

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Sistema Domótico baseado em redes Zigbee

José Alberto Santos

Dissertação/Relatório de Projecto realizada(o) no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Portugal
Co-orientador: Prof. Dr. Mário Jorge Sousa

Janeiro de 2009


© José Alberto Santos, 2009

A Dissertação intitulada

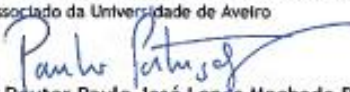
"SISTEMA DOMÓTICO BASEADO EM REDES ZIGBEE"

foi aprovada em provas realizadas em 04/Março/2009

o júri

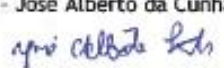
presidente 
Professor Doutor Mário Jorge Rodrigues de Sousa
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


Professor Doutor José Alberto Gouveia Fonseca
Professor Associado da Universidade de Aveiro


Professor Doutor Paulo José Lopes Machado Portugal
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados

Autor - José Alberto da Cunha Machado dos Santos



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

A domótica é uma ciência que consiste na aplicação da informática, electrónica e robótica em edifícios, criando um sistema em que todos os dispositivos eléctricos e electrónicos desse edifício estão interligados e são controlados de modo a atingir um objectivo, podendo este ser tornar uma casa mais eficiente energeticamente, garantir a sua segurança, ou tornar mais cómoda a estadia e fornecer assistência a quem habita o edifício.

Um dos standards domóticos mais utilizados actualmente e que se encontra em grande crescimento é o KNX, este conta com uma grande variedade de dispositivos à venda. A implementação de um sistema domótico que seja capaz de comunicar com dispositivos KNX é essencial se é pretendido criar um sistema com capacidade de evolução contínua e fácil introdução no mercado.

Uma tendência comum no desenvolvimento dos sistemas domóticos é a implementação de dispositivos que comuniquem através de redes sem fios, pela sua comodidade, facilidade de instalação e portabilidade. Uma das tecnologias sem fios que mais se tem desenvolvido nos últimos anos é o ZigBee, este protocolo é destinado ao desenvolvimento de aplicações de baixa velocidade de transmissão de dados e elevada eficiência energética, o que o torna ideal para redes de sensores e actuadores.

O projecto consiste no desenvolvimento de um sistema domótico sem fios baseado em uma rede ZigBee e que seja compatível com os dispositivos KNX já existentes. É feita também a implementação de um sistema de configuração capaz de criar uma rede de dispositivos que possam ser configurados de acordo com o utilizador.

O documento apresenta inicialmente o panorama actual da domótica, fazendo depois uma apresentação das tecnologias utilizadas, por fim é apresentada a especificação do projecto efectuado e a implementação e testes efectuados.

Abstract

Domotics is a science that uses informatics, electronics and robotics on buildings to implement a system where all the electric and electronic devices of that building are connected and are controlled in order to attain an objective. This objective can be to make the house more energetically efficient, more secure or to give assistance to the people that inhabit the building.

One of the standards that are more widely used in the present is KNX, it has a big range of devices available. The creation of a domotic system capable of communication with KNX devices is essential if the objective is the creation of a system with capability to evolve e with an easy market introduction.

A common tendency in the development of domotic systems is the implementation of devices that communicate through wireless networks, because of their commodity, easiness of installation and portability. One of the wireless technologies that is currently in big growth is ZigBee, this is a protocol created to the development of applications with a low requirement of speed and data transmission, and greater energetic efficiency. This makes the technology ideal for sensor and actuator networks like the ones used in domotic systems.

This project consists in the development of a wireless domotic system based on a ZigBee network and that is compatible with existing KNX devices. It's also implemented a configuration system capable of the creation of a network of devices that can be configured by the user.

The document initially presents the actual state of domotics, then an introduction to the used technologies is made and a project specification is presented followed by the implementation and tests.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha família e amigos por todo o apoio concedido e por terem sempre sido encorajadores ao longo do percurso académico.

Aos orientadores Professor Paulo Portugal e Professor Mário de Sousa por todo o apoio e aconselhamento indispensável prestado ao longo do desenvolvimento do projecto.

Índice

Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvi
Abreviaturas e Símbolos	xvii
Capítulo 1	1
Introdução	1
Capítulo 2	3
Sistemas Domóticos.....	3
2.1 - Introdução.....	3
2.2 - Panorama Actual.....	4
2.3 - Protocolos Existentes	5
2.4 - Tendências Futuras	11
Capítulo 3	13
Tecnologias de suporte.....	13
3.1 - IEEE 802.15.4	13
3.2 - ZigBee.....	14
3.2.1 - Arquitectura Protocolar.....	15
3.2.2 - Arquitectura ZigBee	17
3.3 Standard KNX	22
Capítulo 4	33
Domoitech e Gateway KNX-IP <-> KNX-TP	33
4.1 - Domoitech.....	33
4.1.1 - Arquitectura do Hardware Domoitech.....	34

4.2 - Gateway KNX-IP <-> KNX-TP	38
Capítulo 5	41
Especificação da solução proposta.....	41
5.2 - Arquitectura Geral	42
5.3 - Gateway KNX <-> ZigBee	43
5.4 - Descrição e Funcionamento dos Componentes	46
5.4.1 - GateWay ZigBee <-> KNX	46
5.4.2 - Módulos ZigBee	56
5.4.3 - Software de Configuração	63
Capítulo 6	67
Implementação e teste	67
Capítulo 7	75
Conclusão.....	75
Referências	77

Lista de figuras

Figura 2.1 - Exemplo de um sistema X10	5
Figura 2.2 - Sistema Insteon para controlo de lâmpadas	6
Figura 2.3 - Controlador de Luminosidade KNX (2 Canais)	7
Figura 2.4 - Controlador Lonworks.....	7
Figura 2.5 - Kit de domótica da Eaton	8
Figura 2.6 - Kit de domótica Active Home	9
Figura 2.7 - Sistema domótico AlertMe	10
Figura 3.1 - Pilha do protocolo ZigBee	14
Figura 3.2 - Pilha de protocolo ZigBee	15
Figura 3.3 - Exemplo da arquitectura da camada de aplicação [10]	17
Figura 3.4 - Uma rede em malha demonstrando um sinal que origina num RFD e é reencaminhado pelos FFD's, acabando numa Gateway. As linhas a tracejado representam os diferentes caminhos possíveis.	18
Figura 3.5 - Topologias das redes ZigBee.....	18
Figura 3.6 - Especificação de dispositivos do perfil HA	20
Figura 3.7 - Modelo KNX	22
Figura 3.8 - Topologia lógica de uma rede KNX	25
Figura 3.9 - Estrutura de uma trama KNX-TP	25
Figura 3.10 - Serviços da Camada de Aplicação	28
Figura 3.11 - GroupValue_Write.....	29
Figura 3.12 - GroupValue_Res	29
Figura 4.1 - Arquitectura do Domoitech	34
Figura 4.2 - Placa principal Domoitech	35

Figura 4.3 - Placa de saída a relés do Domoitech.....	36
Figura 4.4 - Placa de saída a triac's do Domoitech	37
Figura 4.5 - Arquitectura do sistema KNX-TP <-> KNX-IP	39
Figura 5.1 - Arquitectura Geral do Sistema	42
Figura 5.2 - Comparação entre DPTs do KNX e o perfil HA do ZigBee.....	43
Figura 5.3 - Mapeamento das tramas KNX em ZigBee	44
Figura 5.4 - Conversão dos atributos KNX em ZigBee	44
Figura 5.5 - Mapeamento do serviço A_GroupValue_Write.....	45
Figura 5.6 - Diagrama de Blocos do Sistema (block definition diagram)	46
Figura 5.7 - Diagrama de Blocos da Gateway ZigBee <-> KNX	47
Figura 5.8 - Placa de Desenvolvimento PICDEM Z	47
Figura 5.9 - PIC 18F4620.....	48
Figura 5.10 - RF MRF24J40MA	48
Figura 5.11 - X-Port	49
Figura 5.12 - LCD de 16 por 2 caracteres.....	49
Figura 5.13 - Esquema geral do Software	50
Figura 5.14 - Máquina de Estados Principal	51
Figura 5.15 - Máquina de Estados das tarefas ZigBee	52
Figura 5.16 - Máquina de Estados da recepção KNX	54
Figura 5.17 - Exemplo da sequência do programa	55
Figura 5.18 - Nós ZigBee.....	56
Figura 5.19 - Luz - Saída On/Off	56
Figura 5.20 - Funcionamento do nó de saída binária	57
Figura 5.21 - Interruptor - Entrada On / Off	58
Figura 5.22- Funcionamento do Interruptor - Entrada On / Off.....	58
Figura 5.23 - Luz variável - Saída Analógica	59
Figura 5.24 - Funcionamento da Luz variável - Saída Analógica	60
Figura 5.25 - Sensor Luz - Entrada Analógica	61
Figura 5.26 - Funcionamento do Sensor Luz - Entrada Analógica	61
Figura 5.27 - Software de configuração	63

Figura 6.1 - Plataforma de Desenvolvimento PICDEM Z	67
Figura 6.2 - Estrutura básica de uma aplicação ZigBee	69
Figura 6.3 - Processamento da recepção de dados	70
Figura 6.4 - Envio de mensagens ZigBee	70
Figura 6.5 - Entrada de um novo nó na rede.....	71
Figura 6.6 - Botão pressionado no nó secundário	72
Figura 6.7 - Tramas com dois EPs de destino	73

Lista de tabelas

Tabela 1 Tabela comparativa dos protocolos de domótica	8
Tabela 2 - Comparação entre tecnologias sem fios.....	14
Tabela 3 - Tabela AGEP.....	51

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AG	KNX Address group
APCI	Application Protocol Control Information
APL	Application Layer
APS	Application Support Sublayer
cEMI	common External Message Interface
DPTs	Data Point Type
EIB	European Installation BUS
EIBA	European International Business Academy
FFD	Full Function Device
HA	Home Automation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IR	Infra Red
KVP	Key Value Pair
LCD	Liquid Cristal Display
LNS	LonWorks Network System
LTR	Logical Tag Reflex
LTS	Logical Tag Supervised
MAC	Medium Access Control
MSG	Message Service
NLME-SAP	Network Layer Management Entity Service Access Point
NLMDE-SAP	Network Layer Data Entity Service AccessPoint
NWK	Network Layer
OSI	Open Systems Interconnect
PAN	Personal Area Network
PEI	Physical External Interface
PHY	Physical Layer
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
RS-232	Transmissão série assíncrona
TCP/IP	Tranmission Control Protocol / Internet Protocol
TP	Twisted Pair
TPCI	Transport Layer Protocol
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
ZDO	ZigBee Device Object

Capítulo 1

Introdução

A domótica é uma ciência que consiste na aplicação da informática, electrónica e robótica em edifícios, criando um sistema em que todos os dispositivos eléctricos e electrónicos desse edifício estão interligados e são controlados de modo a atingir um objectivo, podendo este ser tornar uma casa mais eficiente energeticamente, garantir a sua segurança, ou tornar mais cómoda a estadia e fornecer assistência a quem habita o edifício.

O desenvolvimento actual da domótica tende a implementar sistemas que sejam de fácil utilização e instalação, e que envolvam menor necessidade de manutenção. Existem actualmente diversos tipos de protocolos de domótica, cada um com os seus tipos de produtos, mas que não são inter-operáveis.

Um dos protocolos mais utilizados actualmente e que se encontra em grande crescimento é o KNX, que resulta da agregação dos três standards mais utilizados na Europa: EIB, HS e Batibus. Apesar de deter um elevado custo de instalação, é muito eficiente.

A existência de um único standard, permitiria ao mercado da domótica a estabilidade necessária para que este prospere, pelo que no futuro deverá ser feita uma união de todos os standards existentes. O futuro da domótica passa sem duvida pela implementação de sistemas sem fios, reduzindo os custos de cablagem e instalação e aumentando a portabilidade dos seus constituintes. As tecnologias sem fios permitem também com grande facilidade a actualização de sistemas já existentes, precisando apenas para isso utilizar o mesmo protocolo de comunicação. Um dos protocolos de redes sem fios em grande crescimento é o ZigBee. Este protocolo é destinado ao desenvolvimento de aplicações de baixa velocidade de transmissão de dados e elevada eficiência energética, o que o torna o protocolo ideal para redes de sensores e actuadores. Este tipo de redes é perfeito para a utilização em domótica, o que torna o ZigBee uma mais-valia para a implementação de sistemas domóticos sem fios. Além disso foi especificado um perfil do ZigBee que define os componentes e parâmetros necessários para a implementação de um sistema domótico. Todos os componentes que se encontram definidos por este perfil podem comunicar entre si, mesmo tendo sido implementados por vendedores diferentes [1][2].

Este projecto baseou-se na criação de um sistema domótico sem fios baseado na rede ZigBee que seja compatível com o standard KNX, permitindo a interligação com sistemas KNX já existentes. Este sistema é modular, possuindo um componente principal denominado gateway que faz o interface entre a rede KNX e a rede ZigBee e que é capaz de criar e gerir a

rede sem fios. Foi também criado um método de configuração do sistema através de um programa que está presente num computador e que comunica com a gateway através de uma rede Ethernet. Este programa permite associar os vários componentes do sistema de modo a criar uma solução adaptada a cada casa. Foram definidos vários tipos de módulos que permitem criar nós ZigBee com as funcionalidades adaptadas a cada situação, sendo possível definir o número de sensores e actuadores de cada nó e também o tipo de variável utilizada por estes.

Este documento começa por apresentar no capítulo 1 o panorama actual da domótica, demonstrando a sua utilização e os standards mais utilizados. No capítulo 2 são apresentadas as tecnologias de suporte utilizadas no projecto, o ZigBee e o KNX, demonstrando a sua arquitectura e método de comunicação. O capítulo 3 apresenta dois projectos anteriores desenvolvidos na FEUP e que foram utilizados para implementar e testar o projecto. No capítulo 4 encontra-se presente a especificação do projecto, demonstrando como é constituído o sistema e o seu funcionamento. O capítulo 5 corresponde à implementação e teste do projecto e expõe como foi desenvolvido e testado o sistema, assim como o software que foi utilizado para esse fim. No capítulo 6 são especificados os desenvolvimentos futuros que o projecto deveria implementar e o capítulo 7 corresponde à conclusão, onde são apresentadas as conclusões obtidas no desenvolvimento e teste do projecto.

Capítulo 2

Sistemas Domóticos

Este capítulo tem como objectivo definir o conceito de Domótica, demonstrar como é implementada e qual a sua utilidade. São também apresentados os protocolos mais utilizados actualmente e feita uma comparação entre estes. Por fim é feita uma apresentação do futuro da domótica e quais os passos a serem tomados para que esta seja cada vez mais utilizada pelo público em geral.

2.1 - Introdução

Um sistema domótico é baseado no uso de três tipos de componentes: sensores, actuadores e controladores, que estão interligados por intermédio de uma rede. Os sensores são componentes electrónicos ou mecânicos responsáveis por converter uma variável física (como por exemplo uma temperatura ou uma intensidade luminosa) num sinal eléctrico capaz de ser adquirido pelo sistema. Os actuadores são componentes capazes de actuar no ambiente, comandados por um sinal eléctrico (como por exemplo uma lâmpada ou um estore eléctrico). A rede de controlo é implementada de modo a que exista uma comunicação entre todos os componentes do sistema, permitindo o acesso aos dados adquiridos pelos sensores e permitindo aos componentes de controlo enviar comandos para os actuadores. A interligação entre os componentes é feita recorrendo a um meio físico que poderá ser cabeado ou sem fios. Agindo juntos e seguindo um protocolo predefinido de comunicação estes componentes comportam-se de uma maneira inteligente, controlando automaticamente vários aspectos da casa sem a necessidade de intervenção humana, tais como: temperatura, luminosidade e consumo energético.

2.2 - Panorama Actual

A domótica é um mercado em grande expansão, que já se encontra inserido em bastantes edifícios comerciais mas que ainda não é muito implementado em casas individuais. Este facto deve-se principalmente ao custo de uma instalação domótica, que actualmente ainda é bastante caro, podendo ir dos 500€ para uma instalação simples até aos milhares de euros para uma instalação mais completa.

O segundo factor que limita o crescimento da implementação da domótica é a existência de variados protocolos de comunicação que não são compatíveis, o que dificulta a sua evolução, pois todos os desenvolvimentos são feitos em produtos diferentes. Deste modo a escolha pela parte do cliente torna-se complicada e confusa, limitando o mercado.

Nos últimos anos tem-se vindo a notar uma redução nos preços devido ao crescimento no uso da internet e ao desenvolvimento actual na área dos sensores e semicondutores. Actualmente, devido à elevada miniaturização dos componentes é possível encontrar sensores e micro controladores mais pequenos e mais baratos, o que torna a implementação dos sistemas domóticos cada vez mais atractiva.

Começam também a ser desenvolvidos sistemas domóticos sem fios, em que os componentes comunicam por redes *sem fios*. Esta é sem dúvida uma transição que tornará a implementação muito mais atractiva, pois são reduzidos os custos de instalação e cablagem, que representam uma grande parte do custo total do sistema. É também dada uma nova mobilidade aos componentes, permitindo a sua mobilidade sem necessidade de ligar e desligar estes do sistema, o que dá a possibilidade de criação de componentes não existentes actualmente, como comandos universais que permitam controlar toda a casa ou simples porta-chaves que quando detectados pelo sistema lhe permitam saber quem se encontra em casa e ajustar as suas preferências adequadamente.

Um problema actual da domótica é o da dificuldade em instalar e configurar um sistema, tendo esta acção que ser efectuada por um técnico especializado, tornando-se difícil para um cliente que queira configurar a sua própria casa [2][3].

2.3 - Protocolos Existentes

Tal como foi referido, existe um conjunto de organizações a desenvolver tecnologias específicas, cada uma delas equipada com diferentes protocolos de comunicação e hardware. O conjunto de equipamentos, o tipo de rede que os liga e o protocolo de comunicação em cada rede é o que define um *standard* domótico.

Os diferentes standards estão distribuídos de forma irregular pelo mundo. Os standards X10, INSTEON, LonTalk, CEBus e Smart House estão localizados principalmente na América do Norte, o KNX têm uma maior influência na Europa e o HBS é a tecnologia mais bem sucedida no Japão [1]. Recentemente foi especificado para o ZigBee, que consiste num protocolo *sem fios* que possui um perfil para automação de casas, que define todos os dispositivos e parâmetros necessários à criação de um sistema domótico.

Nas subsecções seguintes é apresentado um resumo dos principais protocolos [2]:

X10

O X10 surgiu nos anos 70 e é o protocolo mais conhecido, sendo utilizado actualmente por entusiastas devido ao seu baixo custo e fácil implementação. Este utiliza a rede eléctrica como rede de comunicação entre os seus componentes. É bastantes vezes criticado pelo seu meio físico, que gera situações de erro frequentes, não sendo por isso muito fiável. Com este formato de transmissão de dados o envio de um simples comando de ligar uma luz pode durar um segundo, o que torna este sistema bastante ineficaz, juntado ao facto de por vezes para ligar uma luz ser necessário pressionar várias vezes o interruptor para que funcione, pois os erros são frequentes e a trama não é reconhecida no destino.

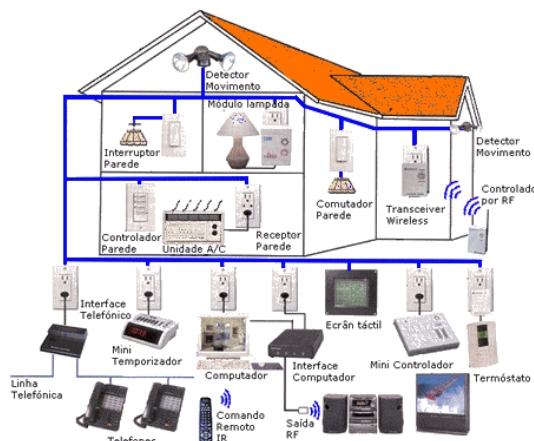


Figura 2.1 - Exemplo de um sistema X10

INSTEON

Uma versão equivalente ao X10, mais actual, mas proprietária, da empresa Smart Homes. Também funciona sobre a rede eléctrica mas num formato digital que utiliza uma modulação para a transmissão física de dados FM com verificação de erros das tramas, o que permite comunicações confiáveis, ao contrário do X10. É compatível com os equipamentos X-10 e apenas em 2008 começou a funcionar na Europa, pois até essa data todos os equipamentos funcionavam com 110V.



Figura 2.2 - Sistema Insteon para controlo de lâmpadas

KNX

Este standard foi promovido pela KNX Association. É a solução com mais sucesso na Europa e tem vindo a ganhar cada vez mais peso no resto do mundo. Este facto deve-se à sua alta eficácia, embora os seus componentes possuam um preço bastante elevado.

É um standard que foca a gestão eléctrica das instalações eléctricas, a gestão de requisitos e o controlo e segurança do ambiente.

Esta associação origina da fusão de três grandes grupos Europeus (EIB, HS e Batibus) que previamente suportavam os seus próprios standards. O standard KNX herda a maior parte das suas características do EIB. Segue-se uma descrição de cada grupo:

- European Installation BUS (EIB), era o barramento mais utilizado. Foi desenvolvido pela *European International Business Academy* (EIBA) e a sua principal característica é a da não existência de um nó central a controlar as comunicações. É um conjunto descentralizado de sensores e actuadores em que cada um toma as suas decisões e é responsável pelas suas comunicações. O sistema requer a instalação de um barramento que é responsável pela alimentação e comunicação dos equipamentos. É uma solução eficaz mas de preço elevado.

- HS, era suportado e financiado por instituições públicas europeias. Corresponde a um standard aberto que suporta diferentes tipos de barramentos.

- Batibus, orientado ao controlo técnico e de segurança de edifícios, utiliza um barramento em par entrançado e suporta diversas arquitecturas.

A especificação em detalhe do funcionamento deste standard é feita no capítulo seguinte, pois este foi o standard envolvido no projecto.

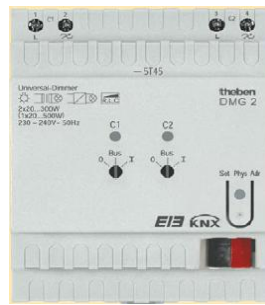


Figura 2.3 - Controlador de Luminosidade KNX (2 Canais)

Lonworks

Este é um standard aberto com uma grande influência na América do Norte. É um sistema distribuído que pode utilizar diversos tipos de meios físicos. Os equipamentos são programados recorrendo a uma linguagem chamada NeuronC, e o protocolo de comunicação é LonTalk. Utiliza uma tecnologia proprietária chamada LNS (LonWorks Network System).



