U8	RW	-	N	
	5	IEEE_4	U8	RW	-	N	
	6	IEEE_3	U8	RW	-	N	
	7	IEEE_2	U8	RW	-	N	
	8	IEEE_1	U8	RW	-	N	
	9	IEEE_0	U8	RW	-	N	
2001		UNIDADE_RMT_2	RECORD				
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	9	N	
	1	UNIT_STATUS	U8	RW	-	N	
	2	IEEE_7	U8	RW	-	N	
	3	IEEE_6	U8	RW	-	N	
	4	IEEE_5	U8	RW	-	N	
	5	IEEE_4	U8	RW	-	N	
	6	IEEE_3	U8	RW	-	N	
	7	IEEE_2	U8	RW	-	N	
	8	IEEE_1	U8	RW	-	N	
	9	IEEE_0	U8	RW	-	N	
2002		UNIDADE_RMT_3	RECORD				
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	9	N	
	1	UNIT_STATUS	U8	RW	-	N	
	2	IEEE_7	U8	RW	-	N	
	3	IEEE_6	U8	RW	-	N	
	4	IEEE_5	U8	RW	-	N	
	5	IEEE_4	U8	RW	-	N	
	6	IEEE_3	U8	RW	-	N	
	7	IEEE_2	U8	RW	-	N	
	8	IEEE_1	U8	RW	-	N	
	9	IEEE_0	U8	RW	-	N	
2100		INTERRUPTOR_ON_OFF	RECORD			N	
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	3	N	
	1	OUTPUT	U8	RW	-	S	
	2	INPUT_FB	U8	RW	-	S	
	3	INTERFACE	U16	WR	2000	N	
2200		ACTUADOR_ON_OFF_1	RECORD			N	
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	3	N	
	1	INPUT	U8	RW	-	S	
	2	OUTPUT_FB	U8	RW	-	S	
	3	INTERFACE	U16	WR	2001	N	
2201		ACTUADOR_ON_OFF_2	RECORD			N	
	0	NUM_ENTRADAS	U8	RO	3	N	
	1	INPUT	U8	RW	-	S	
	2	OUTPUT_FB	U8	RW	-	S	
	3	INTERFACE	U16	WR	2002	N	