



Monitorização de Doenças em Vinhas através de uma Rede de Sensores sem Fios

Inês Figueiredo Martins

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Inês Figueiredo Martins

Monitorização de Doenças em Vinhas
através de uma Rede de Sensores sem Fios

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Agostinho Gil Teixeira Lopes

DECLARAÇÃO

Nome: Inês Figueiredo Martins

Correio Eletrónico: a50131@alunos.uminho.pt

Tel./Tlm: 969250312

Número do Bilhete de Identidade: 13320457

Título da dissertação: Monitorização de Doenças em Vinhas através de uma Rede de Sensores sem Fios

Ano de conclusão: 2014

Orientador: Professor Doutor Agostinho Gil Teixeira Lopes

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Robótica

Escola: Universidade do Minho - Azurém

Departamento: Departamento de Eletrónica Industrial

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/___

Assinatura: _____

”A civilização é uma coisa que o homem não quer realmente; é também uma coisa para a qual não demonstra ter condições nítidas. Assim, passando pelas explorações mais simples e inocentes, chegamos a essas questões perturbadoras e terríveis que parecem começar sempre com ‘porquê?’”

Apócrifos de Roderigo

Agradecimentos

Este projeto teria sido muito mais difícil de concretizar sem o apoio de pessoas especiais. Todos vocês marcaram, de alguma forma, este trajeto com motivação e incentivo.

Ao Rui Castro enquanto companheiro, amigo e grande amor, um gigante obrigada.

À minha família e amigos por serem sempre os melhores, por me ajudarem e apoiarem em todas as circunstâncias.

Ao meu orientador, Doutor Agostinho Gil Lopes, por me orientar, motivar, apoiar e também pela amizade.

Aos técnicos do Departamento de Eletrónica Industrial, Joel, Carlos e Ângela por me receberem sempre com um sorriso, prestabilidade e boa disposição.

A todos que me ensinaram e aos que me acompanharam neste percurso académico.

O desenvolvimento desta dissertação de mestrado não teria sido da mesma forma, sem o vosso incentivo, apoio, carinho e amizade; tanto a nível pessoal como académico.

A todos vocês, OBRIGADA, por me fazerem acreditar que o mundo é um lugar melhor e a escalada da vida bem mais fácil, com vocês do meu lado.

Abstract

Currently, agriculture is presented as a sector in development in respect to technological solutions. However, existing solutions are presented in the market with high costs and is not accessible to most farmers.

There are environmental variables that are crucial for the occurrence of diseases in vineyards, which are causing great damage. So, to predict these diseases and minimise losses there is a need to monitor and evaluate the environment.

Thus, this study intends to develop a monitoring solution based on a network of devices for the purpose of observing variables in space.

For such devices, hardware and software should be developed along with the implementation of a protocol that allows communication between the different constituents of the network (modules and base station). Also, a network architecture should be implemented in order to maximize the system performance.

The base station, in addition to having the ability to communicate with the network devices should also have a graphical user interface. This tool will allow a network manager to configure the different sensor nodes distributed throughout the vineyard, to view / configure the different parameters already defined and also see the messages that are being sent and received by the coordinating element in real time.

The farmer, as a final consumer of the solution, should access the data via a web page where the data collected by the wireless sensor network and also predictions of disease occurrence will be presented.

As a final result a low cost solution is expected, innovative and flexible, adapting to different needs and configurations of the land.

Keywords: Zigbee, Viticulture, Sensors, Monitoring, Vineyards Diseases

Resumo

Atualmente, a agricultura apresenta-se como um setor em desenvolvimento no que concerne a soluções tecnológicas. No entanto, as soluções existentes apresentam-se no mercado com custos elevados, não sendo acessíveis à maioria dos agricultores.

Existem variáveis ambientais que são preponderantes para a ocorrência de doenças em vinhas, que são causadoras de grandes prejuízos. Assim, para prever estas doenças e minimizar perdas existe a necessidade de monitorizar e avaliar o ambiente.

Desta forma, neste trabalho pretende-se desenvolver uma solução de monitorização ou seja, uma rede de dispositivos com a finalidade de observar variáveis num espaço.

Para tal, deverão ser desenvolvidos os dispositivos (*hardware* e *software*), implementado um protocolo que permita a comunicação entre os diferentes módulos constituintes da rede e uma estação base, e ainda implementada uma arquitetura de rede por forma a maximizar o desempenho do sistema.

A estação base, para além de ter a capacidade de comunicar com os dispositivos em rede, deverá ter ainda uma interface gráfica. Esta ferramenta permitirá ao gestor de rede configurar os diferentes nós sensores distribuídos pela vinha, visualizar/configurar os diferentes parâmetros já definidos e ainda consultar as mensagens que estão a ser recebidas e enviadas pelo elemento coordenador, em tempo real.

O agricultor, enquanto consumidor final da solução, deverá aceder aos dados através duma página web, onde será apresentado o projeto, os dados recolhidos pela rede de sensores sem fios e ainda as previsões de ocorrência de doenças.

Como resultado final espera-se uma solução de baixo custo, inovadora e flexível, adaptando-se a diferentes necessidades e configurações de terreno.

Palavras-Chave: Zigbee, Viticultura, Sensores, Monitorização, Doenças Vi-
nhas

Conteúdo

Conteúdo	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Organização do Documento	3
2 Estado de Arte	5
2.1 Agricultura de Precisão	5
2.2 Redes de Sensores sem Fios	11
2.3 Tecnologias de Transmissão sem Fios	12
2.4 Gestão de Dados numa Rede de Sensores	15
3 Fundamentos Teóricos	19
3.1 Redes de Sensores sem Fios	19
3.2 Zigbee	22
3.3 Doenças das Vinhas	34
4 Rede de Sensores sem Fios	41
4.1 Análise	41
<hr/>	
Inês Martins	ix

4.2	Metodologia	49
4.3	Propagação de Sinal	56
5	Gestão de Dados	65
5.1	Arquitetura da Solução	65
5.2	Gestor de Rede	66
5.3	Base de Dados SQL	72
5.4	Aplicação Web	77
6	Resultados Obtidos	85
6.1	Testes e Resultados	85
6.2	Doenças na Vinha	93
6.3	Análise de Custos	95
7	Conclusão e Trabalho Futuro	97
7.1	Conclusão	97
7.2	Trabalho Futuro	98
	Bibliografia	99
A	Esquemático	103
A.1	Placa Nó Sensor	104
B	Análise de Custos	105

Lista de Figuras

2.1	MPWiNodeZ numa Vinha [1]	6
2.2	Sensor de Humidade do Solo [2]	7
2.3	Arquitetura Geral do Sistema [3]	8
2.4	Logotipo Libelium [4]	8
2.5	Entradas Bynsebox [5]	9
2.6	Painel Solar Bynsebox [5]	9
2.7	WatchDog Série 1000 - Temp/RH [6]	10
2.8	Janela de <i>Query</i> [7]	17
2.9	Janela de Resultados [7]	17
2.10	Janela de Resultados [8]	18
3.1	Rede de Sensores Zigbee numa Habitação [9]	23
3.2	Tipologia em Estrela	26
3.3	Topologia em Malha	26
3.4	Topologia em Árvore	27
3.5	Arquitetura do Zigbee	28
3.6	Espetro do Padrão IEEE 802.15.4 na Banda 2,4 GHz [10]	29
3.7	Espalhamento de Sinal [11]	30
3.8	<i>Superframe</i> da Camada MAC [12]	32
3.9	Manchas de Oídio na Parte Superior da Folha [13]	35
3.10	Manchas Provocadas pelo Oídio na Parte Inferior da Folha [13]	35
3.11	Manchas de Oídio nos Sarmentos [13]	35
3.12	Inflorescência com Oídio da Videira [13]	36

3.13 Oídio nos Bagos de Uva da Videira [13]	36
3.14 Cacho de Uvas Coberto com Oídio [13]	36
3.15 Aspeto dos Conidióforos e Conídios do Oídio [13]	37
3.16 Manchas de Míldio nas Folhas [14]	38
3.17 Esporulação do Míldio nas Folhas [14]	38
3.18 Manchas Necrosadas [14]	39
3.19 Míldio Mosaico [14]	39
3.20 Ataque de Míldio em Cachos de Uvas [14]	39
4.1 Módulo Xbee Série 2 (Antena Chip) [15]	43
4.2 Módulo Xbee Série 2 Pro (Antena de Fio) [15]	43
4.3 Módulo Xbee Série 2 Pro (Antena PCB) [15]	44
4.4 Módulo Xbee Série 2 Pro (Conector U.FL) [15]	44
4.5 Módulo Xbee Série 2 Pro (Conector RSPMA) [15]	45
4.6 Adaptador USB Módulo Xbee [15]	45
4.7 Diagrama da Arquitetura do Nó Sensor	50
4.8 Sensor de Humidade HIH 5030 [16]	51
4.9 <i>Pinout</i> Sensor de Temperatura LM35DZ [17]	51
4.10 Montagem Nó Sensor em <i>Breadboard</i>	53
4.11 Montagem Nó sensor em <i>Veroboard</i>	53
4.12 Diagrama de Arquitetura da RSSF	54
4.13 Ambiente Gráfico X-CTU	55
4.14 Configuração do Nó Coordenador	56
4.15 Fenómeno da Penetração do Sinal	57
4.16 Fenómeno da Reflexão	58
4.17 Fenómeno da Difração	59
4.18 Fenómeno da Refração	59
4.19 Fenómeno de Espalhamento	60
4.20 Área de Testes do Protótipo	62
4.21 Perda de Sinal em Função da Distância	63