Figura 2.4 - Controlador Lonworks

ZigBee Home Automation

O protocolo ZigBee foi criado em 2006, é implementado sobre o IEEE802.15.4, utilizando as duas camadas mais inferiores (Física e de Controlo de acesso ao Meio).

O IEEE802.15.4 é um padrão criado em Maio de 2004 e consiste num simples protocolo de redes sem fios. Este é utilizado em sensores, actuadores, e monitorização remota e dispositivos electrónicos portáteis.

A especificação do ZigBee é gerida por um consórcio de companhias denominado ZigBee Alliance, que actualmente conta com mais de 150 membros. Esta foi criada para ser utilizada em aplicações com baixos requisitos para transmissão de dados e equipamentos com fontes de energia limitadas, sendo os dispositivos ZigBee ideais para aplicações de baixo consumo, como é o caso da domótica.

Este protocolo utiliza perfis que definem tipos de dispositivos. Deste modo todos os componentes de um sistema que estejam com o mesmo perfil, possuem as mesmas definições. Desta maneira é possível encurtar o tamanho das tramas e melhorar a dinâmica das comunicações. O primeiro perfil a ser criado pela ZigBee Alliance e tornado publica foi o

de “Home Automation” (HA) que define os dispositivos necessários para criar um sistema domótico. Este perfil desde então já foi revisto e saiu uma nova versão.[4]

Tal como para o KNX o ZigBee irá ser descrito em maior detalhe no capítulo seguinte, pois faz parte integrante do projecto.



Figura 2.5 - Kit de domótica da Eaton

De seguida, na tabela 1, é apresentada a comparação entre os principais standards de domótica existentes actualmente na Europa.

Protocolo	Aberto	Meio Físico	Vantagens	Desvantagens
X10	Sim	Rede Eléctrica	Fácil implementação, grande variedade de produtos	Não fiável, comunicações lentas
Insteon	Não	Rede Eléctrica, RF(ar)	Fácil implementação	Proprietário, custo elevado
KNX	Sim	Par Entrançado, Rede Eléctrica, RF, IR, Ethernet	Protocolo aberto, grande variedade de produtos	Ferramentas de configuração custosas
Lonworks	Sim	Barramento cabeado, rede eléctrica	Fácil implementação	Hardware proprietário, comunicações lentas
ZigBee HA	Sim	RF	Completamente aberto, baixo custo	Menos seguro do que um meio cabeado, difícil implementação

Tabela 1 Tabela comparativa dos protocolos de domótica

De seguida serão apresentados dois produtos existentes no mercado e feita a sua comparação.

Kit Active Home

O kit de domótica Active Home é constituído pelos seguintes componentes:

- 1 Interface para Computador Active Home + software para windows
- 2 Módulos de Lâmpada
- 1 Módulo Transmissor
- 1 Módulo de aparelho
- 1 Controlo Remoto "8 em 1"

Este sistema permite o controlo de lâmpadas e tomadas através de um programa de computador e de um controlo remoto. É utilizada a tecnologia X-10 para realizar a comunicação entre os vários componentes, deste modo é possível expandir o sistema com componentes compatíveis. É possível programar eventos e macros (grupos de acções que acontecem em simultâneo ou em sequência, de acordo com a programação), estes podem ser definidos para acontecer a uma hora particular do dia, em dias escolhidos e entre datas pré definidas. Por exemplo, pressionando o botão 1, o controlador ligará as luzes do corredor e dos quartos, passados 20 minutos, são reduzidas as luzes dos quartos para 50% da sua intensidade, e desligadas as luzes passados mais 30 minutos.



Figura 2.6 Kit de domótica Active Home

AlertMe

O sistema sem fios AlertMe é baseado na tecnologia ZigBee e permite o controlo e monitorização de uma habitação utilizando componentes de fácil instalação. Possui dois temas principais que influenciam os vários kits que é possível escolher, o AlertMe Home Security, que foi a primeira aplicação a ser lançada e fornece uma solução que implementa funcionalidades de segurança na habitação assim como uma estação de monitorização aonde é possível controlar todos os componentes instalados. O segundo produto a ser lançado é o AlertMe Energy, que se foca aspectos de conservação e aproveitamento de energia da casa.

O kit Premium do AlertMe é constituído pelos seguintes componentes:

- 1 Processador Central
- 2 Detectores de Alarme
- 3 Porta Chaves Sem fios que permitem controlar o sistema
- 3 Sensores para janelas/portas
- 2 Sensores de movimento
- 1 Lâmpada que permite visualizar o estado actual do sistema
- 1 Botão Configurável
- 1 Website para monitorização e configuração



Figura 2.7 Sistema domótico AlertMe

Este sistema distingue-se pela sua fácil instalação e design agradável, permitindo ao mesmo tempo realizar funções de segurança e poupança de energia.

Comparando os dois sistemas apresentados é possível verificar pontos fortes e fracos em ambos. Ao nível da expansibilidade o sistema Active Home, que utiliza a tecnologia X-10 é o sistema indicado pois possui compatibilidade com todos os sistemas que comuniquem utilizando o mesmo protocolo, que é um dos mais utilizados e que possui uma vasta gama de produtos disponíveis. Já o sistema AlertMe, apenas permite a sua expansão com componentes do mesmo vendedor, funcionando com um protocolo fechado, o que limita bastante as escolhas do cliente. Ao nível da instalação ambos os sistemas são bons, pois não necessitam de barramentos cabeados para as comunicações e o seu sistema de configuração é de fácil utilização, ao contrário de sistemas como o KNX. Quanto à fiabilidade dos sistemas, o sistema AlertMe é superior, utilizando a tecnologia sem fios ZigBee, que possui bons mecanismos de detecção de erros e gestão de redes. Este será o ponto fraco do sistema Active Home, que por utilizar o protocolo X-10 se torna uma solução pouco fiável, que origina dos constantes problemas de comunicação e interferências do X-10.

2.4 - Tendências Futuras

O próximo passo da Domótica terá que consistir numa unificação dos protocolos existentes, que sendo incompatíveis entre eles, limitam bastante o crescimento do mercado. Uma solução a curto prazo será a criação de gateways que permitam protocolos diferentes comunicar entre si e sobre vários meios, a longo prazo será necessário definir um protocolo que permita a interligação de todos os já existentes [3].

Ao nível dos meios de comunicação o futuro certamente passará pela implementação de redes sem fios, que permitem instalações simples e menos custosas devido aos custos inerentes às cablagens, este facto também permite a instalação simplificada de um sistema domótico num edifício já construído, factor que actualmente para uma rede cabeada se torna de difícil implementação.

Com a contínua miniaturização dos sensores e semicondutores certamente se vai notar uma descida relevante nos preços de um sistema domótico, este factor aliado à diminuição drástica do preço de instalação de um sistema sem fios torna o futuro da domótica bastante atractivo.

Devido aos avanços dados nas áreas da inteligência artificial será brevemente possível uma simplificação nos procedimentos de configuração e da definição dos comportamentos desejados no sistema, estes avanços irão também proporcionar uma comunicação melhorada e bidireccional com o utilizador, permitindo a utilização da voz, o reconhecimento de gestos e a identificação e localização automática dos utilizadores. Será também, possível obter situações em que o sistema seja capaz de tomar decisões autónomas para a configuração da casa consoante o comportamento dos habitantes, adaptando-se automaticamente às necessidades de cada utilizador [5].

Todos estes factores, aliados a tecnologias já em desenvolvimento como a detecção automática das topologias dos edifícios e a crescente aposta na robótica tornam os sistemas domóticos muito apelativos pelo seu baixo custo e grande utilidade.

Capítulo 3

Tecnologias de suporte

3.1 - IEEE 802.15.4

O standard IEEE 802.15.4 [6] é gerido pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE. Este standard diferencia-se do mais usual 802.11 por se concentrar principalmente em baixas taxas de transmissão dados e baixo consumo energético. Deste modo são obtidas taxas de transferência entre os 20 e os 250 kbps, dependendo da frequência utilizada pela camada física (PHY). Para a frequência de 868 MHz, corresponde uma taxa de aproximadamente 20 kbps e é utilizada principalmente na Europa, com 915 MHz, correspondendo a 40 kbps e que é utilizada na América do Norte e Austrália e com 2.4 GHz, que corresponde a taxas de 250 kbps e é utilizada por todo o mundo. As características de gestão de energia do standard permitem que dispositivos que funcionem com baterias operem por vários meses e até anos.

Existem principalmente dois tipos de dispositivos definidos no standard: Dispositivos de função completa (FFD) e dispositivos de função reduzida (RFD). O FFD pode servir como coordenador de uma rede de área pessoal assim como um nó comum, implementa um modelo de comunicações que lhe permite comunicar com qualquer outro dispositivo, também pode ser responsável pelo reencaminhamento de mensagens, sendo o caso em que é considerado um coordenador, é considerado um coordenador PAN se estiver responsável por toda a rede. O outro tipo de dispositivos são os RFD, estes são desenhados para serem extremamente simples, com requerimentos de recursos e comunicações reduzidos para poupança de bateria, deste modo estes dispositivos apenas podem comunicar com os FFD's e nunca podem agir como coordenadores.

3.2 - ZigBee

O protocolo ZigBee [7] é implementado sob o standard IEEE 802.15.4. A sua especificação está a cargo de um consorcio industrial não lucrativo de produtores de semicondutores, e outras companhias, que juntos se designam por *ZigBee Alliance*. Esta aliança conta neste momento com mais de 300 membros, tendo duplicado os membros em pouco mais de 3 anos.

Tal como foi descrito no capítulo anterior, a especificação do ZigBee foi concebida para utilizar as funcionalidades suportadas pelo IEEE 802.15.4. Em particular o objectivo do ZigBee são as aplicações com baixos requisitos de transmissão de dados e dispositivos com necessidades de baixo consumo energético.

Um dos principais mercados alvo dos produtos ZigBee inclui o de controlo e automação de edifícios, tendo o potencial de controlar a sua temperatura e luminosidade, monitorizar a sua estrutura e executar tarefas de vigilância com o mínimo de interacção humana.

A pilha ZigBee encontra-se ilustrada na figura 3.1 [8].

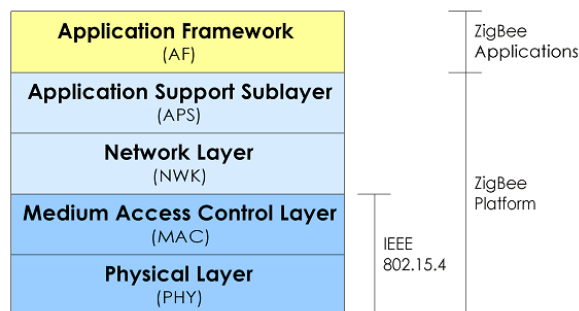


Figura 3.1 - Pilha do protocolo ZigBee

É normal existir uma comparação com as redes sem fios que mais se aproximam do ZigBee, o Bluetooth e o Wi-Fi, na tabela seguinte demonstra-se as suas diferenças e explica-se então que de facto estes dois standards são aplicados em situações diferentes [10].

	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Standard	802.15.4	802.15.1	802.11b
Requisitos de Memória	4-32KB	250KB+	1MB+
Vida de bateria	Anos	Dias	Horas
Nós por mestre	65000+	7	32
Taxa de dados	250Kb/s	1Mb/s	11Mb/s
Alcance	300m	10m	100m

Tabela 2 - Comparação entre tecnologias sem fios

Analisando a tabela 2, facilmente se chega à conclusão que o ZigBee é a tecnologia indicada para desenvolver aplicações de redes sem fios de sensores, pois permite uma maior quantidade de nós por mestre e também um tempo de vida de bateria muito superior às

restantes tecnologias, que são mais indicadas para a transmissão de dados multimídia devido à sua elevada taxa de transmissão de dados.

3.2.1 - Arquitetura Protocolar

A pilha, ou *stack*, do protocolo ZigBee, tem a sua origem no modelo OSI (*Open Systems Interconnect*) e encontra-se ilustrada na figura 4 [7].

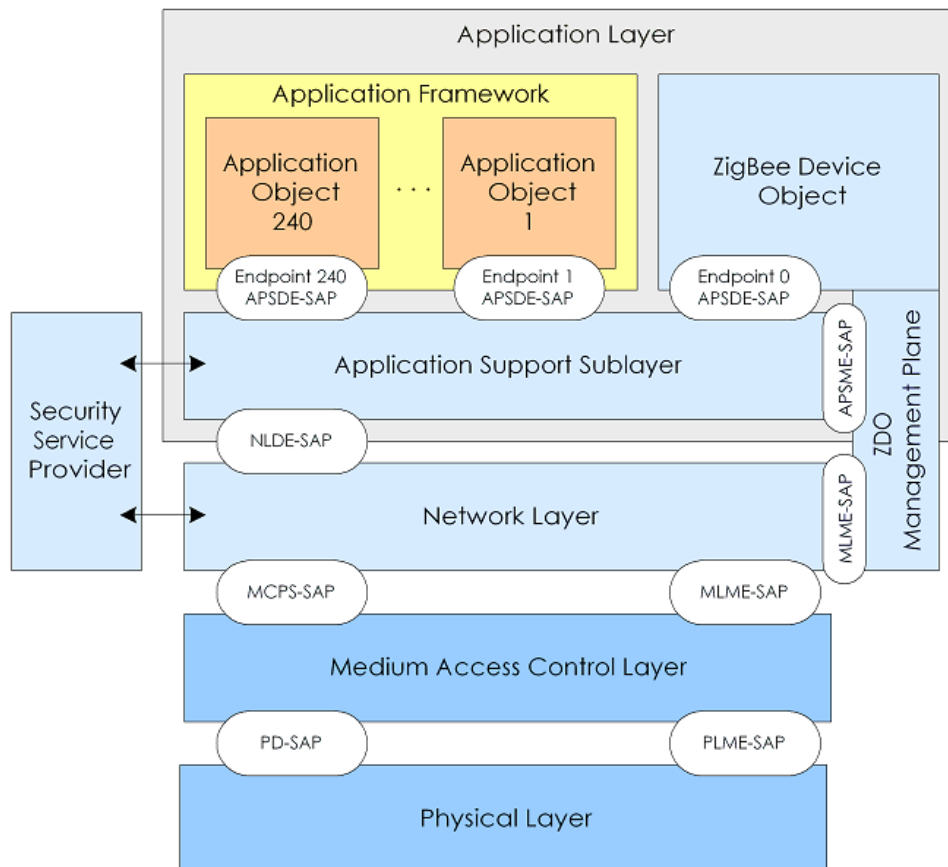


Figura 3.2 - Pilha de protocolo ZigBee

As duas camadas inferiores são definidas pelo IEEE 802.15.4 e as restantes duas camadas são definidas pela ZigBee Alliance:

1. **Camada Física (PHY)** - É a camada mais baixa, definida pelo standard IEEE 802.15.4 [standard]. Disponibiliza duas alternativas para a sua implementação, que operam em duas gamas de frequência separadas: 868/915 e 2.4 GHz.
2. **Camada de Acesso ao Meio (MAC)** - É também definida pelo standard IEEE 802.15.4 [standard]. A função desta camada é controlar o acesso ao meio físico de

transmissão, é utilizado o Carrier Sense Medium Access /Collision Avoidance (CSMA/CA). Este é um mecanismo de acesso ao meio que contribui para a redução da ocorrência de colisões. Esta camada fornece o suporte para sincronização de rede e transmissões confiáveis utilizando mecanismos de detecção de erros e retransmissões.

3. **Camada de Rede (NWK)** - Esta camada é definida pela ZigBee Alliance [standard ZigBee] e é responsável pela troca dados entre a camada de aplicação e a camada de acesso ao meio. É responsável pelas tarefas de associar e desassociar dispositivos numa rede, aplicar protocolos de segurança, e iniciar redes e atribuir endereços nos coordenadores. Estes serviços são fornecidos através de dois interfaces - o *Network Layer Management Entity Service Access Point* (NLME-SAP) e o *Network Layer Data Entity Service AccessPoint* (NLMDE-SAP).
4. **Camada de aplicação (APL)** - Esta é a camada superior, definida pela ZigBee Alliance. Consiste na *Application Support Sublayer* (APS), na ZigBee Device Object (ZDO), e nos *Application Objects* definidos em cada dispositivo:
 - (a) **Application Support Sublayer (APS)** - É utilizada para implementar mecanismos de segurança e para ser utilizada pelos *Application objects* e os ZDO para enviar dados.
 - (b) **ZigBee Device Object (ZDO)** - Fornece um interface para os *Application Objects* descobrirem outros dispositivos e os seus serviços. Também é responsável por responder a perguntas que foram feitas sobre os serviços do dispositivo. O ZDO é um *Application Object* especial, implementado no *EndPoint 0*.
 - (c) **Application Objects** - São as aplicações desenvolvidas pelos programadores que residem no topo da pilha de protocolo. Estes aderem a um dado perfil aprovado pela ZigBee Alliance e residem em EndPoint numerados de 1 a 240. Os EndPoints, em conjunto com o endereço do dispositivo, fornece uma maneira uniforme de endereçar *Application objects* numa rede ZigBee.

A Zigbee Alliance fornece alguns perfis que permitem a criação de uma estrutura para que aplicações relacionadas trabalhem em conjunto. Deste modo, os *end devices* de diferentes vendedores podem comunicar entre si, desde que adiram ao mesmo perfil.

Um destes perfis é o *Home Control, Lighting Profile*. Este perfil está destinado primariamente à monitorização e controlo de níveis de luz no ambiente doméstico. Neste perfil são definidos diferentes tipos de dispositivos, como por exemplo, Sensor de Luz Monocromático, Interruptor por Controlo Remoto, Interruptor Controlador de Carga e Controlador de Intensidade Remoto.

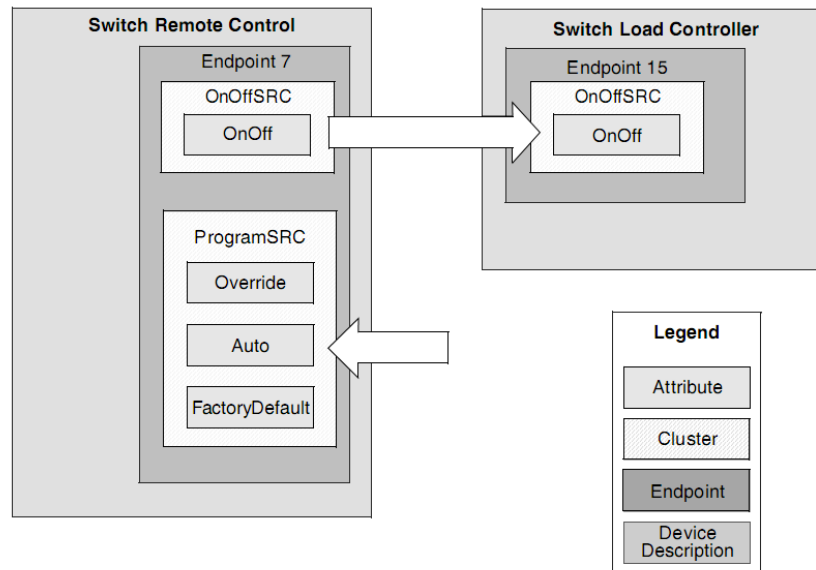


Figura 3.3 - Exemplo da arquitectura da camada de aplicação [10]

Um perfil pode consistir em até 2^{16} descrições de dispositivos e pode conter até 256 *clusters*. Cada *cluster* pode conter até 2^{16} atributos [6]. Uma descrição de dispositivo contém um conjunto de *clusters* de entrada e saída, opcionais ou obrigatórios, para o perfil aplicado.

Um *cluster* de entrada consiste num conjunto de atributos que pode ser definido por outros dispositivos, por exemplo, um sensor de luz possui um atributo chamado *ReportTime*, que controla o intervalo de tempo entre leituras de luz. *Clusters* de saída consistem em atributos que fornecem dados a outros dispositivos, por exemplo, o Sensor de Luz Monocromático (LSM) possui um atributo de saída chamado *CurrentLevel* que representa a leitura actual do sensor medida em lux. Cada dispositivo pode conter até 255 *endpoints*, um *endpoint* (EP) pode ser visto com um porto no TCP/IP, sendo o responsável por fazer o interface dos dados entre os vários dispositivos

3.2.2 - Arquitectura ZigBee

Uma rede ZigBee é chamada de Rede de Área Pessoal (PAN) e é constituída por um coordenador, um ou mais *end devices* e opcionalmente um ou mais routers. O coordenador é um dispositivo de função completa (FFD), e é responsável por todo o funcionamento da rede ZigBee. Ao iniciar o sistema o coordenador cria uma rede com um dado identificador PAN à qual os dispositivos se podem juntar. Os *end devices* são normalmente dispositivos de funcionalidade reduzida (RFDs) para permitir uma implementação o mais barata possível. Os routers servem como extensões do sinal. Se um dado dispositivo se quer ligar fora do alcance do coordenador, um router que esteja dentro desse alcance é responsável por servir de coordenador local e ligar o dispositivo à rede, transmitindo depois essa informação ao coordenador da rede. Deste modo um router tem que possuir capacidades de coordenador e é também um dispositivo FFD.

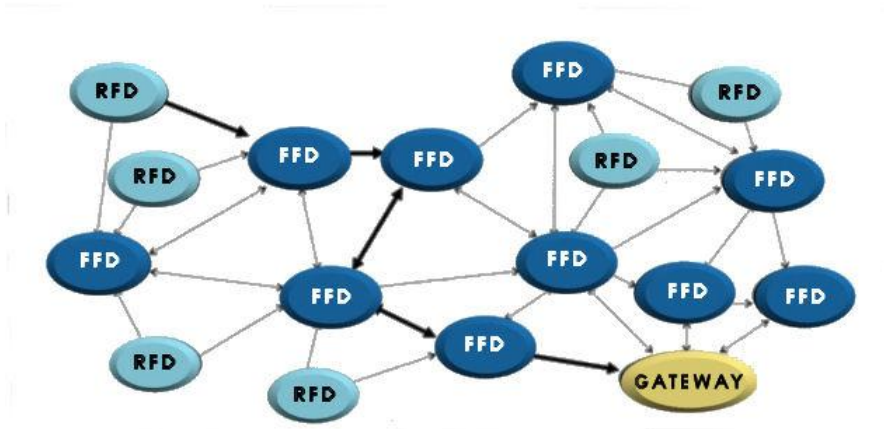


Figura 3.4 - Uma rede em malha demonstrando um sinal que origina num RFD e é reencaminhado pelos FFD's, acabando numa Gateway. As linhas a tracejado representam os diferentes caminhos possíveis.

Topologias

Os nós de uma rede ZigBee podem ser distribuídos em três tipos diferentes de topologias de rede: estrela, árvore e malha.

A mais simples de todas será a de estrela, demonstrada na figura 3.5(a), neste caso, uma rede ZigBee contém um coordenador, e um certo número de *end devices*, não contendo routers, cada *end device* encontra-se ao alcance de rádio do coordenador.

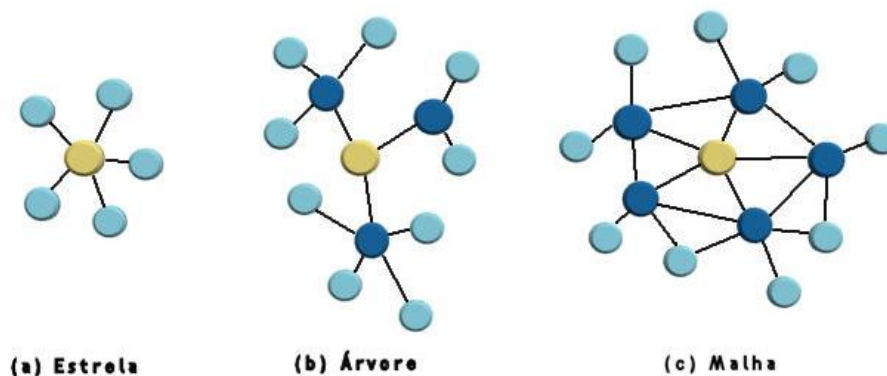


Figura 3.5 - Topologias das redes ZigBee

Na topologia em árvore, indicada na figura 3.5(b), os caminhos de comunicação estão organizados de modo a que exista apenas um caminho possível de um dispositivo para outro. Os *end devices* comunicam directamente com o coordenador ou com apenas um router.

Tal como na topologia em árvore, numa topologia em malha os *end devices* comunicam directamente com o coordenador ou com um router, mas neste caso podem existir diferentes caminhos entre routers. Este reencaminhamento redundante é transparente para os *end devices*, e introduz contabilidade na rede, com o custo da acrescida complexidade. Um exemplo pode ser visto na figura 3.5(c).

Endereçamento

Para identificar os dispositivos existem dois tipos de endereços. Todos os *end devices* possuem um endereço IEEE de 64-bit único, referido como *extended address*. Depois de se juntar a uma PAN, é designado a um dispositivo um *short address* de 16-bit pelo coordenador que é depois utilizado como modo de sub-endereçamento, para minimizar o tamanho das tramas. Existem dois tipos de mensagens que podem ser enviados, o serviço *Key Value Pair* (KVP), que utiliza uma maneira standardizada de representar mensagens usando XML binário, ou o serviço *Message* (MSG), que permite controlo total das mensagens a ser enviadas mas que têm como contrapartida uma menor dinâmica do sistema.

Binding

Os *application objects* dos diferentes dispositivos podem iniciar a comunicação através de um processo chamado *binding*, que cria uma ligação lógica entre estes. Quando isso acontece é criada uma entrada na tabela de *binding* do coordenador, identificando os *endpoints* e associando-os. Um *application object* pode ser ligado a vários destinos simultaneamente, permitindo por exemplo, um interruptor controlar várias luzes. Este conceito é similar ao de conectar dois *sockets* no TCP/IP.

Quando dois dispositivos se interligam desta maneira, o *cluster* de saída de um dispositivo é conectado ao *cluster* de entrada de outro. Por exemplo, um sensor de luz possui um *cluster* de saída (Output:LightLevelLSM), e o Interruptor Controlador de Carga possui o mesmo *cluster* como input (Input:LightLevelLSM), deste modo os dois dispositivos encontram-se conectados, permitindo que o sensor de luz forneça periodicamente os valores obtidos da intensidade luminosa.

O *binding* pode ser iniciado por um coordenador/router directamente, fazendo a entrada na tabela, ou pelos dispositivos a conectar. Nesta ultima situação, conhecida como *binding* simples, normalmente é feita a conexão pressionando um botão nos dois dispositivos que se desejam conectar. Para minimizar o consumo energético, os dispositivos de função reduzida (RFD) desligam o seu rádio quando este não é necessário. Como as mensagens podem ser enviadas a estes dispositivos a qualquer momento, o coordenador da rede ao qual esse dispositivo está ligado recebe as mensagens em nome dos dispositivos que se encontram em modo *sleep*. Deste modo quando um dispositivo acorda e está pronto para receber uma mensagem, normalmente periodicamente, ele envia uma mensagem ao coordenador pedindo as mensagens que lhe tenham sido enviadas enquanto o rádio se encontrava desligado.

Descrição do dispositivo

Para descrever as capacidades de um dispositivo numa rede, o protocolo ZigBee define três descrições obrigatórias: de nó, potência e descrição simples. Estas descrições são um conjunto de atributos que os outros dispositivos podem pedir para obter informação sobre o dispositivo, como por exemplo, o nível de energia restante, ou os serviços que são prestados. A descrição de nó indica o tipo e as capacidades de cada nó, sendo o tipo coordenador, router ou *end device* e as capacidades sendo propriedades como banda de frequência,

tamanho máximo de buffer ou se o receptor se encontra ligado constantemente ou não. A descrição de potencia indica o tipo de fonte de energia utilizado, o nível de energia actual, etc. Por fim cada dispositivo possui uma descrição simples para cada *end point*, incluindo o identificador de perfil, o numero de *clusters* de entrada e saída, etc.

3.2.3 - Perfil Home Automation

O perfil Home Automation (HA) [4] define a descrição dos dispositivos e as praticas usuais para criar aplicações em ambientes residenciais. Estas definições permitem uma interoperabilidade entre dispositivos ZigBee produzidos por vários vendedores de produtos de automação residencial.

Uma rede HA pode conter de 2 a 500 nós, embora a experiência de funcionamento real sugira que ao se aproximar do limite dos 500 nós os eventos do sistema se possam tornar lentos. Um sistema ZigBee HA está predestinado a funcionar com o controlo esporádico em tempo real de dispositivos, estando a rede normalmente em espera, havendo apenas tráfego quando são necessárias acções.

Apesar da interoperabilidade criada pela implementação do perfil, não existe uma certeza de que todos os produtos de vendedores diferentes irão interagir, pois existem definições de configuração e segurança que se estiverem definidas de um modo diferente impedem a interacção entre estes.

O perfil define várias práticas na implementação de redes ZigBee, como canais preferenciais para evitar interferências com outras redes sem fios, limitações temporais para emissões, modos de configuração dos dispositivos, dados que deverão estar disponíveis para o utilizador e regras de criação e gestão da rede.

Na imagem seguinte encontra-se um exemplo da definição de dispositivos presente na especificação do perfil HA [4].

	Device	Device ID		Device	Device ID	
Generic	On/Off Switch	0x0000	Lighting	On/Off Light	0x0100	
	Level Control Switch	0x0001		Dimmable Light	0x0101	
	On/Off Output	0x0002		Color Dimmable Light	0x0102	
	Level Controllable Output	0x0003		On/Off Light Switch	0x0103	
	Scene Selector	0x0004		Dimmer Switch	0x0104	
	Configuration Tool	0x0005		Color Dimmer Switch	0x0105	
	Remote Control	0x0006		Light Sensor	0x0106	
	Combined Interface	0x0007		Occupancy Sensor	0x0107	
	Range Extender	0x0008		Reserved	0x0108 – 0x1FFF	
	Mains Power Outlet	0x0009		Closures	Shade	0x0200
	Reserved	0x000A – 0x00FF			Shade Controller	0x0201
			Reserved		0x0202 – 0x2FFF	

Figura 3.6 - Especificação de dispositivos do perfil HA

De seguida é apresentado um exemplo resumido da definição de um interruptor On/Off genérico presente na especificação do perfil HA.

Descrição de um Interruptor On/Off

O interruptor On/Off é capaz de enviar comandos de ligar, desligar e comutar para controlar o estado de dispositivos.

Clusters Suportados

Clusters comuns a todos os dispositivos: Basic, Identify.

Clusters do interruptor On/Off: On/Off Switch Configuration, On/Off, Scenes, Groups.

Funcionalidades Suportadas

Juntar a rede, formar rede e permitir que outros nós se juntem (para coordenadores), retornar às definições de fábrica, gestão de *Binds*, resposta a *bind* e *unbind*, resposta de descoberta de serviços por outro dispositivo.

3.3 Standard KNX

Tal como foi referido no capítulo anterior o standard KNX origina da fusão de três grande grupos Europeus (EIB, HS e Batibus) que previamente suportavam os seus próprios standards. O standard KNX herda a maior parte das suas características do EIB.

O sistema é orientado ao software e é baseado numa arquitectura distribuída, não contendo um processador central, tornando-se desta maneira sempre actual já que cada interruptor ou controlador é o seu próprio dispositivo inteligente. Esta característica também permite que no caso de ocorrer uma falha o sistema não pare na sua totalidade.

A instalação é feita definindo os parâmetros de cada dispositivo através de um software de configuração ou manualmente, depois de efectuada a configuração o sistema poderá funcionar independentemente do software.

De seguida é apresentada a arquitectura do standard tal como definido na sua especificação geral [11].

O KNX permite vários mecanismos e soluções para criar uma rede funcional, permitindo aos vendedores escolher qual a configuração que mais se adequa ao seu mercado. O modelo seguinte, ilustrado na figura 3.10, demonstra uma visão geral do KNX, dando ênfase às várias escolhas em aberto que o sistema permite escolher.

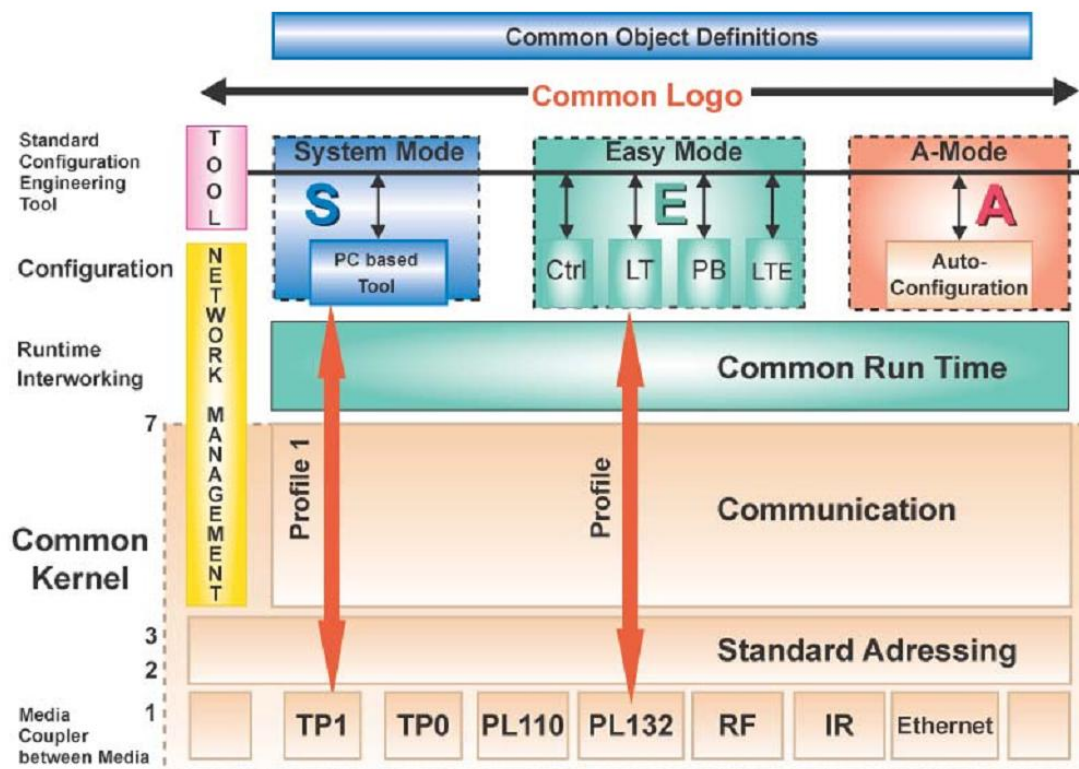


Figura 3.7 - Modelo KNX

3.3.1 - Arquitectura KNX

- Camada Física

O sistema KNX permite aos instaladores a escolha da camada física a utilizar no sistema, ou ainda uma junção de várias. Através de routers a alta capacidade de configuração de uma rede KNX permite utilizar não só vários meios físicos de comunicação mas também interligar vários dispositivos que comuniquem com o protocolo KNX, mesmo sendo estes de vendedores diferentes.

Os diferentes meios físicos possíveis de implementar são:

- **TP₀**, originado no BatiBUS, e **TP₁**, que é o meio utilizado normalmente no EIB. Estas duas soluções fornecem uma implementação em cabo entrançado. Os dados são transmitidos simetricamente e os sinais são enviados por meio de um sinal diferencial entre os dois condutores. Uma das suas características principais é a de poder transmitir dados e alimentar os dispositivos com apenas dois fios, caso o dispositivo em questão não possua grandes requisitos de potência. O TP₀ permite uma transmissão com uma velocidade de 4.8kbits/s enquanto o TP₁ é capaz de atingir os 9.6kbit/s. Ambos os meios implementam o mecanismo de prevenção de colisão de dados CSMA/CA.

- **PL₁₁₀**, do EIB, e **PL₁₃₂**, do EHS. Estes métodos permitem que a comunicação possa ser feita através da linha eléctrica. Esta permite uma transmissão assíncrona de pacotes de dados e uma comunicação bidireccional "*Half duplex*" modulada em frequência. A sua principal diferença reside na frequência central utilizada, pois o PL₁₁₀ utiliza uma frequência de 110 KHz que permite velocidades de 1200 bits/s enquanto o PL₁₃₂ utiliza uma frequência de 132 KHz, o que permite uma velocidade de 2400 bits/s. Ambos os meios implementam também o mecanismo CSMA.

- **RF**. A comunicação por rádio frequência também já se encontra especificada, e permite comunicações na banda dos 868 MHz. A sua taxa de transmissão de dados é de 32KHz e também utiliza mecanismos CSMA de acesso ao meio.

- **IR**. A comunicação por infravermelhos originou no EIB e ainda é maioritariamente utilizada nos comandos, que comunicam através de tramas KNX com uma gateway, que posteriormente, através de outro meio físico, acciona o dispositivo desejado.

- **Ethernet**. Este meio físico não se encontra especificado no KNX, mas é ainda referenciada uma norma, herdada do EIB, que permite a utilização do KNX sob redes TCP/IP.

No topo da camada física de e da sua respectiva camada de interface de dados, que é distinta para cada meio físico utilizado, existe um modelo partilhado a todos os dispositivos da rede KNX, que está dividido segundo o modelo OSI de 7 camadas:

- **Camada de ligação de dados geral.** Encontra-se acima da camada de ligação de dados por meio e providencia o controlo de acesso ao meio e o controlo de ligação lógica.

- **Camada de rede.** Responsável por gerar um telegrama de reconhecimento que previne erros na transmissão, também controla o número de retransmissões que um pacote já sofreu. Esta camada é de principal interesse para os nós com capacidades de reencaminhamento de pacotes.

- **Camada de transporte.** Permite 4 tipos de comunicação entre pontos de comunicação:

- Um para muitos sem conexão (*multicast*),
- Um para todos sem conexão (*broadcast*),
- Um para um sem conexão,
- Um para um com conexão.

- As camadas referentes à sessão e apresentação do modelo OSI não possuem implementação no KNX

- **Camada de aplicação.** Esta camada oferece um conjunto de ferramentas que fornecem serviços aos processos de aplicação. Estes serviços diferem com o tipo de comunicação utilizado. Os serviços relacionados com comunicações ponto a ponto e *broadcast* estão incluídos na gestão de rede, enquanto os serviços relacionados com *multicast* estão destinados à operação em tempo real.

Endereçamento e topologias de rede

O espaço de codificação reservado para o endereçamento fixa as capacidades fundamentais do sistema em termos de máximo número de dispositivos endereçáveis e de *data-points*. O endereçamento é reflectido no formato de codificação do pacote da mensagem, ou telegrama.

Uma rede KNX é uma rede completamente distribuída, que pode acomodar até 65536 dispositivos cada um com um endereço individual de 16-bit. A topologia lógica das redes interiores, ou sub-redes, permite 256 dispositivos numa linha. Tal como exemplificado na figura 3.11, as linhas podem ser agrupadas com uma linha principal formando uma área. Um domínio completo é formado por 15 áreas em conjunto com uma linha de suporte, a chamada *backbone line*.

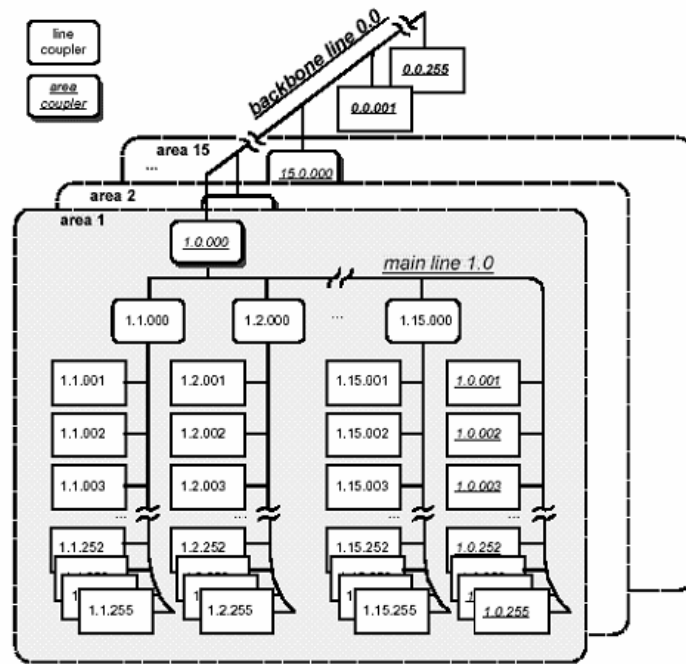


Figura 3.8 - Topologia lógica de uma rede KNX

Como é demonstrado na figura, a estrutura numérica dos endereços reflecte a estrutura topológica da rede. Nas implementações em rádio frequência a interferência entre duas instalações adjacentes é evitada utilizando um esquema de endereçamento estendido, que associa o endereço individual ou de grupo de um dispositivo ao seu número de série único.

Formato das tramas

Dependendo da técnica de modulação utilizada ou do controlo de acesso de algum meio específico, pode existir uma adição ao formato da trama apresentado, sendo este comum a todos tipos de configuração do KNX. É apresentada então na figura 3.12 a estrutura de uma trama KNX-TP, que é a mais utilizada em sistemas KNX.

octet 0	1	2	3	4	5	6	7	8	...	N - 1	N ≤ 22
Control Field	Source Address		Destination Address		Address Type; NPCI; length	TP CI	AP CI	data /AP CI	data		Frame Check

Figura 3.9 - Estrutura de uma trama KNX-TP

No primeiro byte, encontra-se o Campo de Controlo, que determina a prioridade da trama e distingue entre uma trama de endereço normal ou estendido. Em cada caso existe sempre

um endereço de fonte (*Source Address*) individual e um endereço de destino que poderá ser individual (*unicast*) ou de grupo (*multicast*). O tipo de endereço de destino (*Destination Address*) é determinado por um campo especial. Existe uma contagem das vezes que a trama foi reencaminhada pela rede, um chamado “*hop count*”, que é decrementado pelos routers para impedir que as mensagens entrem num ciclo infinito na rede, quando esta contagem chega a zero, a trama é descartada da rede.

A informação de controlo do protocolo da camada de transporte (TPCI) controla as relações de comunicação da camada de transporte, como por exemplo a gestão das ligações ponto a ponto. Por sua vez a informação de controlo do protocolo da camada de aplicação (APCI) permite o acesso ao vasto conjunto de serviços da camada de aplicação (Ler, Escrever, Resposta, ...) que se encontram disponíveis para o esquema de endereçamento e relação de comunicações utilizado.

Dependendo do esquema de endereçamento e do APCI, uma trama pode conter até 14 bytes de dados. A segmentação feita para a transferência de dados longos, como o carregamento de todo um programa de aplicação para um dispositivo, fica a cargo do cliente de gestão, que é por exemplo o software de configuração da rede.

Por fim, o último byte corresponde a uma verificação de trama (*Frame Check*) que permite a verificação da consistência dos dados e garante uma transmissão confiável.

KNXnet/IP

O protocolo KNXnet/IP foi criado para poder utilizar KNX sobre uma rede IP, este situa-se na camada física do modelo em camadas do KNX e define a integração do protocolo KNX sobre o protocolo de rede *Internet Protocol* (IP), é composto por uma camada de serviços KNXnet/IP que se encontra no topo das camadas de transporte, rede e física, que são as mesmas que o protocolo TCP/IP utiliza. A especificação descreve os serviços utilizados e indica que pode ser utilizado o transporte UDP ou TCP [12].

O KNXnet/IP está organizado por módulos, que podem ser implementados de acordo com a função esperada do servidor, os módulos existente são os seguintes: Núcleo, Gestão de dispositivos, *Tunneling* e *Routing*.

O núcleo é um módulo obrigatório que necessita de estar presente em todas as implementações, este contém as especificações das tramas KNXnet/IP, os serviços básicos de funcionamento e uma descrição do protocolo de rede IP.

O módulo da gestão de dispositivos define serviços para efectuar configurações e gestão de servidores KNXnet/IP.

O módulo de *tunneling* consiste na criação de um túnel IP, entre um cliente KNXnet/IP e um servidor KNXnet/IP (conexão de um-para-um) por onde são trocadas tramas KNX. É essencial para poder utilizar o software chamado ETS e para configurar os dispositivos KNX que estão ligados a servidores KNXnet/IP.

O módulo de *routing* é utilizado para efectuar o encaminhamento de tramas pela rede. Este módulo é essencial no caso de se pretender que os servidores KNXnet/IP possam trocar mensagem directamente entre si. Essas tramas podem ter origem do próprio servidor, bem como na rede KNX TP1 ligada a esse servidor [12].

Data-points e aplicações distribuídas

O KNX modela uma aplicação numa rede como sendo uma colecção de *data-points* capazes de enviar e receber dados, distribuídos por um dado número de dispositivos.

O sistema torna-se funcional quando os *data-points* dos diferentes dispositivos são ligados através de um identificador comum, como exemplificado pelo endereço de grupo *multicast*. Quando uma aplicação local num dispositivo, como por exemplo um sensor, escreve um valor para um *data-point* de envio, este dispositivo envia uma mensagem de escrita com o endereço correspondente e o novo valor. O *data-point* de recepção com o mesmo endereço irá receber o valor e informar a sua aplicação local, para que esta possa tomar acções consoante a sua programação. Estas acções podem ser mudar um estado interno, actualizar um dos seus *data-points* de envio, modificar o valor de uma das suas saídas físicas ou uma combinação destas acções.