Lista de Figuras

5.1	Diagrama da Arquitetura da Solução	66
5.2	Módulo Xbee no Adaptador USB	68
5.3	Estrutura da Trama API [18]	68
5.4	Fluxograma de Receção Mensagens de Dados	70
5.5	Ambiente Gráfico do Gestor de Rede	71
5.6	Barra de Controlo do Gestor de Rede	71
5.7	Ambiente de Configuração	72
5.8	Estrutura da Base de Dados Zigbee_Network	75
5.9	Diagrama da Página Web	78
5.10	Rodapé da Página Web	78
5.11	Página Web	79
5.12	Mapa RSSF da Página Web	79
5.13	Vista Acedida pelo Botão 'Sobre'	80
5.14	Vista 'Contactos' da Página Web	80
5.15	Seleção de Dados da Página Web	81
5.16	Gráfico de Dados da Página Web	82
5.17	Detalhe Gráfico de Dados da Página Web	82
5.18	Vista do Sub-Menu Doenças	83
5.19	Vista do Botão Doenças	84
6.1	Esquema da Rede Implementada	86
6.2	Teste de Força de Sinal X-CTU	87
6.3	Força do Sinal na Planta da Habitação	87
6.4	Gráfico Temperatura no Ambiente Interior	88
6.5	Gráfico Humidade no Ambiente Interior	89
6.6	Nó Sensor Implementado na Vinha	90
6.7	Força de Sinal no Terreno	91
6.8	Gráfico Temperatura no Ambiente Exterior	92
6.9	Gráfico Humidade no Ambiente Exterior	92
6.10	Gráfico Previsão Doença Oídio	94

6.11 Gráfico Previsão Doença Míldio 94

Lista de Tabelas

2.1	Custos Bynsebox [19]	10
2.2	Comparativo de Tecnologias de Transmissão sem Fios [20]	14
3.1	Diferentes Frequências Zigbee [21]	29
3.2	Comparativo Doenças na Vinha	40
4.1	Comparativo Xbee [22]	42
4.2	<i>Pinout</i> Xbee	46
4.3	Endereçamento Módulos Xbee	48
5.1	Estruturas de Dados	69

Lista de Abreviaturas

- **ADC** Analog to Digital Converter (Conversor Analógico para Digital)
- **ADVID** Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense
- **APS** Application and Support Sublayer (Subcamada de Aplicação e Suporte)
- **BSS** Basic Service Set (Conjunto de Serviços Básicos)
- **CAP** Período de Contenção de Acesso
- **DS** Distribution System (Sistema de Distribuição)
- **DSSS** Direct Sequence Spread Spectrum (Sequência Direta de Espalhamento do Espectro)
- **ESS** Extended Service Set (Conjunto de Serviços Estendidos)
- **EUA** Estados Unidos da América
- **FFD** Full Function Device (Dispositivo de Funções Completas)
- **GPRS** General Packet Radio Service (Serviço de Rádio de Pacote Geral)
- **GPS** Global Positioning System (Sistema de Posição Global)
- **GSM** - Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
- **GUI** Graphical User Interface (Interface Gráfica)
- **IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletrónicos e Eletrotécnicos)
- **IVV** Instituto da Vinha e do Vinho
- **LAN** Local Area Network (Rede de Área Local)
- **LAR** Laboratório de Automação e Robótica
- **LCD** Liquid Crystal Display (Ecrã de Cristal Líquido)
- **PAN** Personal Area Network (Rede de Área Pessoal)

- **PCB** Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impresso)
- **RFD** Reduced Function Device (Dispositivo de Funções Reduzidas)
- **RH** Humidade Relativa
- **RISC** Reduced Instruction Set Computer (Computador de Conjunto de Instruções Reduzidas)
- **RSSF** Rede de Sensores Sem Fios
- **S-MAC** Sensor Medium Access Control (Sensor - Controlo de Acesso ao Meio)
- **SMD** Dispositivos de Montagem Superficial
- **SQL** Structured Query Language (Linguagem de Consulta Estruturada)
- **USB** Universal Serial Bus (Barramento Universal Série)
- **Wi-Fi** Wireless Fidelity
- **WLAN** Wireless Local Area Network (Rede Sem fios de Área Local)
- **WPAN** Wireless Personal Area Network (Rede Sem Fios de Área Pessoal)
- **WSN** Wireless Sensor Networks (Rede de Sensores Sem Fios)
- **XML** Extensible Markup Language
- **ZDO** Zigbee Device Object (Objeto Dispositivo Zigbee)

Acrónimos

- **B** Byte
- **b/s** Bits/Segundo
- **dB** - Decibel
- **dBm** Decibel Miliwatt
- **Hz** Hertz
- **m** Metro
- **V** Volt

Introdução

Neste primeiro capítulo será introduzido o tema da dissertação, explicado o enquadramento do projeto, a motivação e ainda os objetivos definidos. Por fim, será apresentada a organização do documento de maneira a, facilitar a compreensão e análise do mesmo.

O tema em estudo está relacionado com as doenças nas vinhas, uma vez que são uma grande preocupação dos viticultores, pois são causadoras de prejuízos. Nalguns casos, estas podem levar até à destruição total da cultura. Como tal, é urgente apresentar uma solução para prever o aparecimento destas pragas e alertar o viticultor de maneira a que, tome medidas preventivas nas vinhas, minimizando o problema.

Assim sendo, neste projeto pretende-se desenvolver uma solução para esta problemática. No entanto, esta deverá ser económica e flexível tornando-a acessível a todos os viticultores, sendo este um fator determinante para a aceitação/sucesso da solução no mercado.

1.1 Enquadramento

Nos últimos anos, em Portugal, tem-se verificado um crescimento do setor agrícola apostando-se em novas culturas e conceitos. A par desta evolução, a viticultura apresenta-se com especial destaque. As exportações de vinho atingiram os 700 milhões de euros no ano passado, segundo o Instituto da Vinha e do Vinho (IVV).

Como tal, para sustentar o crescimento deste setor de mercado são necessárias inovações tecnológicas que minimizem as perdas.

Existem no mercado soluções que permitem monitorizar culturas, no entanto apresentam-se com custos elevados, não sendo acessíveis à maioria dos produtores. Apesar de tudo, estas soluções são genéricas e não respondem de forma efetiva às necessidades específicas das culturas das vinhas.

Assim, insurge a necessidade de uma solução específica, que permita monitorizar mas também prever o aparecimento de doenças nas vinhas.

1.2 Motivação

A consciência de que, esta solução poderá acrescentar valor às culturas de vinha permitindo aumentar a sua qualidade e até quantidade, torna este desafio por si só motivador.

O projeto proposto incide sobre diversas áreas do conhecimento, tornando-o assim um desafio estimulante. De entre elas é possível destacar a tecnologia das redes de sensores sem fios, desenvolvimento de *software* para gestão de dados e o primeiro contacto com aplicações web. Devo referir também a motivação pelo trabalho com uma área de interesse pessoal, a agricultura. A multidisciplinariedade do projeto permitirá alargar o espetro das minhas capacidades técnicas e intelectuais.

Espero ainda, conseguir evidenciar a elevada potencialidade desta solução acreditando que, num futuro o protótipo venha a ser implementado na realidade do terreno como sendo uma mais-valia para os viticultores em Portugal e no mundo.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste projeto visa a análise e implementação de uma rede de sensores sem fios que seja capaz de monitorizar uma vinha e assim prever a ocorrência de doenças.

Para ser possível armazenar e consultar os dados obtidos a partir da rede de sensores deverá ser implementada uma base de dados.

1.4 Organização do Documento

Uma aplicação para o gestor da rede que permita consultar em tempo real as mensagens recebidas e enviadas pelo elemento coordenador, configurar os módulos da rede num ponto mais remoto. O acesso aos dados por parte do agricultor será através de uma página web, nesta constarão dados relacionados com o projeto bem como, os valores obtidos pela rede de sensores sem fios e ainda sinalizadas as possibilidades de ocorrência de doenças nas vinhas. Uma vez que, o projeto se encontra dividido em diferentes componentes deverá ser feita a integração das mesmas.

1.4 Organização do Documento

Este documento encontra-se dividido em sete capítulos, nestes são abordados e apresentados os diferentes temas em estudo neste projeto de dissertação.

Depois deste capítulo introdutório, onde são apresentados o projeto, a motivação e o seu enquadramento surge o capítulo dois.

O segundo capítulo faz referência ao estado da arte, ou seja são abordados os temas em estudo mas enquadrados em soluções já existentes.

O capítulo três, relativo aos fundamentos teóricos, explica de forma mais detalhada alguns conceitos e tecnologias, utilizados no desenvolvimento do projeto.

O capítulo quatro, aborda o desenvolvimento da rede de sensores sem fios bem como, os conhecimentos que lhe são inerentes. É ainda apresentado um estudo sobre a propagação de sinal.

O capítulo cinco é dedicado aos dados, é onde são apresentadas as soluções adotadas para gestão de dados como, uma base de dados, uma aplicação de gestão de rede e ainda a página web que permite o acesso dos dados por parte do agricultor.

O capítulo seis, faz referência aos resultados obtidos em relação ao protótipo desenvolvido. Estes são obtidos em diferentes condições e ambientes de maneira a, se fundamentarem. Apresenta-se, também neste capítulo, a análise de custos do protótipo.

Por fim, no capítulo sete são apresentadas as conclusões relativos ao projeto e ainda são feitas algumas propostas para trabalho futuro.

Estado de Arte

Neste capítulo, será abordada e enquadrada a tecnologia em estudo nesta dissertação de mestrado. Numa fase inicial, apresentam-se a agricultura de precisão com diferentes soluções existentes no mercado. Seguem-se as redes de sensores sem fios (RSSF) ou WSN (Wireless Sensor Networks) sendo feito um estudo sobre as mesmas. Posteriormente, são analisadas e comparadas as diferentes tecnologias para transmissão de dados. Por fim será abordada a gestão de dados numa RSSF.

2.1 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão surge associada à necessidade de estabelecer condições ideais às culturas. Assim sendo, recorre a tecnologia de informação para o controlo de parâmetros de uma plantação.

Seguidamente apresentar-se-ão soluções que se integram neste conceito.

MPWiNodeZ

O projeto MPWiNodeZ introduz o conceito de viticultura de precisão na região demarcada do Douro.

O foco deste projeto passa essencialmente pela sua autossustentabilidade, uma vez que a energia é obtida a partir de diferentes fontes renováveis (solar, água da chuva e eólica),

permitindo assim autonomia e conseqüentemente, monitorização em áreas remotas. Este projeto foi inicialmente desenvolvido e testado em laboratório e depois inserido no terreno, implementando uma rede Zigbee da topologia malha.