Objectos de grupo

A comunicação entre dispositivos é principalmente efectuada por telegramas enviados para um endereço de grupo (*GroupAddress*). Um endereço de grupo é um nome lógico para um certo tópico que liga dispositivos compatíveis. Um ou mais sensores enviam dados que um ou mais actuadores recebem num dado grupo, sendo esta a maneira principal de conectar dispositivos no KNX.

A principal utilização dos *data-points* no KNX é dada pelos objectos de grupo, estes são objectos virtuais acedidos por um endereçamento de grupo *multicast*. As conexões entre eles correspondem aos endereços de grupo, estes endereços combinados com o formato de mensagem de grupo constitui a base interdisciplinar de um sistema KNX.

Aplicando este conceito, as aplicações que utilizem o endereçamento de grupo podem alcançar a uma maior independência das comunicações de rede, o que encoraja a reutilização de código para diferentes modos de configuração.

Neste caso cada aplicação vê o barramento como um conjunto limitado de endereços de grupo, que correspondem aos *data-points* mais relevantes para ela.

Tipos de Data-points

Um dos mais valiosos atributos para um cliente que deseje implementar um sistema KNX é o da possibilidade que este sistema oferece de trabalhar em conjunto com vários dispositivos independentemente do seu vendedor, desde que comuniquem segundo o standard KNX. Estão bem definidos os tipos de *data-points* que um sistema pode utilizar. Estes tipos fixam o formato dos dados a ser utilizado por cada *data-point*:

Serviço GroupValue_Write

Este é um serviço *multicast* que permite enviar tramas de escrita que modificam o valor dos *data-points* presentes nos endereços de grupos de destino.

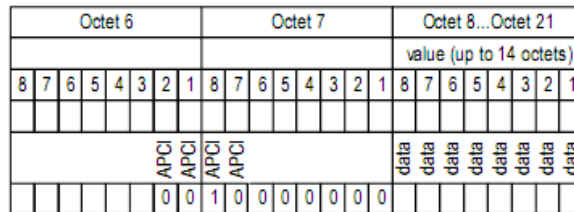


Figura 3.11 - GroupValue_Write

Serviço GroupValue_Read e GroupValue_res

O serviço GroupVaue_Read permite ler o valor de um *data point* que se encontra no endereço de grupo de destino da mensagem. Após recebida a mensagem pelo endereço de destino, este responde com o serviço GroupValue_res, que irá conter o valor pedido pelo primeiro dispositivo.

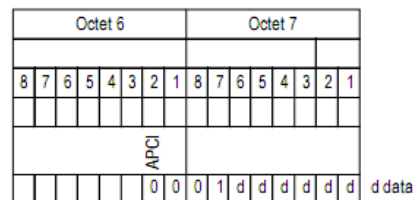


Figura 3.12 - GroupValue_Res

3.3.3 - Configuração

A configuração de um sistema KNX é feita principalmente através do seu software denominado ETS, que foi concebido para esse propósito. O software ETS possui a capacidade de aceder a um barramento KNX e adquirir todas as informações sobre os dispositivos que lá se encontrem ligados, pode depois atribuir endereços de grupo a esses dispositivos e criar linhas e áreas de rede, modificando a topologia de acordo com o desejo do configurador. A utilização do software ETS corresponde ao modo de configuração System Mode do KNX, Este permite ainda o Easy Mode e o Automatic Mode.

System Mode

Os dispositivos que implementem o “System Mode” disponibilizam o mais versátil processo de configuração, pois permitem uma implementação em que as complexidades de definir conexões e de configurar a aplicação são responsabilidade do software de configuração. Para a informação especial que o software necessita de ter para configurar toda a rede, este possui uma base de dados que representa todos os dispositivos e as suas funcionalidades, esta informação é criada e mantida por cada vendedor para os seus produtos. Normalmente o vendedor fornece essa base de dados dos componentes aos seus clientes, para depois o instalador da rede a poder importar para o seu software de configuração.

Easy Mode

Controler Mode

Este modo é definido para permitir a instalação de um número limitado de dispositivos num segmento lógico de um meio físico. Uma instalação utilizando este modo é constituída por um dispositivo especial chamado controlador, que é responsável por ajudar no processo de configuração. É aconselhável que este controlador se encontre presente durante o funcionamento normal da rede.

Push-button mode

O modo *Push-Button*, tal como o modo de controlador, encontra-se definido para instalações de um numero limitado de dispositivos. Mas neste caso não existe necessidade para um aparelho especializado de configuração, pois cada dispositivo que permita o modo de configuração *Push-button* deve incluir os meios para esta se proporcionar. Cada dispositivo possui a habilidade de ser dinamicamente configurado, podendo ser definidos os seus parâmetros, assim como endereços individual e de grupo.

Logical Tag Reflex (LTR)

Neste modo não é necessária uma ferramenta de configuração. Os dispositivos e as suas funcionalidades possuem meios de designar um valor que depois será tipo em conta para a configuração, normalmente através de selectores ou *dip-switchs*. As funções correspondentes que forem configuradas com o mesmo valor serão agrupadas e irão operar em conjunto. A operação em funcionamento é também baseada em objectos de grupos, e estão de acordo com as descrições funcionais para canais e linhas do standard KNX.

Logical Tag Supervised (LTS)

Este modo é indentico ao *Logical Tag Reflex* mas neste caso um supervisor é necessário para cada aplicação, um supervisor pode monitorizar mais do que uma aplicação. Neste caso o supervisor programa nos dispositivos através de endereçamento indirecto os endereços de grupo que eles necessitam para operar em funcionamento normal, utiliza para isso a descrição configurada por cada um.

Modo Automático

Ao contrário dos modos anteriores dedicados a uma instalação fixa, o modo automático é destinado a dispositivos que serão instalados por utilizadores sem o conhecimento técnico de instalações KNX. Deste modo ele providencia mecanismos para os dispositivos definirem automaticamente as suas ligações.

Capítulo 4

Domoitech e Gateway KNX-IP <-> KNX-TP

Neste capítulo são apresentados os dois projectos desenvolvidos em edições anteriores do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores que foram utilizados para testar e implementar a compatibilidade do sistema desenvolvido com o standard KNX.

4.1 - Domoitech

O Domoitech foi um projecto realizado em Julho de 2007 [13] e consistiu na implementação de um sistema domótico de baixo custo, e que fosse compatível com algumas soluções já existentes, nomeadamente o standard KNX. Este projecto utiliza a rede Ethernet como meio físico mas implementando nela o protocolo KNX-TP. Neste, uma trama KNX é transmitida utilizando uma transmissão série assíncrona (RS-232), sendo depois convertida para uma trama Ethernet através de um dispositivo denominado X-Port que faz a conversão entre os dois protocolos.

4.1.1 - Arquitectura do Hardware Domoitech

A arquitectura do Domoitech [13] consiste em uma placa principal aonde se encontra todo o processamento e os vários módulos de interface com o exterior, existem ainda dois tipos de placas secundárias que permitem implementar as entradas e saídas do sistema (Figura 4.1)[4].

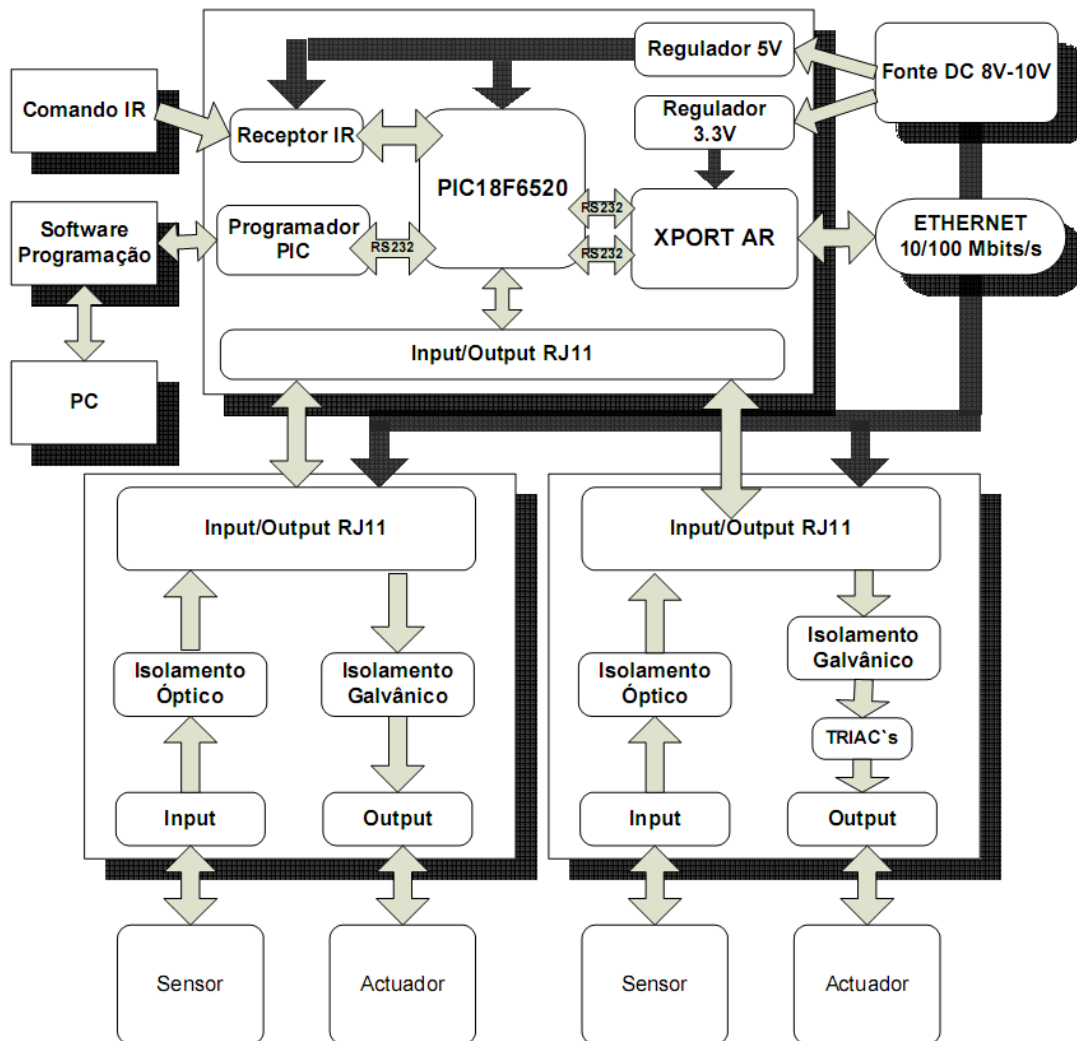


Figura 4.1 - Arquitectura do Domoitech

Placa Principal

A placa principal é responsável pelo processamento de entradas e saídas, assim como pela identificação e processamento das tramas KNX que recebe no seu barramento. Esta permite ligar no máximo 14 dispositivos, podendo estes ser sensores ou actuadores, estando na sua configuração normal 7 sensores e 7 actuadores. Inclui um receptor de infravermelhos que permite controlar os dispositivos através de um comando que implemente o protocolo RC5. Encontra-se ilustrada na figura 4.2 [13].

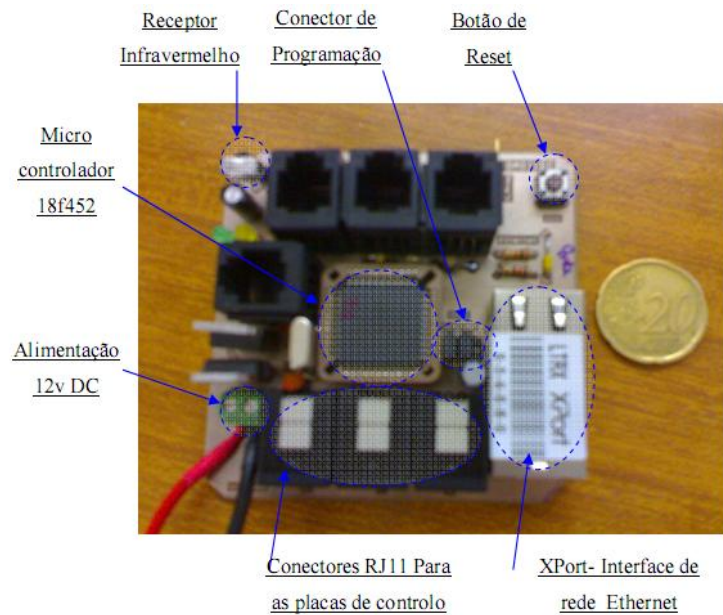


Figura 4.2 - Placa principal Domoitech

Características Técnicas:

- Alimentação 8-12V
- Corrente Max consumida 400mA
- Corrente nominal 200mA
- Saída de Alimentação nos conectores RJ11 5V
- Velocidade de Processamento 20 MHz
- Reconhecimento de comandos infravermelhos RC5
- 7 conectores para dispositivos de controlo externos
- Conector de programação por RS232 e JDM
- Connector Ethernet RJ45 10-base T, 100-base TX
- Arquitectura baseada no micro controlador PIC 18F542 com 512K RAM e 1024K Flash
- Dimensões 73x73x20mm

Placa Saída a Relés

Esta placa realiza o interface entre os dispositivos de potência e a placa principal. A actuação é feita através de relés capazes de comutar correntes até 2 A para tensões de 230V, o que é suficiente para dispositivos que não ultrapassem os 400W. A placa possui duas entradas para sensores e duas saídas para dois actuadores. Encontra-se ilustrada na figura 4.3 [13].



Figura 4.3 - Placa de saída a relés do Domoitech

Características Técnicas:

- Alimentação 5Vdc
- 1 Conector RJ11
- Corrente nominal 50mA
- Duas saídas em relés ($I_{max}=4\text{ A}$, $V_{nom}=230\text{V}$)
- Duas entradas

Placa de saída a Triacs

A segunda placa secundária corresponde a uma placa de saída idêntica à anterior mas aonde a comutação é feita por triac's. Existe um isolamento óptico que protege a parte de controlo da parte de potência. Encontra-se ilustrada na figura 4.4.



Figura 4.4 - Placa de saída a triac's do Domoitech

Características Técnicas:

- Alimentação 5Vdc
- 1 Conector RJ11
- Corrente nominal 20mA
- Duas saídas em triac's ($I_{max}=2\text{ A}$, $V_{m\acute{a}x}=600\text{V}$)
- Duas entradas

4.2 - Gateway KNX-IP <-> KNX-TP

Na sequência do projecto Domoitech, foi desenvolvido um novo projecto [12] que consistiu na implementação de uma gateway que efectua a interface entre uma rede TCP/IP Ethernet e a rede KNX/EIB implementada no Domoitech. Este servidor tem a vantagem de ser multi-plataforma e poder ser desenvolvido em sistemas embebidos de baixo custo, o que o torna uma solução bastante económica.

O meio físico mais utilizado actualmente nos sistemas domóticos KNX é o Twisted Pair (TP), que é implementado com barramento baseado num cabo entrançado, mas a especificação do KNX permite também que este protocolo possa ser implementado sob RS-232, USB (Universal Serial Bus), RF e Ethernet. Devido ao grande aumento da instalação de redes que usam o protocolo de rede TCP/IP sob Ethernet, seria uma grande vantagem utilizar a rede TCP/IP existente para conectar também a rede KNX, aproveitando deste modo a cablagem existente. Com a existência de uma gateway que faça a conversão entre o protocolo KNX sob TCP/IP e o protocolo KNX sob TP é possível, através de sistemas que comuniquem utilizando o protocolo TCP/IP, comunicar com um sistema KNX que comunique utilizando o protocolo TP. É assim possível controlar o sistema remotamente através de um computador com acesso à internet [12].

Com a arquitectura desenvolvida, a gateway, que é implementada em software, pode estar num computador pessoal ou num sistema embebido como é o exemplo do PICOTUX, que é um sistema semelhante a uma X-Port mas que corre o sistema operativo Linux para sistemas embebidos. Visto a gateway ser implementada em software, o projecto de hardware é simples, pois só é necessário um computador para o executar.

O software é desenvolvido na linguagem C e é compatível e facilmente aplicado em sistemas embebidos sem sistema operativo, como o caso de um micro controlador, mas também poderá ser aplicado em sistemas operativos tal como o Linux ou o Windows, bastando que para isso seja propriamente compilado para a plataforma desejada.

4.2.1 Arquitectura da Gateway KNX-IP <-> KNX-TP

A figura 4.5 ilustra a arquitectura implementada no desenvolvimento [12]:

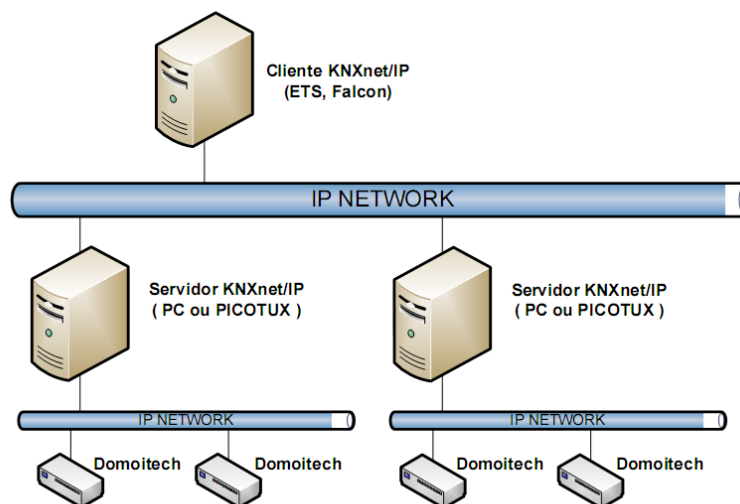


Figura 4.5 - Arquitectura do sistema KNX-TP <-> KNX-IP

O servidor serve como gateway entre o protocolo KNX sob TCP/IP chamado de KNXnet/IP e o protocolo KNX/TP, fazendo a conversão entre as tramas utilizadas pelos dois protocolos. Teoricamente a gateway possui duas portas físicas de rede, uma que se encontra ligada a um barramento que comunique com tramas KNXnet/IP, e uma porta que se encontra ligada a um barramento que comunique através de tramas KNX/TP. Ao receber uma trama, o software encarrega-se de converter essa trama para uma com o formato do outro protocolo, recorrendo ao mapeamento definido em software. A definição de duas portas de rede é meramente teórica pois é possível que o servidor se encontre ligado apenas a um barramento, desde que este suporte a comunicação sob os dois protocolos, como é o caso do barramento Ethernet. Na figura todos os barramentos da rede são um só, encontrando-se separados simplesmente para reforçar a ideia de que são redes diferentes, mas o seu meio físico é o mesmo.

Apesar de não se encontrar referenciado na imagem o servidor é capaz de fazer o interface com qualquer dispositivo que comunique com o protocolo KNX, podendo então este servidor ser utilizado com produtos já existentes no mercado desde que estes possuam a comunicação adequada.

A especificação do KNX define dois tipos de interfaces, que acedem ao meio físico e à camada de ligação lógica respectivamente. O interface de acesso ao meio físico é denominado *Physical External Interface* (PEI) e estabelece as regras de comunicação entre a unidade que contém o interface físico e as restantes camadas do protocolo KNX, este contém as especificações eléctricas, mecânicas e de software que permitem o acesso ao meio físico. O segundo é denominado *comon External Message Interface* (cEMI) e define as regras de comunicação entre a camada lógica e a camada de rede. Deste modo protocolo KNX é independente do meio físico.

Fazendo a conversão entre os PEI do protocolo KNX/TP e do KNX/IP e mantendo o EMI, é possível converter com sucesso as tramas entre os dois protocolos.

Capítulo 5

Especificação da solução

Neste capítulo será especificado o projecto desenvolvido, começando por expor como foi efectuado o mapeamento dos dois protocolos, arquitectura geral com exemplos de funcionamento, implementação e configuração. De seguida será descrito cada módulo do sistema em maior detalhe, especificando o *hardware* e o *software* utilizado.

5.1 - Introdução

Os objectivos a que se propunha na implementação do projecto foram:

- Desenvolvimento de um sistema domótico baseado em tecnologia ZigBee.
- Compatibilidade com sistemas domóticos já existentes, nomeadamente os que se encontrem implementados com o protocolo KNX.
- Desenvolvimento de uma gateway que permita a interacção entre o protocolo KNX/TP e o protocolo ZigBee sob o perfil HA e a criação e manutenção de uma rede sem fios ZigBee.
- Especificação de nós secundários que vão estar presentes na habitação e que contenham sensores e actuadores com entradas e saídas configuráveis pelo utilizador. Estes nós deverão estar especificados segundo a o perfil HA do ZigBee e ser capazes de comunicar com tramas ZigBee de acordo com o perfil.
- Os nós deverão ser capazes de monitorizar e actuar em variáveis discretas e contínuas.
- Os nós deverão possuir um baixo consumo energético de modo a poderem ser utilizados com baterias recarregáveis com pequeno tamanho.
- A configuração de todo o sistema deverá poder ser feita remotamente sem a necessidade de acesso físico ao nó que se deseja configurar.
- Desenvolvimento de um sistema de configuração do sistema de fácil utilização.

5.2 - Arquitectura Geral

Na figura 5.1 encontra-se ilustrado um esquema da arquitectura geral do sistema.

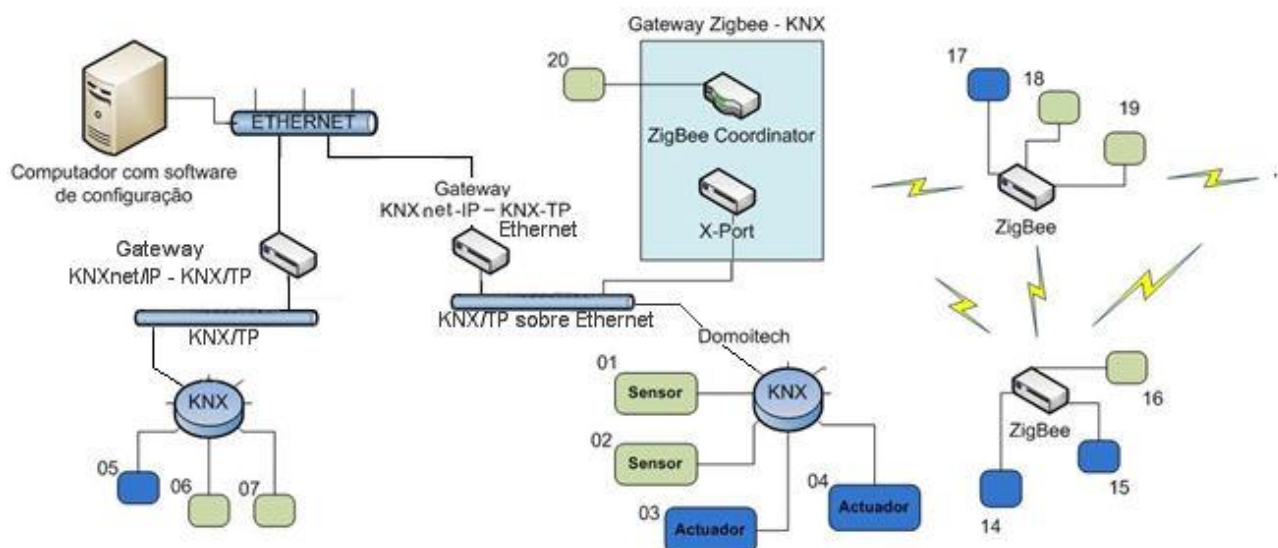


Figura 5.1 - Arquitectura Geral do Sistema

O sistema permitirá a interacção da rede Zigbee com uma rede já existente KNX. No esquema estão representados os sensores e os actuadores, cada um com um número associado, que corresponde ao endereço utilizado pela rede ZigBee para os identificar. O componente central do sistema é a gateway que faz a interface entre o protocolo KNX e a rede Zigbee de acordo com o perfil HA (Home Automation). Na gateway, para além de um micro controlador PIC estão presentes uma antena RF para a rede ZigBee e uma X-Port, que é um conversor Ethernet para Porta de série, que permite receber tramas KNX-TP via Ethernet e as converte para o protocolo RS-232, aonde posteriormente serão processadas pelo micro controlador.

Nesta gateway irá estar presente uma tabela de dados com todos os endereços dos componentes ligados à rede Zigbee, e a cada um desses endereços irá estar associado um endereço KNX, convertendo desta maneira um Communication Object do KNX para um EndPoint do Zigbee, que poderá ser um interruptor, uma luz, uma luz variável, etc.

O sistema é capaz de funcionar autonomamente sem a interacção com componentes do standard KNX, podendo utilizar simplesmente a Gateway ZigBee <-> KNX, que funcionará como coordenador da rede, e os nós ZigBee.

5.3 - Gateway KNX <-> ZigBee

A *gateway* KNX-ZigBee será o interface entre as duas redes, mapeando as entidades de uma rede em outra. Como a gateway deverá lidar com entidades como dados de utilizador, serviços de aplicação e endereçamentos dos dispositivos, são necessárias três funcionalidades básicas: mapeamento de atributos de dados de utilizador, mapeamento de serviços de aplicação e mapeamento de endereços. Tal como descrito em [14] será demonstrado o mapeamento recorrendo a uma trama KNX de um dispositivo de entrada binária, que será convertido para uma trama ZigBee que comunica em *broadcast*, no modo de mensagens de grupo.

O princípio de funcionamento de um sistema KNX e de um sistema ZigBee Home Automation é idêntico, ambos se baseiam numa arquitectura distribuída em que a configuração é efectuada nos seus componentes inteligentes, não existindo um processamento central que faça a gestão da rede. Cada dispositivo possui parâmetros que definem a sua funcionalidade e configuração, fazendo uma conversão entre estes parâmetros para os dois protocolos é possível que dispositivos de ambos comuniquem e interajam.

Mapeamento de atributos

Os DPTs (Data Point Type) definidos no KNX permitem ao utilizador codificar a utilização dos dados de uma forma eficiente, podendo por exemplo um bit de dados ser definido como DPT_Switch (DTP 1.001), DTP_Bool (1.002), DPT_Enable(1.003), etc.. No perfil HA do ZigBee são definidos dispositivos, *clusters*, comandos, atributos e dados de atributos. Uma entrada binária com a mesma função do nó KNX referido será considerada um “On/Off Switch” possuindo cinco categorias de clusters: *On/Off*, *Scenes*, *Groups*, *Identify*, e *On/Off Switch Configuration*, cada um com os seus atributos [14].

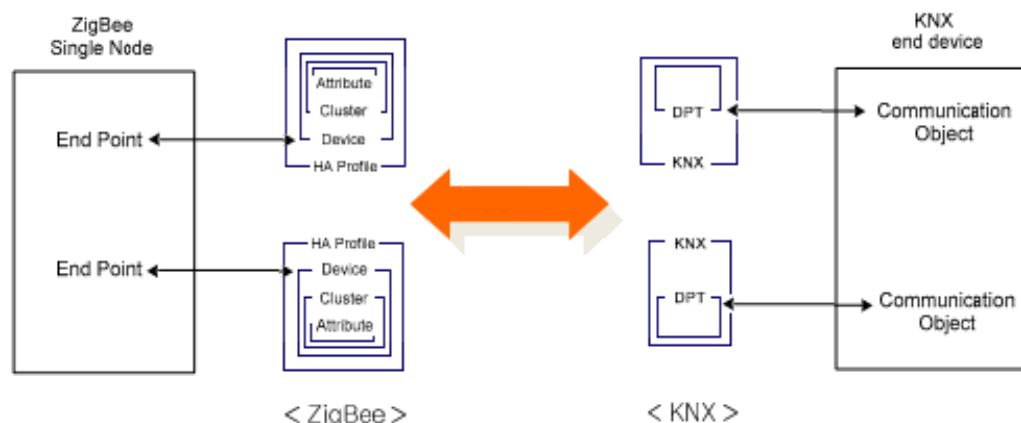


Figura 5.2 - Comparação entre DPTs do KNX e o perfil HA do ZigBee

Na figura 5.3, que se encontra na página seguinte, é demonstrado o mapeamento das tramas referentes aos dois protocolos para uma trama KNX/TP1 com o serviço GroupValueWrite [14].

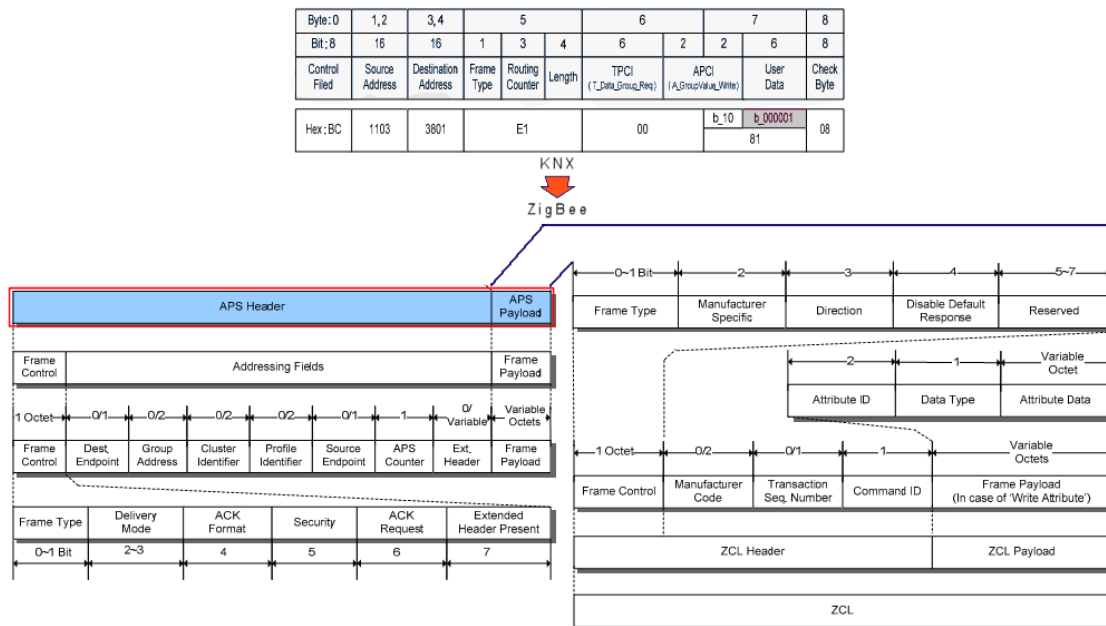


Figura 5.3 - Mapeamento das tramas KNX em ZigBee

A conversão dos atributos será então realizada da seguinte maneira para o exemplo apresentado na figura 5.4 [14]:

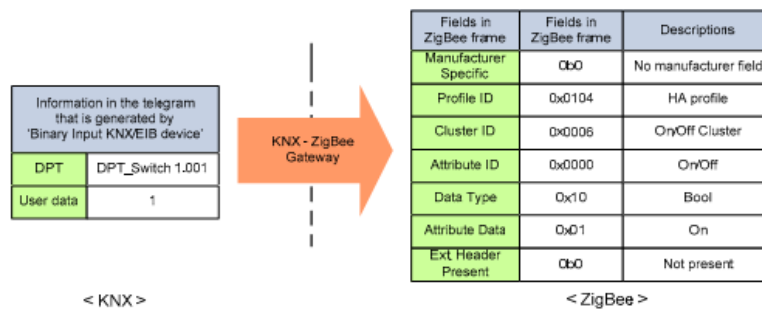


Figura 5.4 - Conversão dos atributos KNX em ZigBee

Mapeamento dos serviços de aplicação

Os serviços de aplicação de ambos os protocolos também necessitam de ser mapeados, já que são estes que permitem a escrita e leitura de valores. Um sistema KNX possui três tipos de serviços que são utilizados em funcionamento normal. Estes são A_GroupValue_Read, A_GroupValue_Response e A_GroupValue_Write. A informação relativa a qual o serviço a ser utilizado encontra-se na trama KNX como APCI (Application Protocol Control Information). O

serviço utilizado para exemplo, A_GroupValue_Write, é mapeado da maneira apresentada na figura 5.5 [14].

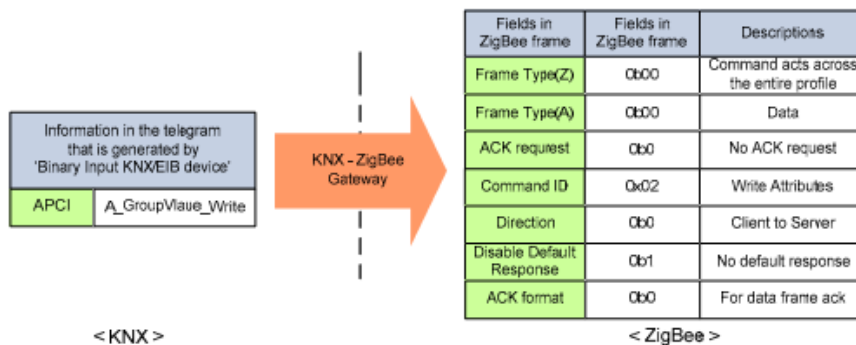


Figura 5.5 - Mapeamento do serviço A_GroupValue_Write

Os restantes serviços KNX implementados, que correspondem aos serviços multicast GroupValueRead e GroupValueReq são serviços de resposta a pedidos, e não existe um mapeamento directo, já que os dados que são pedidos estão armazenados na memória da gateway. Deste modo quando é recebido um pedido, a gateway vai buscar a informação correspondente à memória e envia uma trama KNX de resposta com os dados pedidos.

Mapeamento dos endereços

O KNX utiliza endereços físicos e de grupo de 16 bits. Durante o funcionamento normal, o endereço de origem deverá ser um endereço físico e o de destino um endereço de grupo. O ZigBee utiliza três tipos de endereços: endereço IEEE estendido de 64 bits, endereço de rede de 16 bits e endereço de grupo de 16 bits. Uma vez que tanto o KNX como o ZigBee utilizam um endereçamento de grupo de 16 bits é possível mapear directamente de um para o outro. No caso de exemplo o endereço de destino será igual no ZigBee, não sendo especificado o End Point de destino já que esse se encontra numa tabela que faz a associação entre os grupos e os End Points, de modo a que cada End Point ZigBee receba a mensagem que está destinada ao seu grupo associado.

5.4 - Descrição e Funcionamento dos Componentes

Na figura 5.6 encontra-se o diagrama de blocos com os componentes principais do sistema, os blocos a cinzento já se encontravam desenvolvidos antes do projecto, e foram utilizados para testar a compatibilidade com o protocolo KNX, podendo o sistema funcionar de modo normal sem a interacção com estes. Foi utilizada o mais fielmente possível uma linguagem de modelação estruturada para descrever o sistema, através de diagramas de blocos e máquinas de estado.

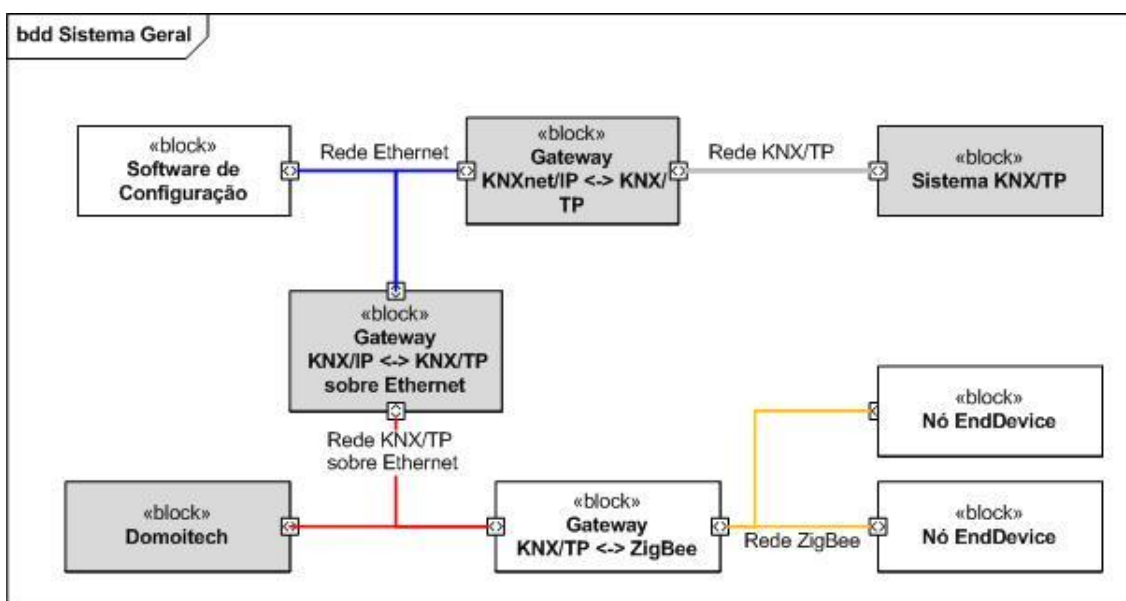


Figura 5.6 - Diagrama de Blocos do Sistema (block definition diagram)

Na figura 5.6 é possível distinguir os três tipos de rede existentes no sistema, assim como os componentes que fazem a conversão entre eles. É de notar que segundo a notação utilizada **bdd** significa *block definition diagram*, os blocos que serão definidos em maior pormenor posteriormente, fazendo parte deste diagrama inicial, serão nomeados de **ibd**, ou seja, *internal block diagram*.

5.4.1 - GateWay ZigBee <-> KNX

A gateway contém um micro controlador PIC18F4630 que contém o *firmware* necessário para a conversão entre o protocolo KNX/TP e o perfil Zigbee HA (Home Automation), contém também a pilha do protocolo ZigBee que permite o envio e recepção de tramas e a criação e respectiva configuração da rede.

O X-Port é um componente que faz a conversão entre as tramas Ethernet UDP e o protocolo série RS-232. Existe também um visor LCD que permite visualizar o número de nós ZigBee que se encontram actualmente ligados ao sistema.

Na figura 5.7 encontra-se um diagrama de blocos com os componentes da Gateway.

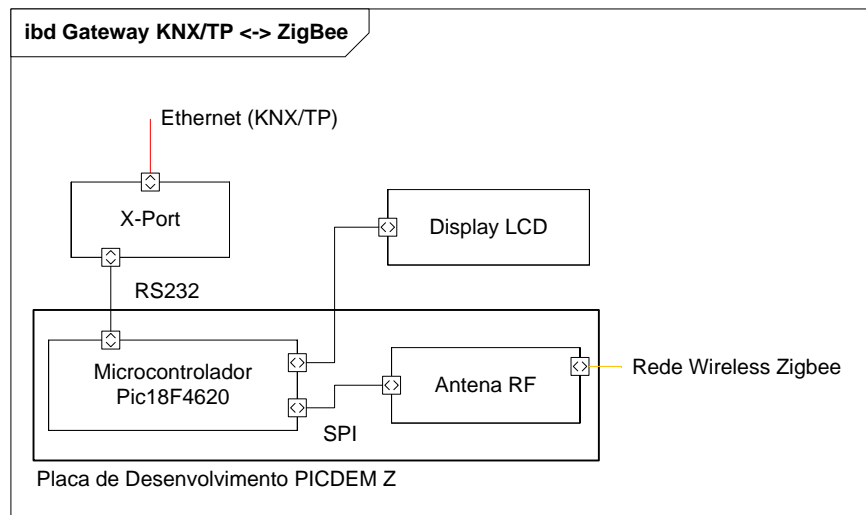


Figura 5.7 - Diagrama de Blocos da Gateway ZigBee <-> KNX

Placa de Desenvolvimento PICDEM Z

Para o desenvolvimento da Gateway foi utilizado como hardware principal a placa de desenvolvimento PICDEM Z da Microchip, esta placa está destinada ao desenvolvimento de projectos com a tecnologia ZigBee, possuindo um micro controlador PIC 18F4620 e um emissor MRF24J40 capaz de transmitir dados a 2.4 GHz (Figura 5.8) [15].



Figura 5.8 - Placa de Desenvolvimento PICDEM Z

A base de processamento da placa de desenvolvimento é um micro controlador PIC 18F4620, que possui características que se destacam em termos de memória elevada e baixo consumo.

Características do PIC 18F4620 [15]:

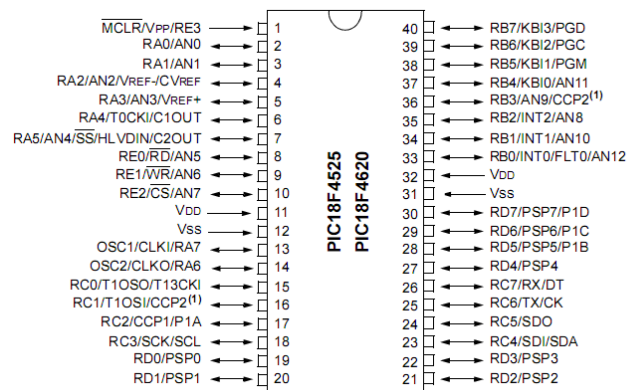


Figura 5.9 - PIC 18F4620

- Memória de Programa : Flash com 60 Kbytes
- Memória RAM : 3968 bytes
- Memória EEPROM : 1024 bytes
- Entradas / Saídas : 36
- Performance até 10MIPS (Milhões de instruções por segundo)
- Arquitetura RISC otimizada para compiladores C
- Modo de funcionamento normal, em espera, ou *sleep*
- Corrente consumida em modo de espera : 5.8 uA
- Corrente consumida em modo *sleep*: 0.1 uA
- 4 Timers, Porta RS232, SPI e I2C

Características da placa RF MRF24J40MA PICDEM Z 2.4GHz



Figura 5.10 - RF MRF24J40MA

- Módulo de rádio IEEE 802.5.14 de 2.4 GHz com suporte para ZigBee
- Interface SPI de 4 fios com micro controladores PIC
- Antena de circuito impresso integrada
- Baixo consumo de corrente (Tx:19mA ; Rx:23mA ; *Sleep*:2uA)
- Mecanismo CSMA-CA implementado em *hardware*
- Acknowledge automático
- Segurança implementada em *hardware* (AES-128)

X-port

A X-Port é configurável através de um browser, telnet ou utilizando um software que pode ser descarregado gratuitamente no página do fabricante. Através do software é possível atribuir um IP à X-Port que será posteriormente utilizado para o seu acesso. Esta foi configurada para utilizar o protocolo Ethernet UDP, e foi definido o IP 192.168.105.99 com a porta 10001 para as suas comunicações.



Figura 5.11 - X-Port

LCD



Figura 5.12 - LCD de 16 por 2 caracteres

Foi utilizado um LCD de 16 por 2 caracteres para permitir a visualização em tempo real dos dados da Gateway. Este componente, ilustrado na figura 5.12, comunica com o micro controlador através de 8 pinos de dados e 2 de configuração e necessita de uma livreria de *software* própria para ser feita a comunicação, que foi desenvolvida consoante os requerimentos do projecto e implementada no código do micro controlador.

Software da Gateway

Na imagem 5.13 encontra-se um esquema geral da estrutura de software, existem vários módulos, cada um com a sua função específica. O módulo relativo ao ZigBee, que é responsável por receber e enviar mensagens, e processar todas as informações relativas ao ZigBee. Existe também um módulo relativo ao KNX, em que estão englobadas todas as funções relativas ao processamento e troca de mensagens KNX.

A interacção entre estes dois módulos principais é feita através de *buffers* de recepção e envio de dados, que são responsáveis por colocar os dados em espera enquanto o micro controlador estiver a executar outras funções.

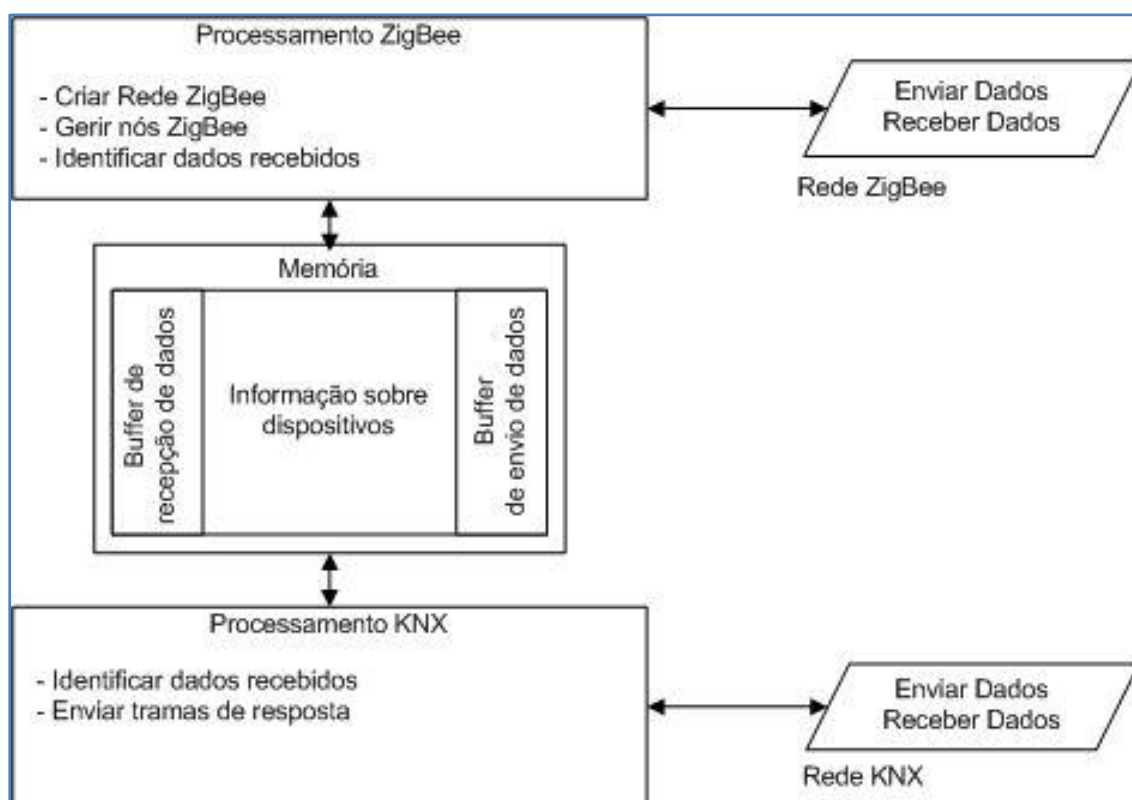


Figura 5.13 - Esquema geral do Software

A base do programa da Gateway é a tabela AGEP (Adress Group to End Point), esta tabela presente na memória contém a informação de todos os nós presentes no sistema, assim como da sua associação com os endereços de grupo KNX (AG), sendo então responsável pelo mapeamento entre os endereços e End Points ZigBee e os endereços físicos utilizados pelo KNX. De seguida, na tabela 3, é demonstrado um exemplo da sua estrutura.