O projeto revelou bons resultados apesar dos custos elevados, e como tal está prevista a sua utilização como uma rede de sensores sem fios onde, cada módulo é utilizado na copa das videiras, figura 2.1. [1]



Figura 2.1: MPWiNodeZ numa Vinha [1]

Controlador de Irrigação Automático

A irrigação é determinante no sucesso de uma colheita agrícola. Se esta for avaliada e praticada corretamente pode aumentar a qualidade/quantidade duma colheita. Neste sistema, que implica um controlador de rega automático, são avaliados diferentes parâmetros atmosféricos e em função destes, são utilizados os devidos recursos de água.

A rega na agricultura depende de diversos fatores destacando-se: o tipo de solo, velocidade do vento, o tipo de cultura, entre outros. Como tal, as técnicas de rega são baseadas em parâmetros ambientais como: pressão, temperatura, humidade, radiação solar, direção e velocidade do vento.

2.1 Agricultura de Precisão

A arquitetura do sistema pode ser dividida em três escalões. Uma parte que integra os diferentes nós sensores que sentem o ambiente e os seus respetivos fenómenos, enviando estes dados para um nó *gateway*. Um segundo elemento onde consta o servidor que recebe os dados do nó *gateway* e os processa. E por fim, a última componente do sistema, onde se inclui o acesso aos dados pelo utilizador. Em relação ao *hardware* do nó sensor, este é composto por um microcontrolador 8052, um sensor que avalia a mistura do solo, um MAX232, um relé e uma bomba. [2]



Figura 2.2: Sensor de Humidade do Solo [2]

Cultura do Medronho

O projeto propõe um sistema de monitorização, através de uma rede de sensores sem fios. Este está implementado numa estufa com cultura de medronho, localizada numa encosta. O sistema recolhe automaticamente informação sobre humidade, temperatura, pressão, iluminação, entre outros. Estes dados são enviados através de GPRS, para um servidor remoto. O sistema dispõe também de uma plataforma web, onde o utilizador pode consultar o estado da estufa e receber alertas do sistema. [3]

Na figura 2.3 pode visualizar-se a arquitetura geral do sistema.

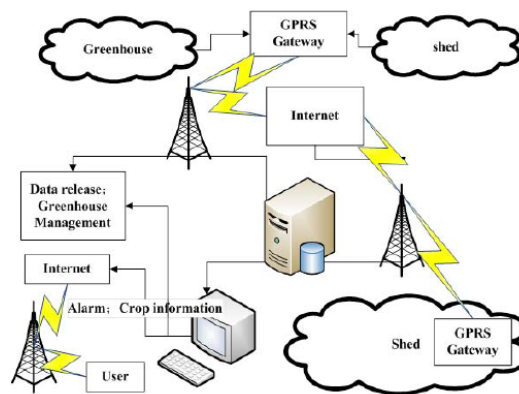


Figura 2.3: Arquitetura Geral do Sistema [3]

Libelium

A libelium, figura 2.4, é uma empresa do mercado que detém soluções a nível de redes de sensores sem fios, oferecendo uma vasta gama de produtos nesta tecnologia. As principais características das suas redes de sensores são:

- monitorização em tempo real de mais de 50 parâmetros,
- robustas, flexíveis e com comunicação de longo alcance (até 40 km),
- consumo energético mínimo (período de vida útil das baterias estende-se para anos),
- sistema com *software* livre e de fácil uso,
- opções extra como: GPS, GPRS, painéis solares e Bluetooth,
- certificações FCC, CE e IC.



Figura 2.4: Logotipo Libelium [4]

2.1 Agricultura de Precisão

Inseridas na agricultura de precisão, a Libelium tem ao dispor dos seus clientes diferentes soluções. A Smart Agriculture, que varia entre 445 € e 550 € em função da versão e o modelo Smart Agriculture Pro, que permite mais sensores, com preços que oscilam entre 470 € e 575 €.

No que compete aos sensores apresentam-se diferentes possibilidades, e em função da escolha do mesmo, o preço soma-se ao do módulo referido anteriormente. Assim sendo, podem escolher-se sensores que avaliam temperatura, humidade, temperatura água, radiação solar, ultravioleta, mistura do solo, temperatura do solo, presença de água na folha, diâmetro de tronco, diâmetro do fruto e diâmetro da haste. Os diferentes sensores têm valores entre os 20 € e os 500 €. [4]

Bynsebox

Hubel Verde é uma empresa que se apresenta com compromisso de diminuir o risco e potenciar os resultados dos seus clientes, com produtos e serviços de excelência, para que o sucesso dos clientes seja uma realidade, comercializando soluções e produtos para agricultura.

As Bynsebox, figura 2.5 e figura 2.6, são unidades autónomas que recolhem dados de diferentes sensores numa exploração e enviam-nos para uma Bynsecloud via GSM ou GPRS. [5]



Figura 2.5: Entradas Bynsebox [5]



Figura 2.6: Painel Solar Bynsebox [5]

Estas unidades têm diferentes custos, como se pode consultar na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Custos Bynsebox [19]

Modelo	Preço
Bynsebox PRTY AP (Baterias)	600 €
Bynsebox PRTY SP (Painel Solar)	650 €
Bynsebox PRTY 220VCA (com Ligação 220 VCA)	700 €

Aos custos apresentados, terá de ser acrescentado o custo dos sensores.

WatchDog Série 1000

As estações WatchDog, figura 2.7, da empresa Spectrum Technologies permitem a monitorização de parâmetros agrícolas em função dos sensores que lhe são conectados. Esta solução, permite a visualização no ecrã LCD, o estado da estação bem como, dos valores recolhidos através dos sensores, a cada instante. A estação permite ainda a recolha de dados com intervalos entre 1 e 60 minutos. [6]

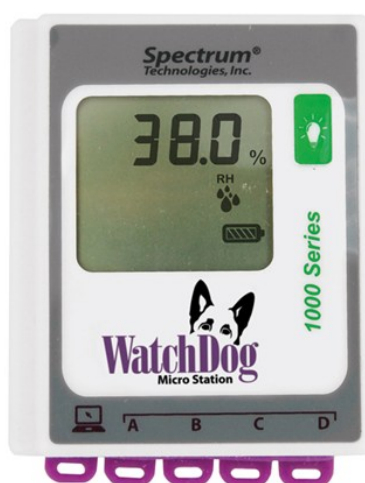


Figura 2.7: WatchDog Série 1000 - Temp/RH [6]

Esta solução já tem integrados sensores de temperatura e humidade relativa, mas ainda permite a conexão de 4 novos sensores. Esta estação tem um custo de 548 € no entanto, este valor pode variar de acordo com as diferentes configurações possíveis. A este custo ainda acresce o *software* no valor de 208,5 € ou seja, esta solução terá um custo mínimo de 756,5 €.

2.2 Redes de Sensores sem Fios

Entre as diferentes versões nesta série existe uma solução que, parametriza doenças nas culturas. Esta estação, para além da monitorização de variáveis, permite a geração de alertas em função dos valores obtidos e no sentido de, alertar e prevenir a ocorrência de doenças nas culturas. Esta tem um custo de 865 €, que somado ao valor do *software* perfaz um total de 1073,5 €. [19]

2.2 Redes de Sensores sem Fios

Hoje em dia, existem ao dispor da sociedade diferentes formas de comunicação, mais concretamente, meios para transmissão de dados. Inseridas neste contexto, discutem-se as RSSF que apresentam diversas características vantajosas quando comparadas com as tradicionais redes de sensores com fios. Naturalmente, a primeira vantagem que surge é a flexibilidade da possibilidade de monitorizar espaços remotos e de difícil acesso. Pelo facto de, não serem necessários fios nestas redes, os limites em relação à distância para comunicação ou expansão de rede são impostos pela tecnologia.

Sendo assim, uma rede de sensores pode ser caracterizada como um conjunto de nós que tem a capacidade de monitorizar, processar e transmitir variáveis de um ambiente/espço. Os dispositivos recolhem os dados (através de sensores), e enviam-nos para uma estação base. A comunicação entre os diferentes nós é conseguida através de uma rede sem fios existindo várias arquiteturas possíveis. [23]

Partindo das pesquisas na área militar, as RSSF têm sido alvo de desenvolvimento nas últimas décadas. A disponibilização de protocolos como o IEEE 802.15.4 e o Zigbee promoveu a saída desta tecnologia dos laboratórios de investigação para o mercado, estimulando a criação de diversas soluções comerciais estando atualmente, implementadas em áreas como: medicina, construção civil, agricultura, brinquedos, desporto e outras. [24] [25]

Nó Sensor

Um nó sensor apresenta-se como um dispositivo com capacidade de sentir os fenómenos de um ambiente permitindo a sua tradução e análise.

Assim sendo, cada nó sensor pode ser composto por um ou mais sensores, através dos quais recolhem dados. Seguidamente, a informação é processada e enviada para uma estação base.

Em termos de *hardware* este elemento pode facilmente ser dividido em quatro partes, sendo elas:

- **Unidade Sensor** - integra os sensores que permitem monitorizar o ambiente e ainda os ADCs (Analog Digital Converter) que traduzem os dados do estado analógico para o equivalente digital.
- **Unidade de Processamento** - onde são processados os dados recolhidos pelos sensores e ainda se incluem todas as necessidades de processamento inerentes ao nó sensor e à sua integração na rede. Normalmente, estes dispõem de pouca capacidade de processamento.
- **Unidade de Comunicação** - nesta parte enquadram-se as comunicações entre o nó sensor e a rede no qual está inserido.
- **Unidade de Potência** - a esta unidade compete a alimentação do sistema. Geralmente, associam-se elementos que permitem que o nó sensor seja autónomo, por exemplo a utilização de baterias e painéis solares.

De notar que, atualmente a grande maioria de nós sensores utiliza processadores com a arquitetura RISC (Reduced Instruction Set Computer) que apresentam baixo custo e baixas capacidades de memória (aproximadamente 100 kB). No entanto, pode ser adicionada uma memória externa, permitindo assim uma maior capacidade. [20] [25]

2.3 Tecnologias de Transmissão sem Fios

Nesta secção serão comparadas tecnologias relativas à transmissão de dados sem fios, sendo elas o Bluetooth, Zigbee e Wi-Fi.

2.3 Tecnologias de Transmissão sem Fios

Enquanto, o Bluetooth e o Zigbee representam protocolos definidos pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) para redes sem fios de área pessoal (WPAN), o Wi-Fi foi desenvolvido para redes sem fios de área local (WLAN).