AG (Address Group)	EP (EndPoint)	Endereço ZigBee LSB	Endereço ZigBee MSB	Endereço KNX	Valor
01	1	135	124	7	1
01	3	412	012	8	1
03	4	864	750	9	70
03	1	111	021	11	100
1	2	023	022	12	1

Tabela 3 - Tabela AGEp

O micro controlador é responsável por guardar o valor da tabela na memória, assim como os dispositivos que se encontram desligados, para que deste modo não seja necessário proceder a uma nova configuração quando a gateway é reiniciada.

Programa Principal

O programa que se encontra a correr ciclicamente quando a Gateway está em funcionamento é composto principalmente por dois grupos, o de processamento relacionado com o ZigBee e o de processamento das tramas KNX. O funcionamento do programa será explicado através de uma máquina de estados devidamente comentada.

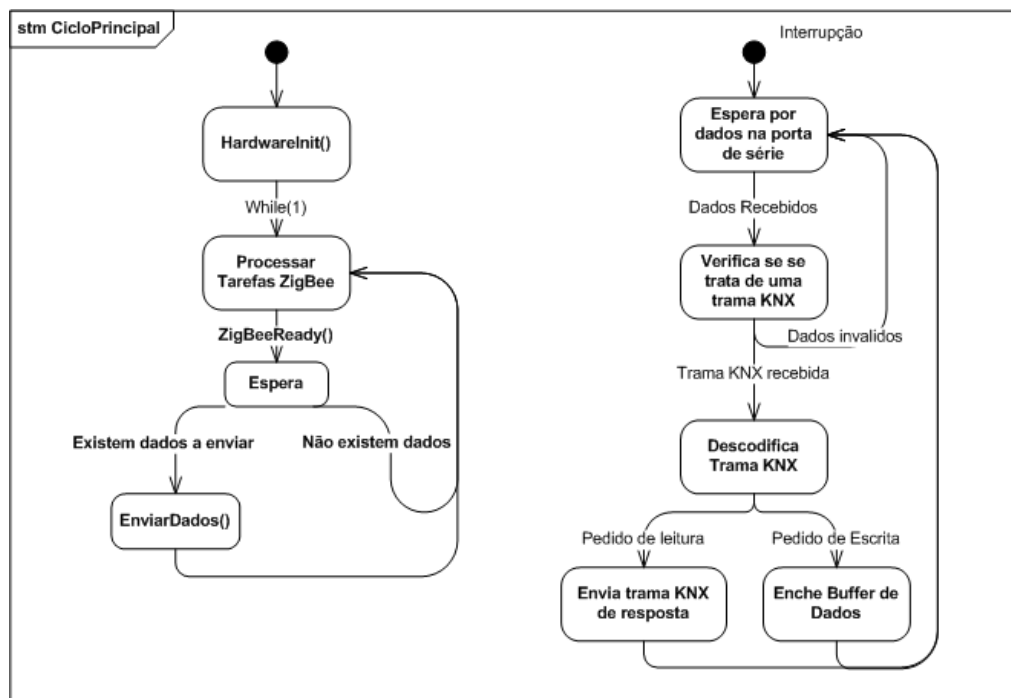


Figura 5.14 - Máquina de Estados Principal

Na figura 5.14 encontra-se ilustrado o ciclo de funcionamento normal da Gateway. Quando a Gateway é ligada à alimentação é feita a inicialização de todo o seu hardware, definindo as direcções de portas, inicializando as interrupções e configurando devidamente o SPI, a porta de série e o interface com o emissor ZigBee. De seguida o programa entra num ciclo que processa as tarefas relacionadas com o ZigBee, este ciclo será explicado

posteriormente. Após estarem concluídas as tarefas relacionadas com o ZigBee o micro controlador verifica se o buffer de envio de dados se encontra vazio ou não, caso este contenha dados é corrido o processo que envia os dados, que também será explicado posteriormente.

Se durante este ciclo se der uma interrupção na porta de série, o micro inicia o processo de verificação dos bytes recebidos para saber se se trata de uma trama KNX, caso tenha recebido uma trama KNX procede com a sua descodificação, retirando da trama elementos importantes como os endereços de origem e destino, o endereço de grupo de destino e o tipo de serviço KNX. De seguida, consoante o tipo de serviço recebido, será tomada a resposta adequada. Caso seja recebido um pedido de leitura, o programa verifica qual o endereço KNX a que é feito o pedido e vai à tabela AGEP verificar se esse endereço existe na Gateway, caso exista, é gerada uma trama KNX de resposta com o valor pretendido retirado da tabela. No caso de ser recebido um pedido de escrita, é verificado qual o endereço de grupo em que se pretende escrever e é feita a alteração na tabela AGEP, de seguida o programa verifica quais os dispositivos que têm esse endereço de grupo associado na tabela e preenche o buffer de envio de dados com esses endereços, enviando de seguida os dados.

Processamento das Tarefas ZigBee

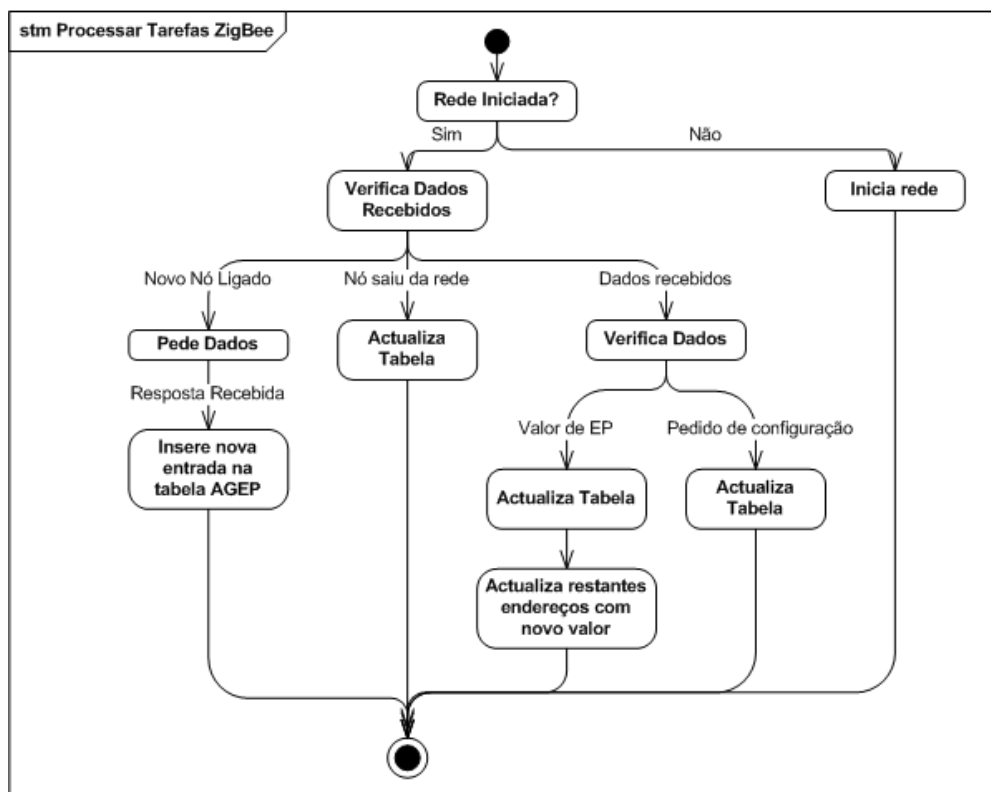


Figura 5.15 - Máquina de Estados das tarefas ZigBee

Na figura 5.15 encontra-se o diagrama do processamento das tarefas ZigBee que ocorre em todos os ciclos do micro controlador. Ele começa por verificar se uma rede já foi criada, caso contrário cria uma nova rede local ZigBee.

De seguida são verificados o tipo de dados recebidos, que podem ser:

Novo Nó - Quando é dada a indicação de que um novo nó se juntou à rede, a Gateway envia uma trama ZigBee a perguntar as suas informações, nomeadamente quais os EndPoints activos do nó e o seu tipo de dados. Depois de recebida essa informação, a Gateway insere uma nova entrada na Tabela AGEP para cada EndPoint do nó, com o endereço ZigBee de dois bytes, um endereço de grupo com um valor predefinido de 0 e um endereço KNX que ainda não esteja atribuído. Caso o endereço já exista na tabela apenas é actualizada a informação, colocando-o como ligado.

Nó saiu da rede - Quando é recebida a informação de que um nó sai da rede, é actualizada a tabela dando o nó como não presente.

Dados recebidos - Quando são recebidos dados, primeiro é identificado o endereço de origem e de seguida qual o seu End Point de destino. É então identificado qual o endereço de grupo associado ao endereço que enviou a mensagem e é actualizado o valor na tabela AGEP. De seguida é enchido o buffer de envio de dados com os endereços dos restantes nós associados a esse endereço de grupo para que o valor seja actualizado, é também enviada uma trama para o barramento KNX contendo o serviço de escrita com o valor recebido e o endereço de grupo do nó que enviou a mensagem.

Envio de Dados

Quando o programa preenche o buffer de envio de dados é activada uma *flag* específica, que é verificada depois de processadas as tarefas do ZigBee, esta *flag* só é colocada a 0 quando o buffer de envio de dados se encontra vazio. O programa verifica então o buffer que contém os endereços dos nós aos quais serão enviados os dados e envia o valor correspondente ao seu endereço de grupo na tabela AGEP. A cada ciclo do micro controlador apenas é enviada uma mensagem. Devido à grande velocidade de processamento do micro controlador este processo é executado com grande rapidez e a actualização dos nós é praticamente instantânea quando observada por um humano.

Processo de recepção de dados

Na seguinte figura será demonstrado em maior pormenor o processo do programa quando recebe uma trama KNX e quais as suas funções envolvidas, seguindo-se a descrição das funções.

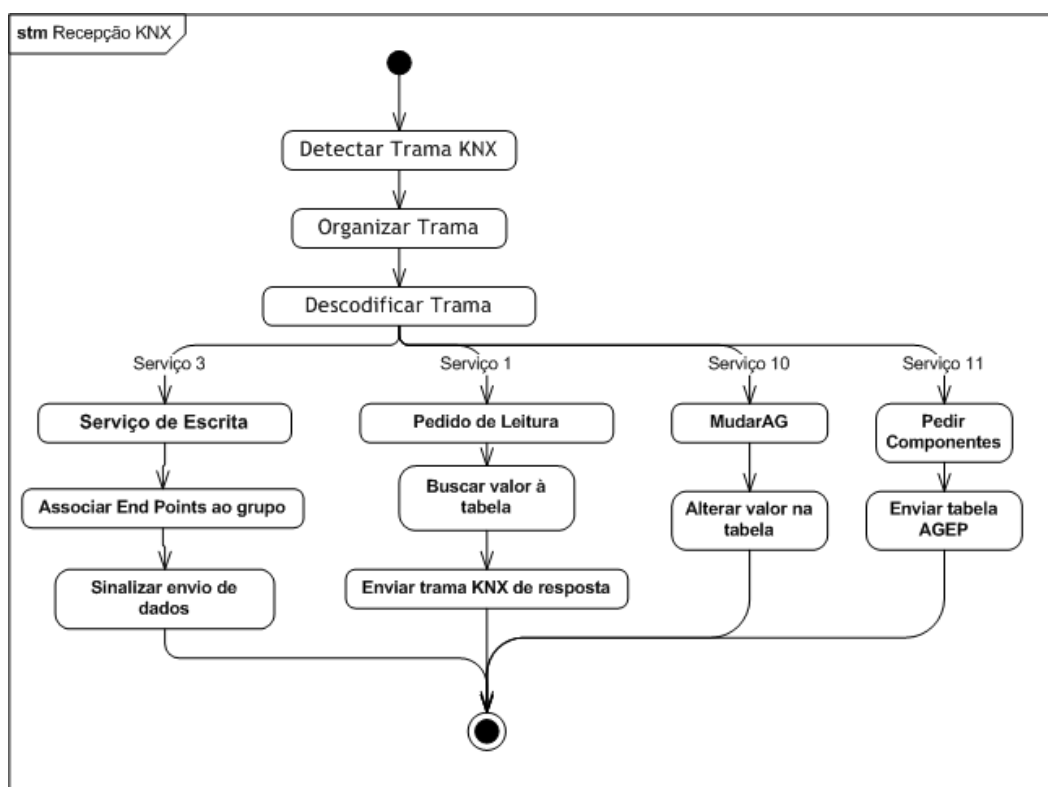


Figura 5.16 - Máquina de Estados da recepção KNX

Quando mais de 8 bytes de dados são recebidos pela porta de série é chamada uma função que origina das bibliotecas do EIB e é responsável por verificar se a trama recebida se trata de uma trama de dados válida. De seguida é chamada a função irá obter todas as informações necessárias da trama recebida, nomeadamente, endereço de origem, endereço de destino, serviço EIB correspondente e o valor. O número dos serviços foi mapeado correspondendo ao bit 1 e 2 do byte 6 e ao bit 7 e 8 do byte 7 da trama EIB.

Serviço 3: O serviço 3 corresponde ao serviço de escrita, pelo que de seguida é chamada a função que é responsável por preencher o buffer de envio de dados com os endereços dos nós que estejam associados ao endereço de grupo recebido na trama KNX. De seguida é activada a flag que sinaliza ao ciclo principal que existem dados no buffer para ser enviados.

Serviço 1: O serviço 1 corresponde ao pedido de leitura de dados, para este serviço o programa executa a função GetAGValue com o endereço de grupo ao qual foram pedidos os valores e a função retorna o valor associado a esse grupo na tabela AGEp. De seguida é enviada uma trama de resposta com o valor pedido.

Serviço 10, Serviço 11: Os serviços 10 e 11 correspondem a serviços EIB que podem ser definidos pelo utilizador e foram implementados neste projecto para interagir com o programa de configuração via Ethernet, que envia tramas EIB. Quando é recebido o serviço 10 é feito um pedido de alteração de endereço de grupo, tendo como entradas um endereço KNX presente na tabela. O serviço 11 é executado pelo software para pedir os valores da tabela AGEp.

De seguida é demonstrado um exemplo de escrita de dados para a tabela AGEP apresentada na tabela 3.

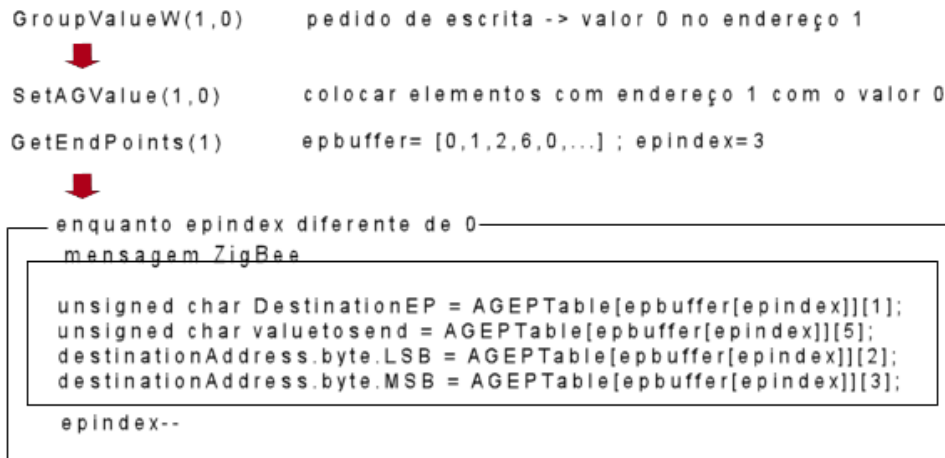


Figura 5.17 - Exemplo da sequência do programa

5.4.2 - Módulos ZigBee

Os restantes componentes correspondem aos módulos ZigBee que constituem o sistema domótico, sendo compostos por nós com sensores e actuadores que trocam mensagens ZigBee com o coordenador para depois este actualizar o sistema conforme a sua configuração. De seguida, na figura 5.17, encontram-se os vários componentes projectados.

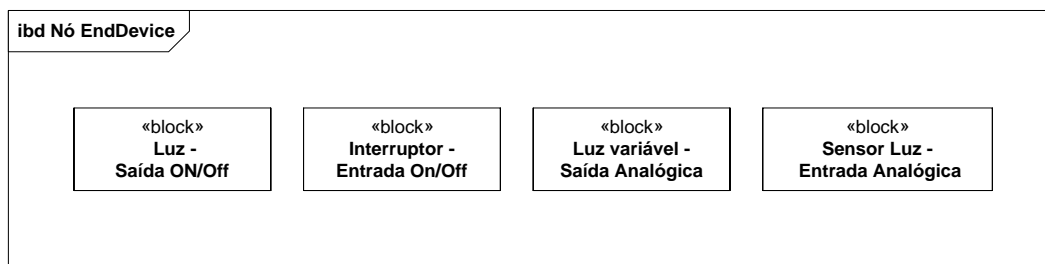


Figura 5.18 - Nós ZigBee

É possível considerar estes nós como apenas EndPoints, ou seja, como uma funcionalidade de um certo dispositivo, pois é possível obter mais do que uma destas funcionalidades, podendo por exemplo, um nó conter um sensor de temperatura, um sensor de presença e uma saída ON/Off, correspondendo então a três EndPoints diferentes e sendo identificados como três endereços diferentes pelo sistema, estando a cada um atribuído um endereço KNX diferente, apesar de se encontrarem todos no mesmo dispositivo físico.

Luz - Saída On / Off

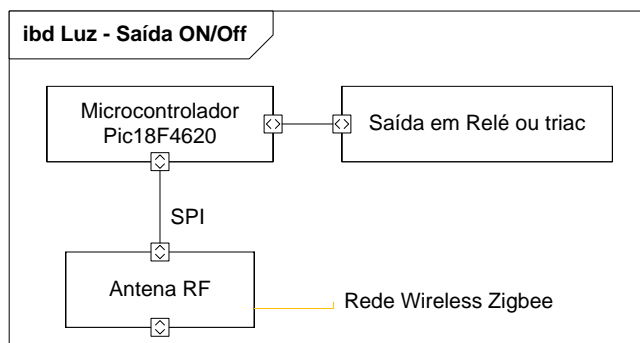


Figura 5.19 - Luz - Saída On/Off

A figura 5.18 identifica os componentes deste nó, que é constituído pelo micro controlador PIC18F4620 em conjunto com a antena RF da Microhip. A saída digital do micro controlador é depois acoplada a um driver com relés ou triacs, dependendo da carga a ser utilizada.

O software funciona de uma maneira similar à gateway, mas de um modo muito mais simplificado, pois não contem o processamento relacionado com o KNX ou o processo de

coordenação da rede ZigBee. Possui também um ciclo para as tarefas ZigBee e processa depois as saídas conforme a mensagem ZigBee recebida.

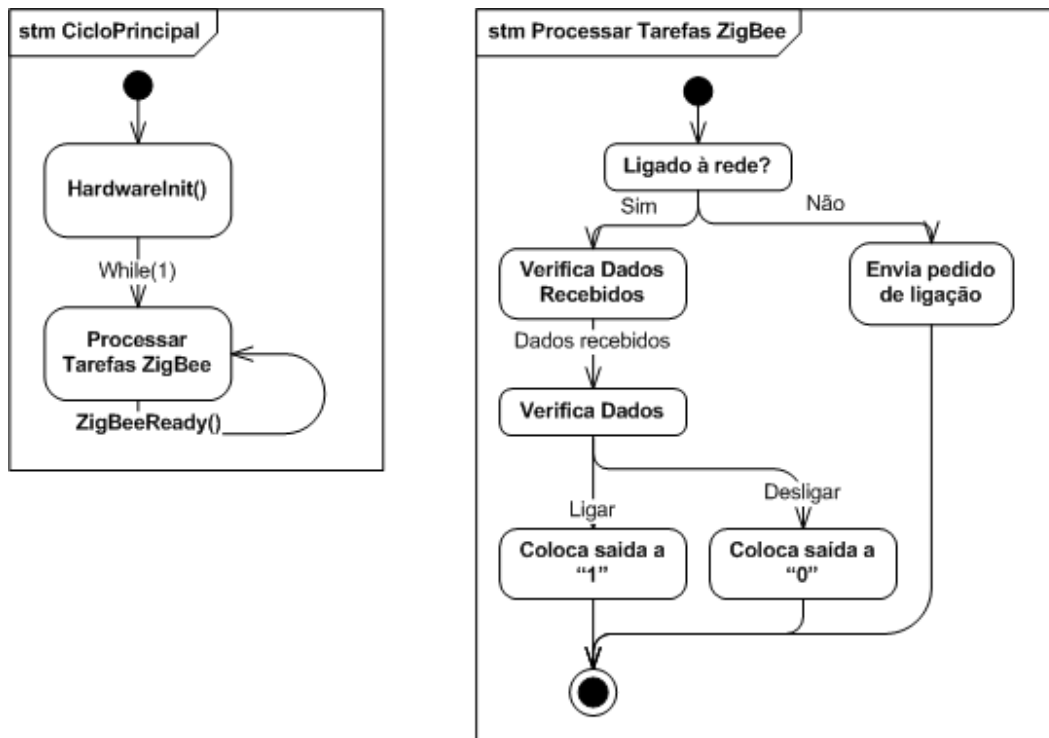


Figura 5.20 - Funcionamento do nó de saída binária

Perfil Home Automation :

Device Utilizado : On/Off Output

Cluster Utilizado : ON of OFF commands for Switch Remote Control (Entrada)

Data Point KNX associado: Valor binário (bool)

Utilização: Este é o nó mais utilizado no sistema pois permite o controlo de qualquer carga que esteja acoplada à sua saída.