WI-FI

A arquitetura do IEEE 802.11, que define o padrão Wi-Fi, consiste na interação de vários componentes de maneira a, formar uma rede de área local (LAN). A célula de uma destas redes, também conhecida como, um conjunto básico de serviços (BSS) representa um conjunto de estações móveis ou fixas. Caso um conjunto se mova para fora do BSS deixa de ter permissão para comunicar diretamente com outros membros deste mesmo BSS.

O sistema de distribuição (DS) é o componente da arquitetura para a conexão de BSSs. Quando temos várias BSS conectadas entre si é considerada uma ESS (Extended Service Set). Este tipo de operação também é conhecida como, uma rede de infraestruturas.

O Wi-Fi é dedicado a aplicações que exijam elevadas taxas de transferência para tarefas como: transferência de ficheiros, acesso à internet, entre outros. O consumo energético desta tecnologia é relativamente superior, quando comparado com as outras tecnologias em estudo. [20]

Bluetooth

O Bluetooth (IEEE 802.15.1) é um protocolo baseado num sistema rádio sem fio, desenvolvido para sistemas de baixo custo e curto alcance. Existem duas tipologias possíveis no que concerne à conexão do Bluetooth, sendo elas: piconet e scatternet.

O modelo piconet é uma WPAN formada por um dispositivo Bluetooth com funções de mestre e um ou mais (máximo de 7) dispositivos no papel de escravos. Todos os rádios que participam numa comunicação piconet sincronizam-se em função do relógio do mestre. Assim sendo, os dispositivos escravos comunicam com o mestre numa comunicação do tipo ponto-a-ponto sempre sobre o controlo do mestre. Por parte do dispositivo mestre, as

comunicações podem ser ponto-a-ponto ou ponto-multiponto e sempre com os dispositivos ativos.

O modelo scatternet é simplesmente explicado como, um conjunto de piconet sobrepostos. Ou seja, dois piconet podem conectar-se de maneira a, formar uma scatternet. Um dispositivo Bluetooth pode participar em várias piconet ao mesmo tempo, o que permite que a informação flua numa determinada área. Numa scatternet um dispositivo pode ser escravo em várias piconet no entanto, só pode representar o papel de mestre numa delas. [20]

Zigbee

O Zigbee (IEEE 802.15.4) define especificações para redes WPAN de baixa taxa de transmissão, suportando pequenos dispositivos com baixos consumos energéticos. O Zigbee permite formar uma rede auto-organizada, com robustez e fiabilidade.

Quando um dispositivo é ativo pela primeira vez pode estabelecer a sua própria rede, caso tenha funções de coordenador. Todas as redes, operam de forma independente e esta situação deve-se ao facto de, ser possível atribuir um identificador de rede (PAN ID) aos dispositivos. Uma vez definido o PAN ID o coordenador permite que outros dispositivos com o mesmo identificador se associam à sua rede. Só pode existir um coordenador por rede, a quem são atribuídas as funções de gestão da mesma. [20]

Comparação de Tecnologias

A tabela 2.2 sumariza algumas das principais características dos protocolos anteriormente apresentados, sendo estes baseados em padrões do IEEE.

Tabela 2.2: Comparativo de Tecnologias de Transmissão sem Fios
[20]

Especificações	Bluetooth	WI-FI	Zigbee
IEEE	802.15.1	802.11/a/b/g	802.15.4
Banda de Frequências	2.4 GHz	2.4 GHz; 5 GHz	868/915 MHz; 2.4 GHz
Taxa Máxima Transf.	1 Mb/s	54 Mb/s	250 Kb/s

2.4 Gestão de Dados numa Rede de Sensores

Potência Transferência	0-10 dBm	15-20 dBm	0 dBm
Alcance	10 m	100 m	10-100 m
Largura de Banda	1 MHz	22 MHz	0,3/0,6 MHz; 2 MHz
Nº Máximo Dispositivos	8	2007	> 65000
Pontos a Favor	-	Taxa de transferência	Consumo; Custo;

Pode analisar-se que, o Wi-Fi tem a maior taxa de transferência seguindo-se o Bluetooth e finalmente o Zigbee.

Uma vez que, o Zigbee e o Bluetooth foram desenvolvidos para soluções portáteis e com limites de bateria, apresentam baixo consumos quando comparados com o Wi-Fi.

Em termos de dimensão de rede, o Zigbee oferece a maior capacidade suportando mais de 65000 dispositivos numa rede, enquanto o Wi-Fi permite 2007 e o Bluetooth apenas 8 elementos.

2.4 Gestão de Dados numa Rede de Sensores

A consulta de dados numa rede de sensores corresponde ao elemento final de uma cadeia. Assim sendo, primeiramente, apresenta-se a aquisição de dados efetuada pelos sensores, depois segue-se o processamento e transmissão da informação através da rede e por fim, surge a base de dados com responsabilidades de organização e armazenamento dos dados.

Ou seja, a base de dados surge como uma mais-valia numa rede de sensores pois permite ao utilizador consultar dados previamente adquiridos.

Em relação a esta funcionalidade existem algumas soluções que se apresentam a seguir.

TinyDB

A tinyDB é uma base de dados de redes de sensores desenvolvida em UC Berkeley.

Esta ferramenta, é na verdade um sistema de processamento capaz de extrair informação de uma rede de sensores, para tal recorre ao uso de *queries* que são perguntas feitas à TinyDB. Esta solução oferece uma interface do tipo SQL, para especificar os dados que se

pretende obter. Definida uma consulta, com os parâmetros desejados, a tinyDB recolhe os dados do ambiente, filtra, organiza e envia para um computador. A ferramenta executa esta tarefa através da rede baseando-se em eficientes algoritmos de processamento. [7]

A tinyDB apresenta ainda características como:

- **Gestão de Metadados** - a ferramenta providencia um catálogo de metadados ou seja, neste catálogo podem encontrar-se atributos e/ou comandos relativos a pedidos e invocações permitidos na rede de sensores. Existe ainda a possibilidade de criação de novos comandos numa outra ferramenta.
- **Query de Alto Nível** - uma vez que, a ferramenta usa uma linguagem do tipo declarativa, o utilizador pode dizer apenas os dados que deseja sem ter de especificar como obtê-los. Esta funcionalidade torna a aplicação mais simples em termos de utilização.
- **Múltiplas Querys** - é permitido que sejam executadas diferentes *querys* ao mesmo tempo. As *querys* podem apresentar diferentes taxas de amostragem e aceder a diferentes sensores.
- **Tipologia de Rede** - a tinyDB gere os módulos da rede fazendo procuras dos módulos vizinhos e mantendo tabelas com os dados recolhidos. Assim, a ferramenta pode garantir eficiência de cada nó na rede, bem como a entrega de dados ao utilizador.

Uma das limitações desta ferramenta é que, não permite consultas que envolvam padrões de comunicação de dados mais complexas. [7]

Nas figuras 2.8 e 2.9 que se seguem, podem observar-se imagens do ambiente desta ferramenta.

2.4 Gestão de Dados numa Rede de Sensores

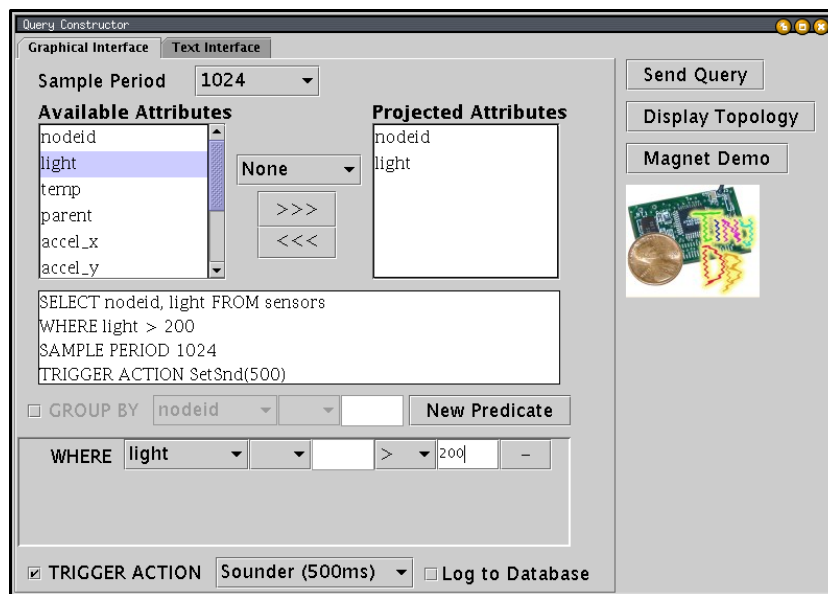


Figura 2.8: Janela de *Query* [7]

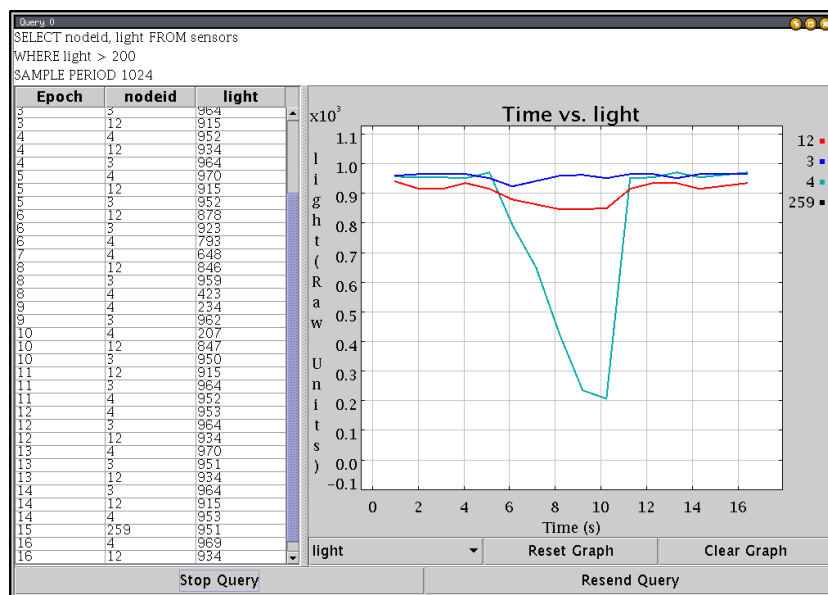


Figura 2.9: Janela de Resultados [7]

Cougar

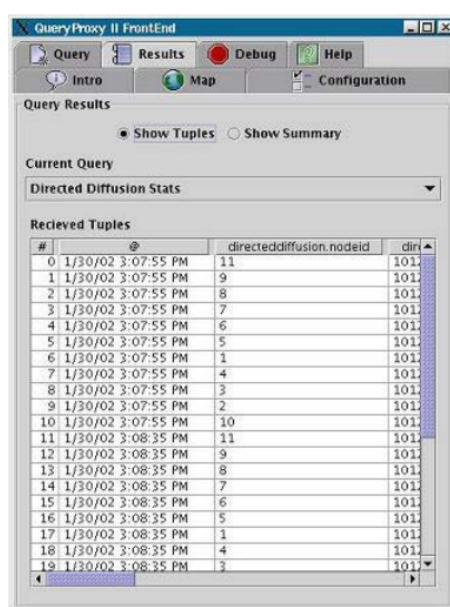
O sistema Cougar foi desenvolvido na Universidade de Cornell e pode ser dividido em três partes: QueryProxy, FrontEnd e interface gráfica com o utilizador (GUI).