Alimentação: Este nó poderá funcionar com baterias ou ligado à rede eléctrica da casa através de um transformador de tensão. Como ele normalmente se encontra junto à rede eléctrica da casa, é aconselhável utilizar a alimentação da rede, poupando na manutenção e fazendo as alterações apropriadas ele também poderá funcionar como router ZigBee, aumentando o alcance da rede. Caso seja necessário o controlo portátil do nó, ele deverá ser alimentado a baterias e será feita a alteração para que quando não esteja em uso o nó entre em modo *sleep* para poupança de bateria, acordando periodicamente e pedindo os dados ao coordenador da rede,

Interruptor - Entrada On / Off

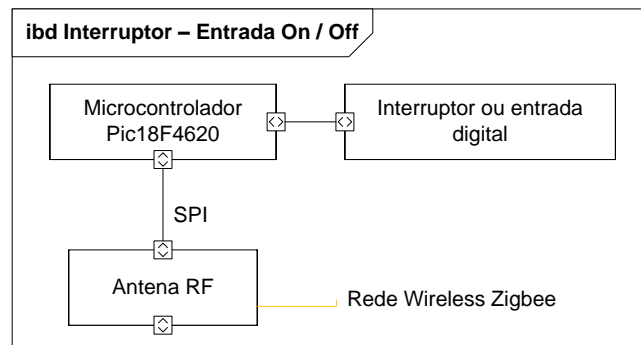


Figura 5.21 - Interruptor - Entrada On / Off

O nó com a funcionalidade de entrada binária também é constituído pelos mesmos componentes do nó anterior, sendo a sua base o micro controlador PIC18F4620 em conjunto com a antena RF. Neste caso irá estar acoplado a uma entrada digital do micro controlador um interruptor ou um sinal digital de 0 - 5V de outro dispositivo electrónico, que quando colocado a "1" irá causar uma interrupção no programa a correr ciclicamente no micro controlador.

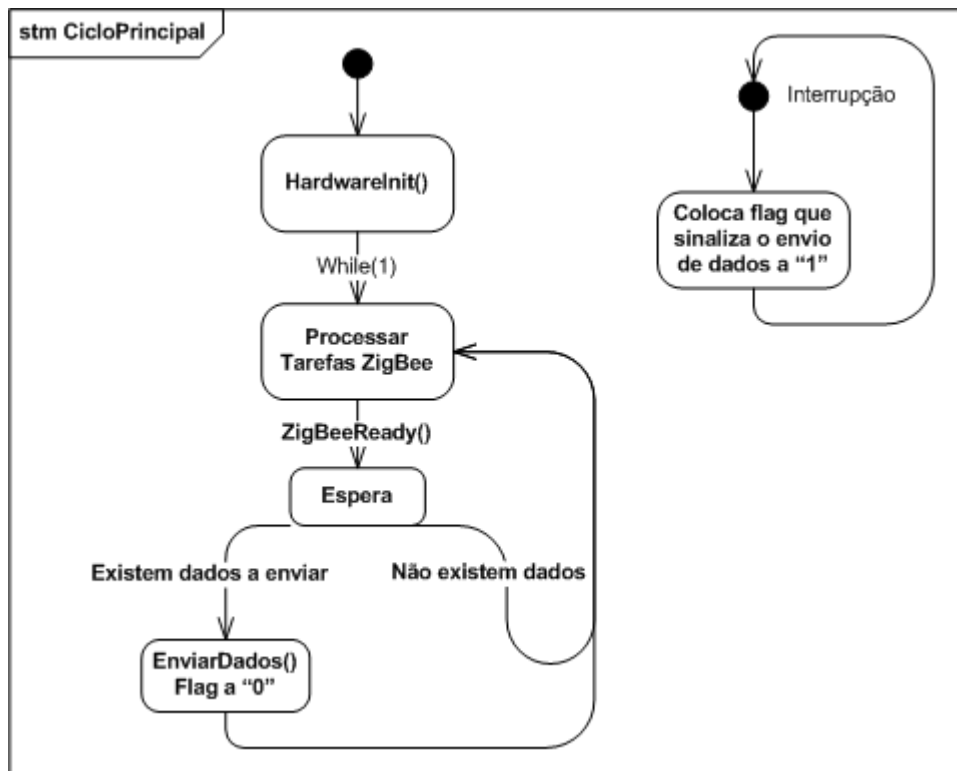
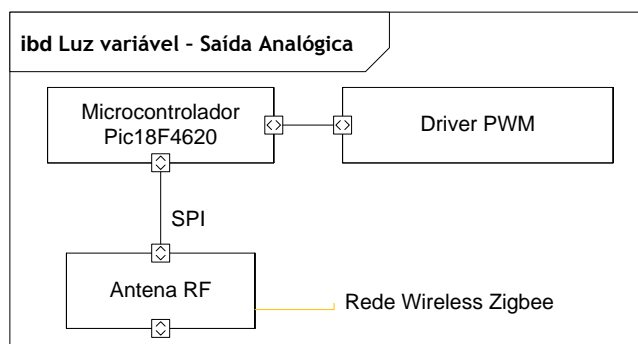


Figura 5.22- Funcionamento do Interruptor - Entrada On / Off

Perfil Home Automation :**Device Utilizado :** On/Off Switch**Cluster Utilizado :** ON of OFF commands for Switch Remote Control (Saída)**Data Point KNX associado:** Valor binário (bool)

Utilização: Este é, em conjunto com o nó anterior, um dos nós mais utilizados no sistema pois permite a interacção humana com a Gateway e os outros nós. Desde a sua utilização básica quando associado a um interruptor, o que lhe permite ligar e desligar luzes e outros aparelhos, até utilizações mais avançadas quando utilizado em conjunto com dispositivos como sensores de presença, de incêndio ou de arrombamento.

Alimentação: Este nó poderá funcionar com baterias ou ligado à rede eléctrica da casa através de um transformador de tensão, dependendo da sua funcionalidade. Para situações em que o nó se encontre poucas vezes em funcionamento, como o caso dos interruptores, é possível manter o nó num estado *sleep* constante, que seja interrompido quando é pressionado o botão, enviando a mensagem e voltando ao modo *sleep*, deste modo é possível garantir um funcionamento com um baixo consumo energético, podendo ao mesmo tempo permitir funcionalidades interessantes como interruptores portáteis, o que em conjunto com os sensores de presença pode permitir a um utilizador, sempre que carregue no interruptor, apenas ligue e desligue a luz da divisão aonde se encontra.

Luz variável - Saída Analógica**Figura 5.23** - Luz variável - Saída Analógica

O nó com a saída contínua, que normalmente é utilizado para controlar a intensidade de uma luz, é idêntico estruturalmente ao nó com saída binária, mas neste caso, o micro controlador coloca numa porta de saída um sinal *Pulse Width Modulation* (PWM) que se encontra acoplado a um driver, podendo este ser um simples transístor, dependendo da carga a ser controlada.

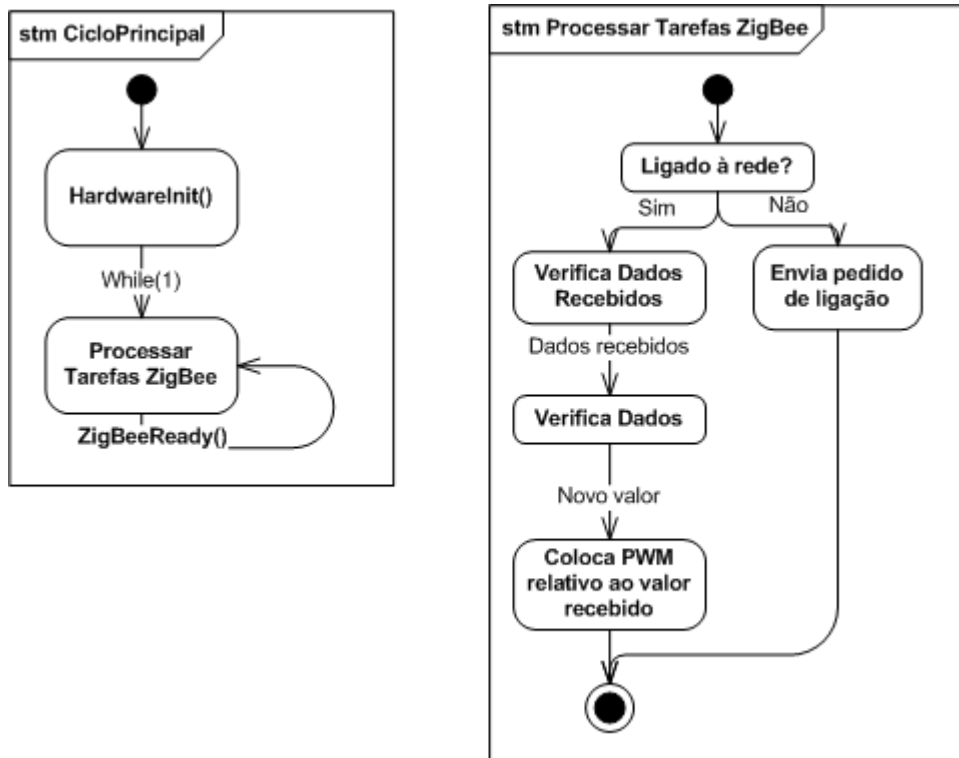


Figura 5.24 - Funcionamento da Luz variável - Saída Analógica

Perfil Home Automation :

Device Utilizado : Level Controllable Output

Cluster Utilizado : Presets Lighting Level for Dimmer Remote Control (Entrada)

Data Point KNX associado: Valor Analógico (long)

Utilização: Este nó permite o controlo de uma variável contínua, podendo esta ser uma intensidade luminosa ou uma temperatura.

Sensor Luz - Entrada Analógica

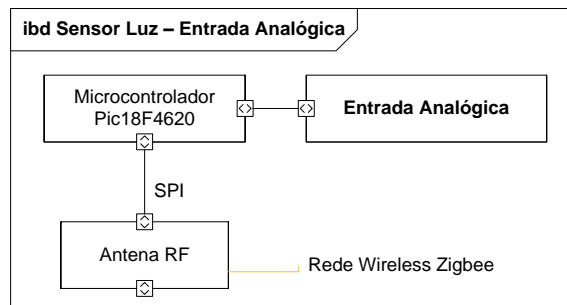


Figura 5.25 - Sensor Luz - Entrada Analógica

O último tipo de nó presente no sistema corresponde ao nó com uma entrada analógica que é transmitida periodicamente ao coordenador, o micro controlador possui uma tensão acoplada a uma porta de entrada que depois através do seu conversor Analógico - Digital converte para um valor que é de seguida transmitido via ZigBee.

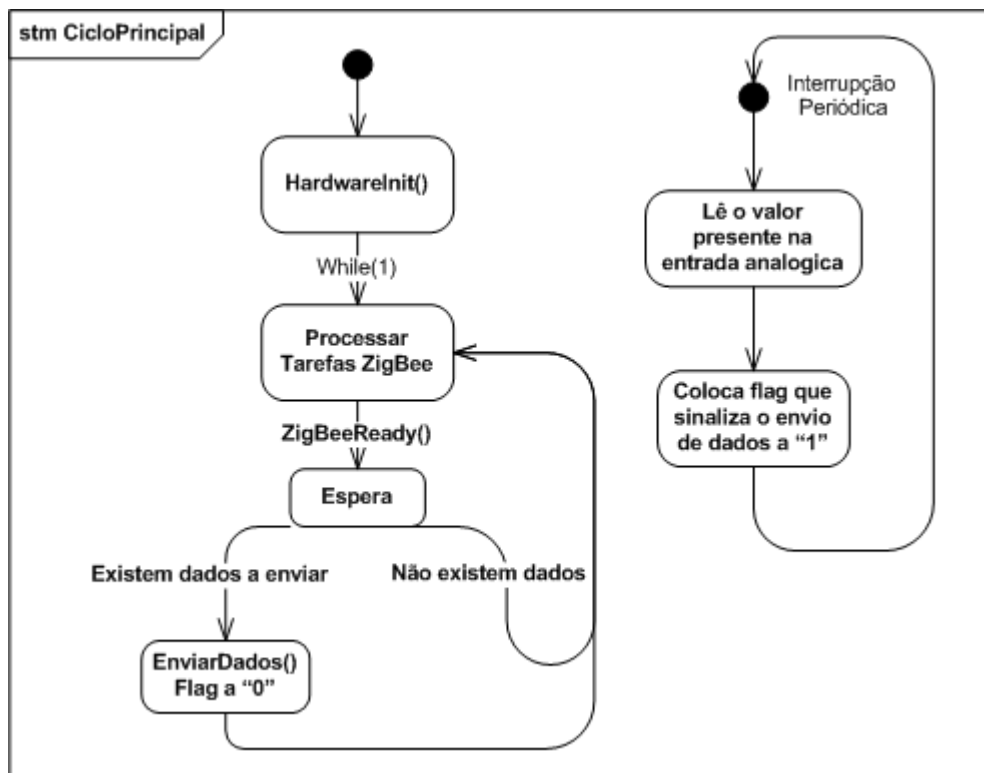


Figura 5.26 - Funcionamento do Sensor Luz - Entrada Analógica

Perfil Home Automation :

Device Utilizado : Level Control Switch

Cluster Utilizado : Current Light Level reading for Light Sensor Monochromatic (Saída)

Data Point KNX associado: Valor Analógico (long)

Utilização: Este nó permite obter informação sobre o valor de tensão presente numa entrada do micro controlador, normalmente este valor corresponde à saída de um sensor, podendo este ser de intensidade luminosa, de temperatura, ou de qualquer outra variável analógica.

Alimentação: Este nó poderá funcionar com baterias ou ligado à rede eléctrica da casa através de um transformador de tensão, como é suposto funcionar periodicamente, poderá operar a baterias e estar constantemente em modo *sleep*, apenas entrando em modo de funcionamento normal quando necessitar de enviar dados.

De seguida é exemplificado o processo do envio de uma mensagem ZigBee para um End Point presente em outro nó. A mensagem é similar a todos os nós, variando apenas o cluster que é enviado, os End Points de origem e destino e o evento que envia o código, sendo por exemplo que num interruptor, este código é executado quando ocorre a interrupção associada à entrada correspondente no micro controlador.

```
// É executada a função ZigBeeBlockTx() para garantir que apenas é enviada uma mensagem
ZigBeeBlockTx();

// De seguida é indicado que se trata de uma mensagem Key Value Pair, que ao invés do formato MSG
define mensagens com um formato estipulado para uma transição mais eficaz
TxBuffer[TxData++] = APL_FRAME_TYPE_KVP | 1;

TxBuffer[TxData++] = APLGetTransId(); // Pede um numero de identificação à camada inferior

// Indica o tipo de commando a enviar e o tipo de dados
TxBuffer[TxData++] = APL_FRAME_COMMAND_SET | (APL_FRAME_DATA_TYPE_UINT8 << 4);

// Define o Cluster e o atributo a enviar, neste caso é enviado um Cluster para um interruptor
TxBuffer[TxData++] = OnOffSRC_OnOff & 0xFF; // Attribute ID LSB
TxBuffer[TxData++] = (OnOffSRC_OnOff >> 8) & 0xFF; // Attribute ID MSB
TxBuffer[TxData++] = LIGHT_TOGGLE;

// Identifica o endereço e o End Point de destino
params.APSDE_DATA_request.DstAddrMode = APS_ADDRESS_16_BIT;
params.APSDE_DATA_request.DstEndpoint = EP_LIGHT;
params.APSDE_DATA_request.DstAddress.ShortAddr = destinationAddress;

//Define os parametros de envio e indica o End Point e Cluster de origem
params.APSDE_DATA_request.ProfileId.Val = MY_PROFILE_ID;
params.APSDE_DATA_request.RadiusCounter = DEFAULT_RADIUS;
params.APSDE_DATA_request.DiscoverRoute = ROUTE_DISCOVERY_ENABLE;
params.APSDE_DATA_request.TxOptions.Val = 0;
params.APSDE_DATA_request.SrcEndpoint = EP_LIGHT;
params.APSDE_DATA_request.ClusterId = OnOffSRC_CLUSTER;

//Indica à pilha ZigBee que existem dados a enviar, esta encarrega-se de enviar os dados presentes no
TxBuffer[] com os parameros de envio definidos
currentPrimitive = APSDE_DATA_request;
```

5.4.3 - Software de Configuração

A configuração de toda a rede ficará a cargo de um PC com o *software* de configuração desenvolvido para a rede ZigBee. Este software pode comunicar com a Gateway ZigBee <-> KNX através de uma rede Ethernet. O software de configuração obtém a informação de todos os nós Zigbee conectados à Gateway, recolhendo informação sobre o seu endereço na rede, o seu endereço KNX atribuído e os seus EndPoints, com as respectivas funcionalidades. Depois o utilizador poderá seleccionar o EndPoint desejado e atribuir um endereço de grupo KNX a cada, podendo deste modo agrupar os componentes em grupos funcionais, e ficando o sistema a funcionar como um sistema KNX.

Também é possível criar interações lógicas entre os grupos, obtendo deste modo uma maior funcionalidade. Por exemplo pode ser definido que um endereço de grupo de se encontre sempre com o valor inverso a outro, deste modo quando se acender uma luz associada a um endereço de grupo, apaga-se uma luz no endereço de grupo complementar.

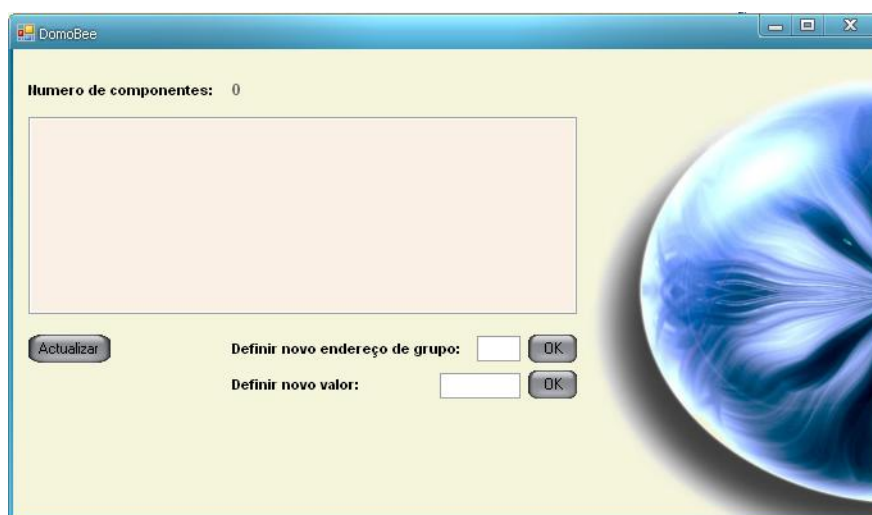


Figura 5.27 - Software de configuração

O software foi desenvolvido para o sistema operativo Windows através do Microsoft Visual Studio Express. A linguagem de programação escolhida foi o C#, pela sua grande modularidade e facilidade de implementação.

O software permite a conexão ao sistema através de uma ligação Ethernet, utilizando o protocolo de transmissão de dados UDP. Cada comunicação apenas necessita de utilizar uma trama UDP, pois o número de bytes a enviar corresponde a uma trama KNX/TP, que possui normalmente 8 bytes.

Depois de conectado com sucesso à Gateway, o software envia uma trama que faz um pedido dos nós que se encontram ligados ao sistema. A Gateway encontra-se programada para responder a esse serviço, enviando os dados sobre todos os nós que se encontram ligados. Com essa informação é construída uma tabela que contém todas as informações sobre os nós, sendo esta idêntica à tabela AGEP presente na Gateway. De seguida é possível seleccionar um

nó da tabela e atribuir-lhe um endereço de grupo, podendo deste modo configurar todo o sistema.

A associação dos nós presentes na tabela aos dispositivos físicos é feita recorrendo ao endereço ZigBee, pois o dispositivo possui uma etiqueta com esse endereço, pelo que se pode identificar facilmente no software a qual dispositivo pertence cada entrada na tabela.

Para testes ou o futuro desenvolvimento de um software de controlo domótico, também é possível enviar tramas KNX com novos valores para os grupos, sendo possível alterar o estado de qualquer dispositivo ZigBee presente no sistema.

Deste modo o sistema comporta-se como um sistema KNX *Logical Tag Reflex (LTR)*, pois para um sistema KNX externo todos os nós possuem maneira de configurar o seu próprio endereço.

5.4.4 - Dados técnicos do sistema Domótico Baseado em Redes ZigBee

Gateway

Fonte de alimentação

- Entrada: DC 9V (Pilha ou Transformador de tensão)
- Corrente média consumida: 300mA

Entradas

- Dois interruptores com funcionalidade definida pelo utilizador (2 End Points) .
- Entrada Ethernet para comunicação com barramento KNX e software de configuração.

Saídas

- Dois Leds com funcionalidade definida pelo utilizador (2 End Points).
- Um Led para indicação de rede ZigBee em funcionamento.
- Um Led para indicação de dispositivo ligado.
- Um Lcd para indicação de dados de funcionamento, como “Rede criada”, “Novo Nó na rede” e o número actual de nós ligados à rede.

Funcionalidades

- Capacidade de criar uma rede ZigBee automaticamente e reencaminhar todas as mensagens relativas aos nós, fazendo o interface entre os endereços de grupo associados. Deste modo a Gateway comporta-se como um coordenador ZigBee.

- Configuração dos nós efectuada pelo software próprio, com interface Ethernet.
- Permite a ligação de um 50 nós ao sistema, número limitado pela memória do micro controlador, mas que pode ser ampliada se necessário, até um limite máximo de 65000, imposto pelo endereçamento utilizado na rede ZigBee.
- Permite interacção com redes KNX, sendo compatível com todos os serviços multicast.
- Comporta-se como vários dispositivos KNX com configuração *Logical Tag Reflex (LTR)*, sendo que o endereço de cada dispositivo se encontra associado a um nó ZigBee presente na rede.

Nós ZigBee

Fonte de alimentação

- Entrada: DC 9V (Pilha ou Transformador de tensão)
- Corrente média consumida: 30mA

Entradas (Dependente dos End Points utilizados no nó)

- Interruptor (End Point de entrada binária).
- Entrada Analógica (End Point de entrada analógica).

Saídas (Dependente dos End Points utilizados no nó)

- Saída digital 0-5V (End Point de saída binária).
- Saída analógica (End Point de saída analógica).