Enquanto, o QueryProxy é executado em cada nó sensor da rede, o FrontEnd é apenas executado em nós selecionados, assumindo assim a função de elo de ligação entre o QueryProxy e o GUI.

O QueryProxy é uma base de dados que interpreta e executa *queries* em cada nó sensor. Esta parte pode ser dividida em três funcionalidades: o gestor de dispositivos, camada nó e a camada líder. Assim sendo, o gestor de dispositivos tem a responsabilidade de adquirir dados por parte dos sensores. Por sua vez, a camada nó deverá gerir e processar as *queries* e ainda deverá interagir com os sensores através do gestor de dispositivos. Assumindo as premissas anteriores, quando uma *query* é executada a camada nó irá solicitar ao gestor de dispositivos os serviços requeridos. Depois do processamento, os dados são enviados para a camada líder.

O FrontEnd envia as *queries* recebidas a partir da GUI para a QueryProxy executar. Esta ferramenta, tem ainda a função de manter um registo sobre as *queries* em execução fornecendo-as ao GUI. Esta pode ainda enviar os resultados dos pedidos efetuados para uma base de dados MySQL remota.

A GUI permite ao utilizador fazer pedidos à rede de uma forma gráfica ou mesmo através da linguagem SQL exibindo os resultados no formato duma tabela, figura 2.10. [8]



The screenshot shows the 'QueryProxy II FrontEnd' window. It has a menu bar with 'Query', 'Results', 'Debug', and 'Help'. Below the menu bar are buttons for 'Intro', 'Map', and 'Configuration'. The main area is titled 'Query Results' and has radio buttons for 'Show Tuples' (selected) and 'Show Summary'. Underneath, there is a 'Current Query' dropdown menu set to 'Directed Diffusion Stats'. The main content is a table titled 'Recieved Tuples' with the following data:

#		directeddiffusion.nodeid	dir
0	1/30/02 3:07:55 PM	11	101
1	1/30/02 3:07:55 PM	9	101
2	1/30/02 3:07:55 PM	8	101
3	1/30/02 3:07:55 PM	7	101
4	1/30/02 3:07:55 PM	6	101
5	1/30/02 3:07:55 PM	5	101
6	1/30/02 3:07:55 PM	1	101
7	1/30/02 3:07:55 PM	4	101
8	1/30/02 3:07:55 PM	3	101
9	1/30/02 3:07:55 PM	2	101
10	1/30/02 3:07:55 PM	10	101
11	1/30/02 3:08:35 PM	11	101
12	1/30/02 3:08:35 PM	9	101
13	1/30/02 3:08:35 PM	8	101
14	1/30/02 3:08:35 PM	7	101
15	1/30/02 3:08:35 PM	6	101
16	1/30/02 3:08:35 PM	5	101
17	1/30/02 3:08:35 PM	1	101
18	1/30/02 3:08:35 PM	4	101
19	1/30/02 3:08:35 PM	3	101

Figura 2.10: Janela de Resultados [8]

Fundamentos Teóricos

A realização deste projeto implicou pesquisa em diferentes áreas que se integram no tema em estudo. No entanto, o Zigbee assumirá um papel de destaque por ser a tecnologia base do projeto.

Será ainda apresentado um estudo relativo às doenças nas vinhas onde são questionadas variáveis fundamentais como, a temperatura e humidade.

3.1 Redes de Sensores sem Fios

Segundo a taxonomia de Tilak *et al.*, as RSSF têm como elementos principais o sensor, o observador e o fenómeno. [26]

O **sensor** é o elemento responsável pela monitorização física de um fenómeno ambiental gerando relatórios sobre as medições adquiridas. Assim sendo, um sensor produz uma resposta a uma mudança da condição física no ambiente que monitora. Um sensor consiste, geralmente, em cinco componentes: *hardware*, memória, bateria, processador e transmissor.

O **observador** é o utilizador final, o interessado em saber informações sobre os fenómenos no ambiente.

O **fenómeno** é a entidade de interesse do observador, representa a variável que está a ser observada. Numa rede podem monitorizar-se diferentes fenómenos ao mesmo tempo.

[26]

Métricas de Desempenho de uma RSSF

No que compete à avaliação de protocolos de redes de sensores são definidas métricas principais como: eficiência *versus* uso da energia e conseqüente vida útil do sistema, latência, precisão, tolerância a falhas e escalabilidade.

- **Eficiência da energia e vida útil do sistema** - uma vez que os nós sensores são alimentados por baterias, os protocolos devem ser pensados de forma a, maximizar a vida útil do sistema. Assim sendo, devem ser questionados tempos em que o nó está ativo e ainda o tempo relativo ao envio de dados. Avaliando questões de eficiência foi criado o protocolo S-MAC (Sensor Medium Access Control), este é um protocolo de acesso ao meio que foi implementado para redes de sensores com nós inativos por longos períodos de tempo. O objetivo passa por, tornar os nós como ativos de uma forma rápida quando é detetado um novo fenómeno. [26]
- **Latência e precisão** - latência pode ser definida como o tempo decorrido entre um estímulo e a resposta que lhe corresponde. Assim sendo, observador está interessado em estudar um fenómeno, mas num determinado período de tempo, a latência. O objetivo do observador, também passa por obter informação com precisão em função da aplicação. Logo, deverá existir um compromisso entre latência e precisão mas, não pode ser descurada a eficiência energética. [26]
- **Tolerância a falhas** - devido a más condições, a título de exemplo, atmosféricas, a falta de bateria ou até mesmo falhas internas do sistema, o sensor pode falhar. Assim, a rede deve ser tolerante a falhas ou seja, é desejável que as falhas sejam de alguma forma transparentes para a rede de maneira a, que não haja uma falência total. A tolerância a falhas pode conseguir-se através de replicação de dados, no entanto deverá existir um compromisso que relaciona a replicação de dados e a eficiência energética. Para contornar alguns problemas de fiabilidade dos sensores, utiliza-se roteamento em múltiplas rotas. Ganesan *et al* propuseram algoritmos de

3.1 Redes de Sensores sem Fios

roteamento de redes de sensores sobre múltiplas rotas. Para permitir a recuperação de falhas, os autores consideram a construção de dois tipos de rotas advindo a recuperação pela rota mais curta que perfaz o caminho entre o nó fonte e um destino. [27] [26]

- **Escalabilidade** - numa grande maioria das vezes a escalabilidade torna-se um fator crítico nas redes de sensores. A localização de interações através de toda a hierarquia da rede, bem como a agregação de novos nós sensores, tornam-se complexas. [26]

Modelos de Redes

Pode dizer-se que, uma rede de sensores cria um caminho entre o fenómeno e o observador e o objetivo do protocolo é de manter este caminho ou até múltiplos caminhos. Para além de, assegurar o caminho, o protocolo deverá ainda contemplar baixa latência e alta precisão, boa eficiência energética e ainda tolerância a falhas.

Existem diferentes estratégias no que compete à construção e manutenção de caminhos numa rede de sensores, dependendo da dinâmica da rede, estas são classificadas como: redes de sensores dinâmicas e redes de sensores estáticas. [26]

Redes de Sensores Estáticas

Neste tipo de redes não existe movimento entre os sensores, que estão a comunicar entre si, o observador e o fenómeno daí, ser uma rede estática. Nestas redes de sensores os algoritmos locais podem ser utilizados. Ou seja, um algoritmo local prevê que os sensores comuniquem apenas com os nós vizinhos da sua localidade. Um nó, anteriormente eleito, envia um resumo dos dados obtidos para um observador construindo assim, diferentes graus de hierarquia. Estes algoritmos aumentam a vida útil do sistema, uma vez que em termos de computação a exigência é baixa. No entanto, este tipo de redes exige um planeamento e uma configuração prévia no que compete à criação de caminhos de comunicação entre os sensores e o observador.

Redes de Sensores Dinâmicas

Contrariamente às redes estáticas, nas redes dinâmicas é possível o movimento ou seja, os sensores, o observador e o fenómeno/s podem ser móveis. No entanto, sempre que acontece o movimento, o caminho entre sensor/observador pode falhar, então o observador inicia um novo caminho. Numa fase inicial da configuração da rede, o observador prevê múltiplos caminhos e assim sendo, no caso da falha de um caminho, ele recorre à memória de maneira a, escolher outro caminho possível sendo que, a seleção deve passar sempre pelo caminho mais fácil entre sensor e o observador.

Segurança

Numa rede de sensores tem de ser cumpridos requisitos mínimos quando se levantam questões de segurança, tais como:

- **Confidencialidade dos dados** - uma rede de sensores não deve permitir que os seus dados sejam, de alguma forma, transmitidos a uma rede vizinha. Nalgumas soluções, a alternativa passa por criptografar os dados com uma chave secreta à qual, só o recetor terá acesso, garantindo assim a confidencialidade dos dados.
- **Autenticação de dados** - no caso da comunicação em duas partes, emissor-recetor, a autenticação de dados pode ser conseguida através de um mecanismo onde o emissor e o recetor partilham uma chave secreta. Quando, uma mensagem chega ao recetor com o código correto este reconhece-o, sabendo também quem foi o emissor que enviou a mensagem.
- **Integridade de dados** - a integridade dos dados assegura que os dados transmitidos não sofreram alterações durante a transmissão.

3.2 Zigbee

Baseado no padrão 802.15.4 do IEEE a Zigbee Alliance desenvolve o Zigbee. A Zigbee Alliance é uma aliança de empresas que se uniram para desenvolver este protocolo, sendo

3.2 Zigbee

já este padrão, uma marca registrada do grupo. O objetivo desta aliança, que já conta com mais de 400 membros, é permitir duma forma fácil e com baixos custos acrescentar a um produto inteligência, eficiência, segurança e fiabilidade [28].

Assim sendo, este padrão surge no mercado como uma tecnologia baseada em redes sem fios, para atender a necessidades do mercado tais como, baixo custo e baixos consumos energéticos.

A figura 3.1 exemplifica uma aplicação duma rede Zigbee numa habitação.

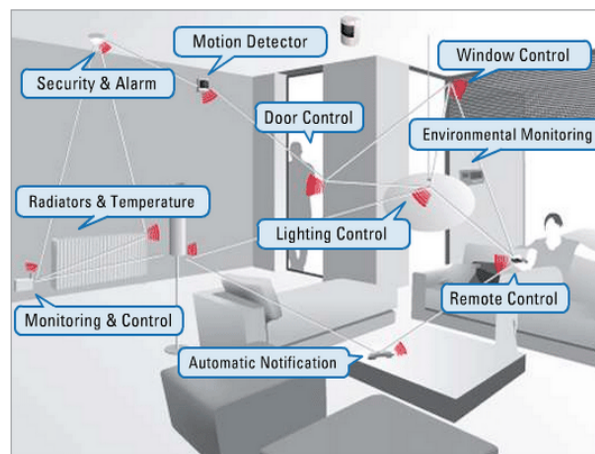


Figura 3.1: Rede de Sensores Zigbee numa Habitação [9]

Perspetiva Histórica

As primeiras pesquisas na área de RSSF surgiram a partir de iniciativas mais direcionadas para, redes com topologia de malha. A maioria das aplicações em vista para esta tecnologia eram de origem militar o que fez com que, existisse um forte investimento impulsionando assim a tecnologia.

As redes Zigbee começaram a ser pensadas por volta de 1998, quando se percebeu que tanto o Wi-Fi como o Bluetooth, não seriam os mais indicados para determinadas aplicações. Especialmente, redes com a capacidade de se auto-organizarem.

Perante esta necessidade, conjuntamente com o IEEE, formou-se uma aliança de empresas e colaboradores (Zigbee Alliance) que desenvolveram o padrão 802.15.4 referente ao protocolo Zigbee, tendo-o apresentado em maio de 2003.

No verão de 2003, um dos membros fortes da aliança, a Philips Semiconductors, deixou de investir. No entanto, a Philips Lighting continuou este projeto tendo hoje uma participação preponderante na aliança, ocupando cargos no conselho de administração da mesma.

A Zigbee Alliance anunciou em outubro de 2004 que, comparativamente com o ano anterior, os seus membros tinham duplicado e contavam já, com mais de 100 empresas associadas, em cerca de 22 países.

Em abril de 2005, a aliança ultrapassava as 150 empresas e em dezembro do mesmo ano, o número já era superior às 200 empresas.

No dia 14 de dezembro de 2004 foram publicadas as especificações conhecidas como ZigBee 2004 Specification. Estas vieram a ser aprovadas, na data de 13 de junho de 2005.

Em setembro de 2006, a aliança anuncia uma versão modificada do Zigbee. Durante o último trimestre de 2007, foi finalmente apresentado o Zigbee-Pro, sendo esta, a versão mais aprimorada do Zigbee. [9] [29]

Tipos de Dispositivos Físicos

Numa rede Zigbee podem operar dois tipos de dispositivos físicos, sendo eles:

- **FFD** (Full Function Device) - como o nome indica, este tipo de dispositivos pode desempenhar diversas funções (e.g. coordenação de rede, mecanismos de *routing*) sendo exigido um maior processamento e um maior consumo energético uma vez que, devem estar ativos, à escuta da rede e podem ainda comunicar com qualquer outro elemento da rede. Estes elementos podem assumir o papel de coordenador, *router*.
- **RFD** (Reduced Function Device) - estes dispositivos apresentam-se mais simples e limitados, podem apenas comunicar com elementos do tipo FFD. Numa rede Zigbee estes dispositivos assumem o papel de *end-device*. Na prática, estes dispositivos, podem apresentar-se como por exemplo, um sensor ou um interruptor de iluminação, sempre com menos capacidades quando comparado com um FFD.

Tipos de Dispositivos Lógicos

Existem três tipos de dispositivos lógicos numa rede Zigbee, sendo eles o coordenador, o *router* e o *end-device*.

- **Coordenador** - este é o elemento responsável por formar a raiz da rede, assumindo assim um papel preponderante sendo permitido apenas, um por rede. Este nó tem responsabilidades que vão desde a iniciação e formação da rede até à manutenção da mesma.
- **Router** - este elemento atua como um intermediário, transmitindo dados para outros dispositivos da rede. Este pode conectar-se a uma rede já existente ou aceitar conexões a partir de outros dispositivos, funcionando como um retransmissor.
- **End-Device** - é o dispositivo que apresenta menores consumos energéticos uma vez que, está em *sleep mode* a maioria do tempo.

Topologias de Rede

No padrão do IEEE 802.15.4 existem definidas três topologias básicas, que o Zigbee também assume como possíveis configurações das suas redes.

Topologia em Estrela

A tipologia em estrela, 3.2, consiste num coordenador e um número indefinido de *end-devices*. Nesta configuração é adotado um modelo de rede do tipo mestre-escravo. Os dispositivos *end-device* enviam a informação para o coordenador uma vez que, este é o único elemento com o qual podem comunicar. Esta tipologia não permite uma evolução, por exemplo para uma rede da topologia malha.

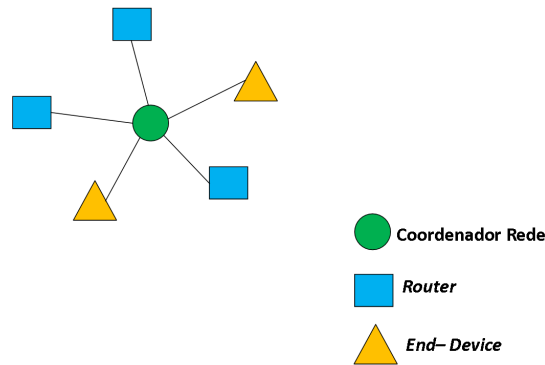


Figura 3.2: Tipologia em Estrela

Topologia em Malha

A topologia em malha, 3.3, apresenta uma grande robustez e tolerância a falhas. Esta, apesar de complexa, cada nó pode comunicar com outro nó desde que este esteja ao seu alcance.

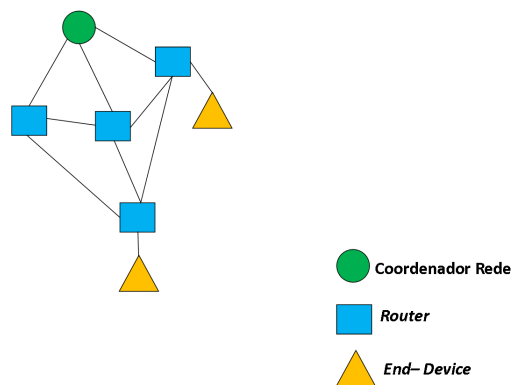


Figura 3.3: Topologia em Malha

Como curiosidade, o nome do Zigbee advém da analogia do funcionamento em malha e é comparado ao modo de operação das abelhas. As abelhas voam em forma de zig-zag e dessa forma durante o voo/trabalho comunicam com outros membros da sua colmeia dados como, distância, localização e direção para encontrar alimentos. Uma malha Zigbee

3.2 Zigbee

dispõe de vários caminhos entre cada nó, e no caso de avaria de um elemento é possível mudar o percurso eliminando falhas do nó inoperacional.

Topologia em Árvore

Esta topologia é similar à malha, figura 3.4 no entanto os dados e mensagens de controlo transmitem-se assumindo uma estrutura hierárquica em que o coordenador assume o papel principal.

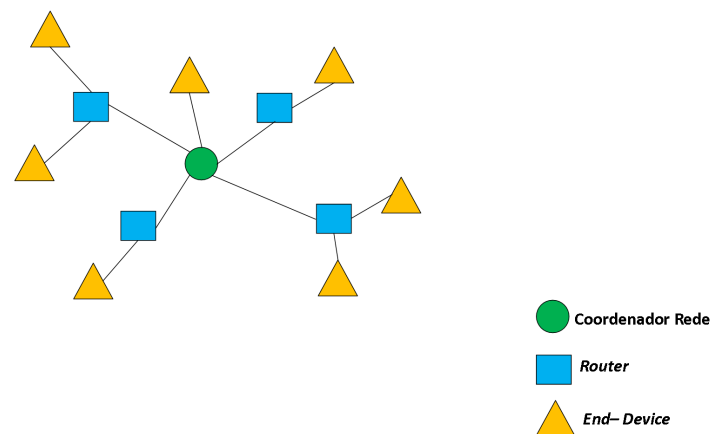


Figura 3.4: Topologia em Árvore

Arquitetura Protocolar

Um dos principais objetivos para a existência de uma arquitetura passa pelo facto de, permitir que os componentes utilizados num determinado sistema possam ser utilizados noutra sistema.

A arquitetura do Zigbee define então a rede, parâmetros de segurança e serviços de aplicação. Esta está dividida em 5 camadas **PHY** (Camada física), **MAC** (Camada de Controlo e Acesso ao Meio), **NWK** (Camada de rede), **APS** (Suporte para Aplicação) e Aplicação, onde cada camada tem os seus serviços e os disponibiliza às camadas superiores. A interface entre as diferentes camadas (seja superior ou inferior) é garantido pelo SAP (Service Access Point) [30].