O limite de End Points por nó é de 254, que é imposto pelo número de bits utilizado no endereçamento pela rede ZigBee. Os End Points podem ser virtuais ou físicos, no caso de serem físicos o seu número é limitado pelo número de entradas e saídas disponíveis.

Funcionalidades

- Ligação automática a uma rede ZigBee criada pela Gateway predefinida.
- Caso o nó se desconecte da rede, é feita uma ligação automática à rede quando o nó esteja de novo disponível, mantendo o endereço antigo.
- Para cada End Point implementado no nó é possível definir entradas e saídas, analógicas ou digitais.
- Todos os nós que possuam apenas End Points de saída permitem que o micro controlador entre em modo *sleep* de poupança de energia sempre que o nó não esteja em funcionamento. O nó entra em funcionamento quando é gerada uma interrupção associada à sua entrada.
- Um nó poderá funcionar como router, possibilitando o reencaminhamento dos pacotes.

Capítulo 6

Implementação e testes

A implementação do projecto foi feita baseando-se na plataforma de desenvolvimento PICDEM Z da Microchip, que contém todo o hardware necessário para desenvolver aplicações ZigBee. Deste modo, com a ajuda do MPLAB, que é o software proprietário da Microchip destinado à programação dos micro controladores PIC, foi possível desenvolver os programas referentes à gateway e aos módulos ZigBee, e programar os respectivos módulos presentes na plataforma de desenvolvimento.

Plataforma de Desenvolvimento PICDEM Z

O kit de desenvolvimento PICDEM Z da Microchip [15] é uma plataforma de desenvolvimento de uso fácil destinada ao desenvolvimento de aplicações para o protocolo IEEE 803.15.4. No kit vêm incluída o software que implementa a pilha de protocolo ZigBee com aplicações e código fonte de demonstração. Cada kit inclui duas placas PICDEM Z, cada uma com uma placa RF adicional que permite as comunicações sem fios. Encontra-se também presente um *sniffer* chamado Zena, que é uma placa com ligação USB ao PC que permite a monitorização em tempo real de todo o tráfego ZigBee presente no local, esta é uma ferramenta valiosa para o *debug* do sistema e para o seu teste, sendo possível verificar se as mensagens ZigBee estão a ser transmitidas como previsto.



Figura 6.1 - Plataforma de Desenvolvimento PICDEM Z

Características:

- Pilha de software ZigBee que permite desenvolver nós RFD, FFD e Coordenador.
- Micro controlador PIC18LF4620 com tecnologia nanoWatt para poupança de energia, 64 kB de memória Flash e periféricos robustos integrados.
- Transceiver RF MRF24J40 da Microchip com interface de antena modular.
- Ferramenta ZENA, analisador de redes sem fios incluindo software de monitorização.
- Interface RS232, Sensor de Temperatura, Leds e interruptores para demonstração.
- Alimentação possível com ligação a 9V, com pilhas ou por transformador de tensão.

A programação dos micro controladores foi feita recorrendo à ferramenta de desenvolvimento de baixo custo Pic Kit 2, esta ferramenta, propriedade da Microchip, permite a programação de qualquer micro controlador PIC através de apenas 5 pinos. Para a implementação nas placas PICDEM Z foi feito um interface que permite o encaixe directo do PicKit, facilitando a sua programação. Esta ferramenta funciona em conjunto com o software MPLAB, permitindo compilar o programa e programar logo de seguida o micro controlador.

Foi implementado o acesso à Ethernet, integrando a XPort, que permite a conversão Ethernet - RS232. Deste modo, um dispositivo que comunique via Ethernet com a Gateway através de tramas KNX será reconhecido, pois para a Gateway a comunicação esta a ser feita em RS232. Foi atribuído o IP 192.168.105.99 à XPort e definida a porta 10001 UDP para as comunicações, a velocidade de comunicação série escolhida foi 19200 bps.

O próximo passo foi desenvolver o software que permite a configuração do sistema, atribuindo endereços a cada um dos nós que se encontre ligado à Gateway. Foram desenvolvidas classes para a comunicação por Ethernet através do protocolo UDP, que é reconhecido pela XPort, permitindo a esta a conversão para a porta de série da Gateway.

A interacção entre todos os componentes corresponde à tabela AGEP, e depois de todos estes se encontrarem em funcionamento foi criada a tabela e uma livraria de funções própria para o seu acesso, assim como o sistema de buffers e envio de mensagens.

O teste do sistema foi feito recorrendo a dois analisadores de rede, um software chamado Analyser que permite monitorizar o tráfego em redes Ethernet, e o software ZENA, presente na plataforma de desenvolvimento PICDEM Z, e que permite monitorizar redes sem fios ZigBee. Através destes softwares foi possível obter informação sobre os tempos de resposta da do sistema para várias situações.

Implementando o Software

Para implementar um sistema com ZigBee é necessário possuir o *software* que implemente a pilha do protocolo ZigBee, normalmente os vendedores dos micro controladores com capacidade para redes ZigBee possuem o seu código próprio, que é disponibilizado gratuitamente. De seguida é demonstrado como implementar uma aplicação básica utilizando a pilha da Microchip para o protocolo ZigBee.

A pilha de software da Microchip é escrita na linguagem de programação C, e é desenhada para correr na família PIC18F de micro controladores da Microchip.

Foi utilizado o software ZENA, fornecido pela Microchip que permite configurar o tipo de dispositivo ZigBee que se pretende, definindo se é um coordenador, router ou end *device*, e também os EndPoints e *Clusters*, entre outras parâmetros. No fim da configuração o software cria o código fonte que depois será utilizado para programar o micro controlador.

De seguida, na figura 6.2, é apresentada a estrutura básica de uma aplicação, em que o valor da variável *currentPrimitive* é constantemente verificado num ciclo infinito de modo a processar as tarefas da pilha.

```
while (1)
{
    CLRWDT();
    ZigBeeTasks( &currentPrimitive );

    switch (currentPrimitive)
    {
        // Include cases for each required primitive.
        // Be sure to update currentPrimitive!

        default:
            currentPrimitive = NO_PRIMITIVE;
            break;
    }
}
```

Figura 6.2 - Estrutura básica de uma aplicação ZigBee

Receber Mensagens

A pilha notifica que a aplicação recebeu mensagens através da primitiva *APSDE_DATA_indication*. Quando esta primitiva é retornada pela pilha, os parâmetros da primitiva são preenchidos com informação sobre a mensagem e a mensagem recebida reside num *buffer*. Utilizando a função *APLGet* extrai-se cada byte da mensagem para o *buffer*. A figura 6.3 demonstra um exemplo do código de processamento da recepção dos dados.

```

case APSDE_DATA_indication:
{
    // Declare variables used by this primitive.

    currentPrimitive = NO_PRIMITIVE; // This may change during processing.
    frameHeader = APLGet();

    switch (params.APSDE_DATA_indication.DstEndpoint)
    {
        case EP_ZDO:
            // Handle all ZDO responses to requests we sent.
            break;

            // Include cases for all application endpoints.
    }
    APLDiscard();
}
break;

```

Figura 6.3 - Processamento da recepção de dados

Enviar Mensagens

A pilha de software da Microchip permite o envio de uma mensagem na camada de aplicação de cada vez. As mensagens são enviadas testando se a camada de aplicação se encontra pronta para o envio, verificando se `ZigBeeReady()` se encontra com o valor `TRUE`. De seguida é necessário bloquear o sistema com `ZigBeeBlockTx()` para que as próximas chamadas da função `ZigBeeReady()` retornem `FALSE`. É então carregada a mensagem no *array* `TxBuffer`, utilizando a variável `TxData` como índice pelo array.

```

if (ZigBeeReady())
{
    if (bLightSwitchToggled)
    {
        bLightSwitchToggled = FALSE;
        ZigBeeBlockTx();

        TxBuffer[TxData++] = APL_FRAME_TYPE_KVP | 1; // KVP, 1 transaction
        TxBuffer[TxData++] = APLGetTransId();
        TxBuffer[TxData++] = APL_FRAME_COMMAND_SET | (APL_FRAME_DATA_TYPE_UINT8<< 4);
        TxBuffer[TxData++] = OnOffSRC_OnOff & 0xFF; // Attribute ID LSB
        TxBuffer[TxData++] = (OnOffSRC_OnOff >> 8) & 0xFF; // Attribute ID MSB
        TxBuffer[TxData++] = LIGHT_TOGGLE;

        params.APSDE_DATA_request.DstAddrMode = APS_ADDRESS_16_BIT;
        params.APSDE_DATA_request.DstEndpoint = destinationEndpoint;
        params.APSDE_DATA_request.DstAddress.ShortAddr = destinationAddress;

        params.APSDE_DATA_request.ProfileId.Val = MY_PROFILE_ID;
        params.APSDE_DATA_request.RadiusCounter = DEFAULT_RADIUS;
        params.APSDE_DATA_request.DiscoverRoute = ROUTE_DISCOVERY_ENABLE;
        params.APSDE_DATA_request.TxOptions.Val = 0;
        params.APSDE_DATA_request.SrcEndpoint = EP_SWITCH;
        params.APSDE_DATA_request.ClusterId = OnOffSRC_CLUSTER;

        currentPrimitive = APSDE_DATA_request;
    }
}

```

Figura 6.4 - Envio de mensagens ZigBee

Sistema de teste

Foi desenvolvido um sistema de teste com os módulos ZigBee disponíveis para verificar se o sistema é capaz de executar todas as funcionalidades propostas. Foram também efectuados testes temporais para verificar a dinâmica do sistema.

Módulo Gateway (G):

EP	Descrição
1	Saída On / Off
2	Saída On / Off

Módulo Nó Secundário (NS):

EP	Descrição
1	Entrada On / Off
2	Entrada On / Off
3	Saída On / Off
4	Saída On / Off

De seguida foi configurado o sistema atribuindo os seguintes Endereços de Grupo aos EP's:

Tabela AGEP

Address Group	End Point	Módulo
1	1	G
2	2	G
1	1	NS
2	2	NS
2	3	NS
1	4	NS

Na figura 6.5 encontra-se uma imagem do analisador Zena, que neste caso indica o tráfego de rede que resulta da entrada de um novo nó. A primeira trama corresponde à entrada do nó na rede, seguida de um acknowledge. Na terceira trama encontra-se o pedido de informações sobre o nó, cuja resposta é visível na quinta trama. Todo o processo de comunicação relativo à entrada do nó tem a duração de aproximadamente 50ms, o que pode ser verificado no analisador.

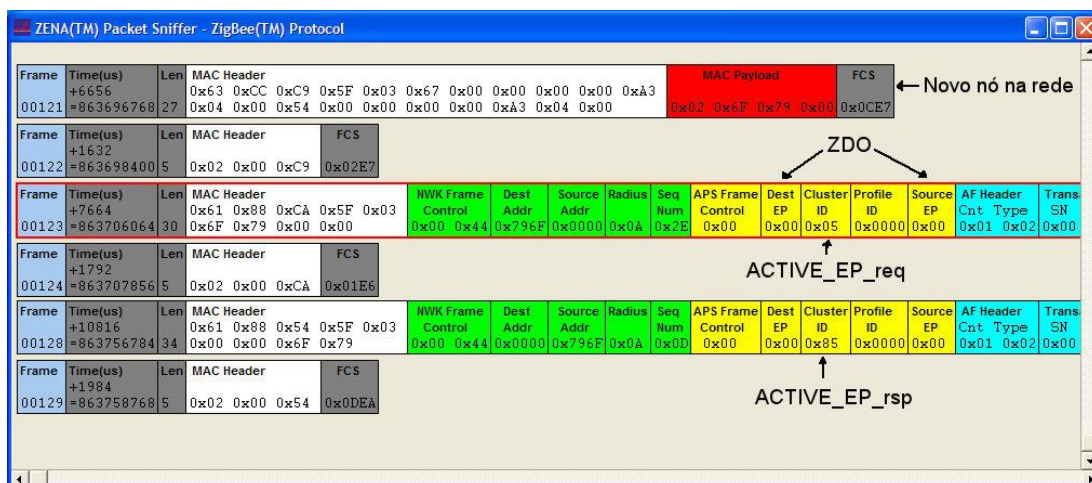


Figura 6.5 Entrada de um novo nó na rede

O próximo teste corresponde às tramas ZigBee geradas quando se pressiona no nó secundário o botão associado ao EP1, verifica-se na imagem 6.6 que quando a interrupção associada ao botão é dada o nó envia uma mensagem com origem no EP1 e como destino a gateway, a gateway identifica a mensagem e verifica que o EP associado ao mesmo endereço de grupo é o 4, tal como indicado na tabela. É então enviada uma trama que tem como destino o EP4 presente no nó secundário. Todo este processo, que pode corresponder por exemplo ao tempo que demora uma luz acender depois de ser pressionado um botão, demora cerca de 30ms, o que indica um bom tempo de resposta do sistema.

Frame	Time(us)	Len	MAC Header	NWK Frame Control	Dest Addr	Source Addr	Radius	Seq Num	APS Frame Control	Dest EP	Cluster ID	Profile ID	Source EP	AF Header Cnt	Type	Transac SN			
00189	+11968 =21981744	34	0x61 0x88 0x32 0xEE 0x3D 0x00 0x00 0x6F 0x79	0x00	0x44	0x0000	0x796F	0x0A	0x50	0x00	0x01	0x13	0x0100	0x01	0x01	0x02	0x01		
00190	+1984 =21983728	5	0x02 0x00 0x32 0xF2EA																
00191	+16622 =21906656	31	0x61 0x88 0xCF 0xEE 0x3D 0x6F 0x79 0x00 0x00	0x00	0x44	0x796F	0x0000	0x0A	0xC7	0x00	0x04	0x13	0x0100	0x01	0x01	0x01	0x02		
00192	+1824 =21908480	5	0x02 0x00 0xCF 0xF8E8																
00193	+551424 =221811984	20	0x03 0xC8 0x09 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x67 0x00 0x00 0x00 0xA3 0x04 0x00																

Figura 6.6 Botão pressionado no nó secundário

De seguida, para testar o sistema de configuração, foi alterada a associação dos endereços de grupo para esta disposição:

Tabela AGEP

Address Group	End Point	Módulo
1	1	G
1	2	G
1	1	NS
2	2	NS
2	3	NS
2	4	NS

O resultado dos testes encontra-se na figura 6.7, neste caso a gateway ao receber uma trama com origem no EP2 do nó secundário, deveria responder enviando duas tramas para activar os EPs 3 e 4.

Frame	Time(us)	Len	MAC Header	NWK Frame Control	Dest Addr	Source Addr	Radius	Seq Num	APS Frame Control	Dest EP	Cluster ID	Profile ID	Source EP	AF Header Cnt	Type	Trans SN
00240	+10400 =363457312	34	0x61 0x88 0x0C 0x96 0x1A 0x00 0x00 0x6F 0x79	0x00 0x44	0x0000	0x796F	0x0A	0x2E	0x00	0x01	0x13	0x0100	0x02	0x01	0x02	0x02
00241	+2000 =363459312	5	MAC Header 0x02 0x00 0x0C 0xFCE9	FCS												
00242	+15468 =365933712	30	0x61 0x88 0xDC 0x96 0x1A 0x6F 0x79 0x00 0x00	0x00 0x44	0x796F	0x0000	0x0A	0x58	0x00	0x03	0x13	0x0100	0x01	0x01	0x02	0x03
00243	+1792 =365935504	5	MAC Header 0x02 0x00 0xDC 0x02E7	FCS												
00244	+16859 =365933712	30	0x61 0x88 0xDC 0x96 0x1A 0x6F 0x79 0x00 0x00	0x00 0x44	0x796F	0x0000	0x0A	0x59	0x00	0x04	0x13	0x0100	0x01	0x01	0x02	0x03
00245	+1792 =365935504	5	MAC Header 0x02 0x00 0xDC 0x02E7	FCS												

Figura 6.7 Tramas com dois EPs de destino

Comprova-se que após recebida a trama as mensagens foram enviadas e recebidas com sucesso pelo nó secundário. O processo tem a duração aproximada de 40ms, e pode-se verificar que por cada trama a média de envio é de 16ms. Escolhendo como limite de valor aceitável para tempo de resposta 500ms conclui-se que o sistema se pode começar a tornar lento quando as mensagens têm como destino mais de 13 EPs. É de notar que não houve tempo para implementar qualquer espécie de algoritmo de optimização do envio das mensagens.

Capítulo 7

Conclusão

Pelo estudo inicial do estado actual da domótica foi possível concluir que esta ainda é uma área de pouca implementação em casas pessoais, tendo um maior mercado nos edifícios comerciais e industriais. O estudo do protocolo ZigBee permitiu ter a noção de que se trata de uma tecnologia com um grande futuro na implementação de redes sem fio de sensores, pois possui um protocolo de comunicação muito bem desenvolvido e que é capaz de evitar com sucesso os principais problemas destas redes, nomeadamente as interferências causadas por outras redes e dispositivos e a falta de segurança. Neste momento a informação sobre o desenvolvimento de aplicações que utilizem o ZigBee é muito limitada, não havendo disponível muita documentação sobre este assunto. Este facto tornou um pouco lenta a aprendizagem do desenvolvimento de uma rede ZigBee com um funcionamento estável, mas que foi executada com sucesso.

O sistema desenvolvido cumpriu todos os objectivos propostos e encontra-se funcional e configurável. A solução implementada pode ser produzida com um baixo custo, fazendo concorrência aos sistemas actuais, que apesar de possuírem mais funcionalidades, também possuem um preço muito mais elevado.

Também foi possível verificar que o desenvolvimento de um produto compatível com o standard KNX é de difícil implementação, não só pela quantidade de serviços que é necessário implementar mas também pelo número de requisitos que é necessário satisfazer para que o produto seja certificado.

Através da análise do tráfego do sistema em ambas as redes utilizadas, a rede Ethernet e a rede ZigBee, foi possível concluir que o sistema tem uma dinâmica aceitável para um funcionamento normal, pois executa as tarefas com rapidez, mesmo quando são dados comando que estejam associados a um grande número de nós na rede. Este facto, associado ao facto de que numa rede de um sistema domótico as transmissões são feitas com um período de tempo baixo, na ordem dos segundos, torna o sistema eficaz e funcional.

A nível da compatibilidade com o KNX existem desenvolvimentos a efectuar, nomeadamente tornar compatíveis os restantes serviços e *Data Points* do standard, pois

foram implementados apenas os serviços multicast que são normalmente executados em funcionamento normal, mas os restantes serviços, necessários para a configuração dos dispositivos, não se encontram implementados. Deste modo, para obter uma compatibilidade total com os sistemas KNX é necessário efectuar a implementação dos restantes serviços e *Data Points*.

A compatibilidade com o perfil HA do ZigBee também não se encontra implementada na sua totalidade, pois por questões temporais apenas foram definidos 4 tipos de dispositivos e apenas com as funcionalidades obrigatórias. Deste modo para o sistema ser compatível com qualquer dispositivo que comunique com o perfil HÁ é necessário implementar os restantes dispositivos e parâmetros de configuração presentes especificados.

Também poderá ser evoluído o programa de configuração de modo a que este possa também possuir capacidades de controlo e monitorização do sistema em tempo real, sendo deste modo possível criar um programa com uma imagem da planta da casa e todos os sensores presentes, que possa dar informação das luzes que se encontram ligadas, da presença de pessoas em certas divisões da casa, etc.

Também seria uma boa adição ao sistema a capacidade deste ser configurado pelo software de configuração da rede KNX, sendo feito o mapeamento total do KNX e do perfil HA, seria possível adicionar e remover dispositivos KNX no software de configuração que na realidade corresponderiam a dispositivos ZigBee.

A utilização de um micro controlador com uma maior memória irá possibilitar a presença de um maior número de nós do sistema, sendo possível deste modo criar uma instalação para uma habitação maior. A presença de mais memória também possibilitaria armazenar variáveis temporais que permitam uma análise de eficácia do sistema. Com essa informação é possível criar novos métodos de transmissão mais eficazes, o que se torna útil quando existem muitos nós ligados à rede.

De modo a poder criar um sistema domótico sem fios com possibilidades de ser comercializado é necessário certificar que este possui um sistema de segurança eficaz, pois esta é uma característica crítica na implementação de um sistema sem fios, já que qualquer pessoa pode ter acesso às tramas que estão a ser transmitidas, pois a transmissão é feita pelo ar. É então necessário desenvolver um protocolo de segurança que transmita confiança aos possíveis compradores. O protocolo ZigBee possui já funções de encriptação que permitem este objectivo, o que torna o desenvolvimento desta funcionalidade simplificado.

Em relação ao conceito de safety do sistema é necessário implementar soluções que o tornem seguro quando utilizado em ambientes de maior risco, como casas com crianças ou pessoas debilitadas. Para este caso poderia ser implementada uma ou mais gateways que funcionassem em paralelo, o que permitiria dividir a carga total do sistema pelas gateways existentes, criando deste modo também a redundância necessária à maior segurança.

Referências

- [1] Jorge Serrano Betored, “Solutions towards domotic interoperability” , Maio 2007
- [2] Li Jiang, Da-You Liu, Bo Yang, “Smart Home Research” ,Agosto 2004
- [3] Renato Nunes, “Decentralized Supervision for Home Automation”, Maio 2006
- [4] ZigBee Alliance, “ZigBee Home Automation Public Application Profile”, Outubro 2008
- [5] Marcelo Takiuchi, Érica Melo, Flavio Tonidandel, “Domótica Inteligente: Automação Baseada em Comportamento”
- [6] IEEE. 802.15.4, “Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, Outubro 2003
- [7] Zigbee Alliance, “ZigBee Specification”. Janeiro 2008
- [8] Jacob Munk-Stander, Martin Skovgaard, Toke Nielsen, “Implementing a ZigBee Protocol Stack and Light Sensor in TinyOS”, Outubro 2005
- [9] Christian Reinisch, Wolfgang Kastner, Georg Neugschwandtner, Wolfgang Granzer, “ Wireless Technologies in Home and Building Automation”, 2006
- [10] Microchip, “AN965 - Microchip Stack for the ZigBee Protocol”, Fevereiro 2006
- [11] Konnex Association, KNX Specification, Dezembro 2007
- [12] Diana Palma, “FEUP KNX Domótica KNX/EIB de Baixo Custo”, FEUP - DEEC, Março 2008
- [13] Duarte Pinto, Diana Palma, “Domoitech - Domótica com Protocolo EIB”, FEUP - DEEC, Julho 2007
- [14] Woo Suk Lee, Seung Ho Hong, “KNX - ZigBee Gateway for Home Automation”, Agosto 2008
- [15] Microchip, “PICDEM Z Demonstration Kit Users Guide” , Novembro 2004
- [16] Microchip, PIC 18F4620 Data Sheet, 2004