A arquitetura do protocolo é baseada no padrão 802.15.4 do IEEE que define camadas físicas e de acesso ao meio. Enquanto, a Zigbee Alliance define as camadas de rede e aplicação e as outras camadas são definidas pelo IEEE.

Na figura 3.5, pode-se observar a arquitetura protocolar do Zigbee.

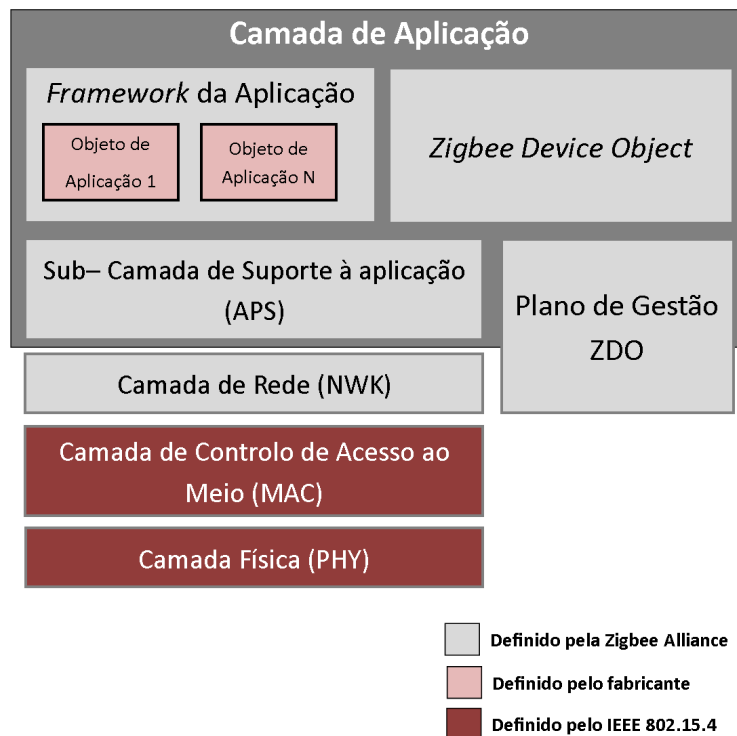


Figura 3.5: Arquitetura do Zigbee

Camada PHY

A camada física ou camada PHY é a camada mais próxima do *hardware*, sendo definida pela norma 802.15.4 do IEEE. Esta camada controla diretamente a comunicação com o rádio *transceiver*. É aqui, que se lida com todas as tarefas que estejam relacionadas com o acesso ao *hardware*, incluindo possíveis tarefas como: [23] [21]

- **Deteção Energia (ED)** - é uma estimativa da potência do sinal recebido através da largura de banda de um canal do IEEE 802.15.4. Esta característica destina-se a ser usada pela camada de rede para apoio ao algoritmo da seleção do canal.

3.2 Zigbee

- **Indicador da Qualidade de Conexão (LQI)** - a medição do LQI e a caracterização da força/qualidade de um pacote recebido, são características que se tornam numa mais-valia para as camadas de rede ou aplicação.
- **Limpeza do Canal de Acesso (CCA)** - esta ferramenta é utilizada para avaliar o estado do meio. O CCA é realizado usando um de três métodos: energia acima do limite, sentido do transporte de energia acima do limite ou apenas o sentido do transporte de energia.
- **Seleção do Canal de Frequência** - através desta característica seleciona-se um dos 27 canais possíveis de comunicação depois de, receber a solicitação do MAC para a transmissão dos dados.

Tabela 3.1: Diferentes Frequências Zigbee [21]

Parâmetros/Frequência	Canais	Taxa de Transmissão	Região
868 MHz	1	20 Kbps	Europa
915 MHz	10	40 Kbps	EUA
2,4 GHz	16	256 Kbps	Resto do Mundo

- **Canais Múltiplos** - o padrão do IEEE 802.15.4 prevê a capacidade da coexistência com outras redes (nomeadamente o Wi-Fi) para isso, ele divide a banda de 2,4 GHz em 16 canais possíveis, com uma largura de 2 MHz e separados de 5 MHz, como se pode analisar na figura 3.6. [10]

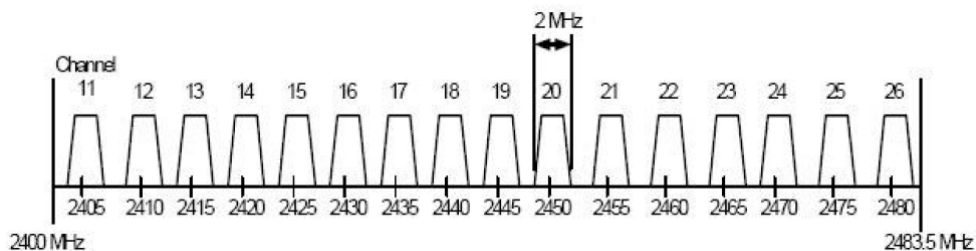


Figura 3.6: Espectro do Padrão IEEE 802.15.4 na Banda 2,4 GHz [10]

- **Ativação ou Desativação de um Rádio *Transceiver*** - permite que o rádio

possa estar em três modos possíveis: transmissão, receção ou em *sleep mode* dependendo do pedido proveniente da camada MAC.

O padrão 802.15.4 pertence ao grupo das tecnologias com espalhamento de espectro. O espalhamento espectral é um mecanismo de transmissão de dados em que, este utiliza para transmitir a informação, uma largura de banda bastante superior à mínima necessária.

Assim, esta técnica tem a capacidade de rejeitar interferência que exista no ambiente da rede de sensores. Na figura 3.7, pode visualizar-se o sinal de banda estreita (Narrow-band Signal) e ainda o sinal já depois de ter passado pelo processo do espalhamento (Spread Signal).

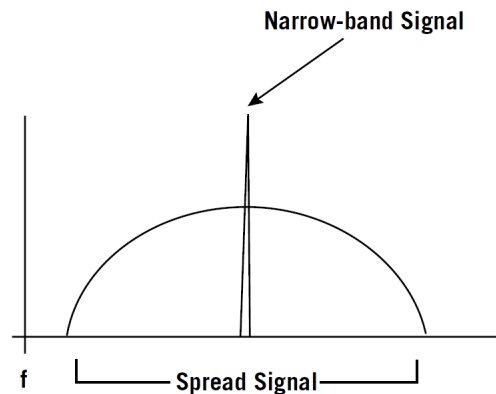


Figura 3.7: Espalhamento de Sinal [11]

A técnica de espalhamento do sinal é realizada antes da transmissão dos dados e, recorre a um código de pseudo-ruído que é independente dos dados de informação. O código é uma sequência binária, periódica e apresenta uma forma de onda similar ao ruído. Este sinal é aplicado a um modelador balanceado que, somado ao sinal original resulta num sinal modelado mas com maior largura de banda.

Do lado recetor, este utiliza o mesmo código para aceder à informação inicial. Através destes mecanismos a mensagem é camuflada no ruído de fundo ou seja, o sinal é transmitido com uma potência média baixa. No caso de um recetor não desejado, este não conhece o código de pseudo-ruído ignorando o sinal uma vez que, o considera como ruído de banda larga. Este sistema acrescenta então segurança à transmissão de dados.

Camada MAC

A camada MAC providencia a interface entre a camada física e a camada de rede, tendo o papel de controlar o acesso aos diferentes canais RF (Rádio Frequência) usando mecanismos para prevenir colisões CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

O CSMA-CA é uma técnica para evitar colisões, no que compete às comunicações nas RSSF. Este método consiste na escuta do canal para a transmissão, mais concretamente, antes do nó enviar um pacote de dados o dispositivo assegura-se que o canal está livre. No caso do canal de comunicação se encontrar ocupado, o nó espera um período de tempo, tentando retransmitir o pacote após esse tempo. Se o canal estiver livre, acontece a comunicação, caso contrário irá esperar novamente por outro período de tempo (desta vez menor) e assim sucessivamente.

Nesta camada são definidos dois tipos de dispositivos suportados, os FFD e RFD.

A camada MAC é responsável por gerar e sincronizar *beacons*. Os *beacons* são pacotes que o coordenador usa de maneira a, se sincronizar com outros dispositivos da rede. Assim, podem traduzir-se dois modos de operação da rede, o modo *beaconing* ou o modo *non beaconing*.

No modo *beaconing* todos os dispositivos da rede estão coordenados. Para isso, o coordenador da rede envia para todos os dispositivos uma *superframe* que se inicia por um *beacon* que tem funções de sincronização, informações sobre a *superframe* e ainda informações relativas ao controlo da rede.

A *superframe* pode ser visualizada na figura 3.8 e é dividida em duas partes, uma ativa e outra inativa. A porção ativa é dividida em *slots* de tamanho fixo e contém um CAP (Período de Contenção de Acesso) onde os nós competem pelo acesso ao canal usando o protocolo dividido CSMA e um CFP (Período de Contenção Livre) onde os nós transmitem sem disputar o acesso ao canal e usam GTS (Intervalo de Tempo Garantido) atribuído e gerido pelo coordenador da rede. [12]

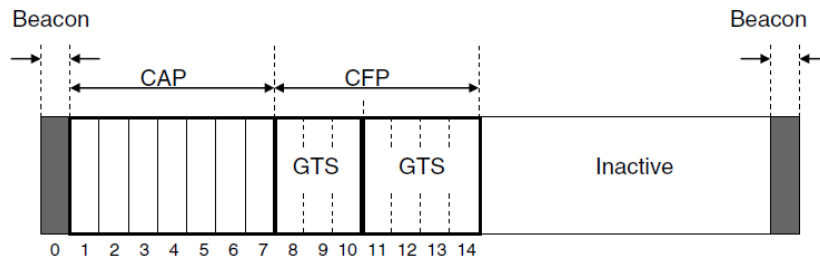


Figura 3.8: *Superframe* da Camada MAC [12]

No modo *non-beaconing* todos os nós na rede podem enviar dados quando o canal estiver livre. Ou seja, o coordenador não utiliza a *superframe* é usado apenas o mecanismo de contenção de acesso ao canal CSMA-CA. [21]

Adicionalmente à transferência de dados, na camada MAC também existe a funcionalidade que permite a procura para a seleção de um canal. Para este procedimento é enviado um *beacon* ouvindo e pedindo uma mensagem no caso de se tratar de um FFD ou um *beacon* ouvindo no caso de se tratar de um RFD, de maneira a localizar os elementos da rede.

Camada de Rede

A camada de rede representa a interface entre a camada de aplicação e a camada MAC. Esta camada é responsável pela formação da rede e pelo *routing*. O *routing* é o processo de seleção de caminhos para retransmitir mensagens para o dispositivo de destino. Esta formação de rede envolve os nós que entram e saem da rede através de tabelas de *routing* e ainda alocação de endereços. Esta camada permite dispositivos de baixa potência de forma a, maximizar a vida da bateria e ainda proporcionar uma vasta segurança de rede. [21]

Camada de Aplicação

A camada de aplicação é a mais alta do protocolo e acolhe os objetos da aplicação. O padrão do Zigbee separa esta camada em três subcamadas, aplicação e suporte, objetos

3.2 Zigbee

dos dispositivos Zigbee e aplicação *framework* definida pelo fabricante como objeto de aplicação. [12]

- **Subcamada de Aplicação e Suporte (APS)** - esta subcamada providencia o interface entre a camada de aplicação e de rede através de, um conjunto de serviços generalizado, providenciado pelos dados da APS e entidades de gestão. A subcamada processa mensagens de entrada/saída com a finalidade de transmitir com segurança, receber mensagens e gerir chaves criptográficas.

As camadas superiores emitem então primitivas para a APS de maneira a, utilizar os seus serviços. A parte relativa à segurança desta subcamada tem serviços como: estabelecer chave, transporte da chave, atualização do dispositivo, remoção de dispositivos, solicitação de chave, entidade de autenticação e tabela de configuração de permissões.

- **Objetos dos Dispositivos Zigbee (ZDO)** - esta subcamada é por definição a chave do Zigbee uma vez que, aborda as suas três principais operações, que são a segurança, *binding* e descoberta de serviços.

Os serviços de segurança no ZDO têm a função de autenticação e de obtenção de chaves necessárias para a encriptação de dados. O gestor da rede (coordenador) tem a seu cargo a função de criar uma rede de área pessoal (PAN) para se interligar.

O gestor de binding tem a função de ligação dos nós e os recursos e aplicações, mas também dos dispositivos aos canais.

A utilidade da descoberta de serviços é descobrir nós e questionar o endereço MAC do coordenador/*router* através da utilização de mensagens com um único destino.

- **Objeto aplicação (APO)** - esta subcamada é responsável por controlar e gerir as camadas do protocolo num dispositivo Zigbee. A cada APO é atribuído um número único, que outro APO, pode usar numa extensão para o endereço de dispositivo da rede de forma a interagir com ele. Podem existir mais de 240 APOs num único dispositivo Zigbee. A aplicação em causa deve estar de acordo com o perfil de uma

aplicação existente. O perfil da aplicação define o formato das mensagens bem como, protocolos de forma a, ser possível a interação entre os objetos da aplicação.

A *framework* do perfil da aplicação permite que, diferentes fabricantes construam e vendam de forma independente. No entanto, os dispositivos podem operar entre eles em determinados perfis da aplicação.

3.3 Doenças das Vinhas

As doenças nas vinhas representam perdas e prejuízos na viticultura. Com o desenvolvimento deste projeto pretende-se prever a ocorrência destas pragas de maneira a, minimizar os seus efeitos.

Como tal, nesta secção será feito um estudo sobre as doenças que permitirá perceber o seu comportamento.

Doença Oídio

O oídio da videira é considerada como a principal doença das vinhas, esta teve origem na costa leste do EUA por volta do ano de 1835 tendo chegado a Inglaterra em 1845 e invadindo o resto da Europa nos anos seguintes. No ano de 1852 verificou-se um forte ataque desta doença em França, tendo atingindo perdas de produção entre 50% e 70% causando um grande impacto financeiro. [13]

Sintomatologia

O oídio ataca todas as partes verdes da videira. Nas folhas desenvolve-se na sua parte superior um pó acinzentado, figura 3.9, originando manchas de tonalidade castanha na parte inferior da folha, como presente na figura 3.10.

Quando os ataques se verificam numa fase inicial do crescimento da planta, as folhas podem apresentar-se pouco desenvolvidas e com aspeto crispado.

3.3 Doenças das Vinhas



Figura 3.9: Manchas de Oídio na Parte Superior da Folha [13]



Figura 3.10: Manchas Provocadas pelo Oídio na Parte Inferior da Folha [13]

Em relação aos sarmentos, o oídio manifesta-se apresentando manchas de coloração esverdeada, como se pode verificar na figura 3.11, evoluindo para uma cor acastanhada e nos piores casos assume uma tonalidade negra.



Figura 3.11: Manchas de Oídio nos Sarmentos [13]

As inflorescências e os bagos apresentam-se cobertos com uma poeira acinzentada verificando-se, numa fase posterior, o definhar dos botões da flor, como apresentado nas figuras 3.12 3.13.



Figura 3.12: Inflorescência com Oídio da Videira [13]



Figura 3.13: Oídio nos Bagos de Uva da Videira [13]

No caso de ser um ataque forte, pode nem acontecer o desenvolvimento dos bagos, acabando estes por secar. Numa fase em que os cachos já se encontram desenvolvidos ou seja, os bagos têm maior dimensão, o oídio pode aparecer cobrindo o cacho na totalidade com uma camada pulverulenta e abundante, figura 3.14, que pode parar o crescimento do bago, e até, em piores instâncias, racha-los. [13]



Figura 3.14: Cacho de Uvas Coberto com Oídio [13]

3.3 Doenças das Vinhas

Prejuízos

Segundo a ADVID (Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense) dependendo dos ataques da doença, podem ocorrer necroses e até morte de alguns membros constituintes das vinhas. Assim sendo, em função da gravidade do ataque e do estado de desenvolvimento da planta, a ocorrência da infeção pode afetar o crescimento da planta e/ou a sua fertilidade traduzindo-se numa privação direta de rendimento. Como consequência deste facto, e caso o ataque seja forte, as perdas podem atingir valores que se situam entre os 80% e os 100% da produção. [13]

Epidemiologia

Na primavera, quando as condições climáticas são favoráveis (temperatura maior que 15°C e humidade relativa maior que 25%) inicia-se o desenvolvimento do fungo. A sua origem pode acontecer pela germinação do micélio hibernante dos gnomos ou pela contaminação de ascósporos provenientes das cleistotecas. Depois da germinação dão origem à formação de conidióforos e conídios, figura 3.15, originando-se assim, a infeção primária e posteriormente ciclos secundários (quando apresenta um aspeto pulverulento). Outros fatores ambientais como a luz solar, o vento e a chuva também influenciam o desenvolvimento do oídio. [13]



Figura 3.15: Aspeto dos Conidióforos e Conídios do Oídio [13]

Doença Míldio

Tal como oídio, o míldio também é considerado como uma das principais doenças das vinhas, esta também é conhecida como plasmopara vitícola. O míldio é então um fungo,

considerado como um endoparasita uma vez que, se desenvolve no interior dos órgãos da planta, neste caso no interior das folhas da videira. [31]

Sintomatologia

Nas folhas manifesta-se inicialmente, sob o aspeto de uma mancha de óleo translúcida o que a torna visível nas duas páginas da folha, como ilustrado na figura 3.16. Numa fase posterior surge a esporulação do fungo na página inferior da folha, formando manchas esbranquiçadas, figura 3.17.



Figura 3.16: Manchas de Míldio nas Folhas [14]



Figura 3.17: Esporulação do Míldio nas Folhas [14]

No caso de fortes ataques da doença verifica-se dessecação ou até quedas das folhas, como na figura 3.18. No final do verão, por vezes, aparecem pequenas manchas necrosadas nas nervuras das folhas e é conhecido como o míldio mosaico, figura 3.19.

Nas florescências e cachos surge com uma aparência de bolor branco que posteriormente, assume uma pigmentação acastanhada. Nos bagos surgem manchas com coloração castanha que assumem a forma de dedadas comprimindo o bago, figura 3.20. [31]

3.3 Doenças das Vinhas



Figura 3.18: Manchas Necrosadas [14]



Figura 3.19: Míldio Mosaico [14]



Figura 3.20: Ataque de Míldio em Cachos de Uvas [14]

Prejuízos

Segundo a empresa Syngenta os prejuízos manifestam-se essencialmente pela perda de capacidades da planta a nível da realização da fotossíntese, o que se traduz numa diminuição da qualidade das uvas e nos piores casos perda total de produção. [31]

Epidemiologia

Este fungo hiberna sob a forma de oósporos no solo. Estes esporos são muito resistentes e podem viver até 5 anos no solo.

Esta doença surge normalmente, em primaveras muito chuvosas existindo até a "regra dos três 10", que contempla: temperatura superior a 10 °C, precipitação acima de 10 milímetros e pântanos com mais de 10 centímetros.

Na primavera, quando a temperatura do solo estiver perto dos 13° C e existir alguma humidade, acontece a germinação do oósporo que por sua vez, forma o esporângio. Quando o esporângio se encontra numa fase em que já está desenvolvido, liberta zoósporos que são transmitidos às folhas novas da videira através da chuva ou pela ação do vento.

No entanto, a primeira infeção acontece quando se verifica a regra dos três 10. Caso as condições ambientais sejam favoráveis (humidade relativa elevada 92 a 100%, e temperatura de germinação dos oósporos entre 11 °C e 32 °C), o tempo decorrido entre a penetração e germinação na planta é de apenas 90 minutos. No entanto, o tempo entre a infeção e o aparecimento dos primeiros sinais na planta, que se manifestam através de manchas oleadas na folha, é de sensivelmente 4 dias. [32]

Míldio *versus* Oídio

O míldio penetra nos próprios órgãos da planta e o oídio manifesta-se a nível superficial.

As manchas a nível das folhas causadas pelo míldio são translúcidas o que faz com que, sejam visíveis pelas páginas inferior e superior da folha, enquanto as manchas provocadas pelo oídio são visíveis apenas num lado das folhas (pelo menos numa fase inicial), tendo uma coloração branca acinzentada e cheiro a mofo.

Na tabela 3.2 é possível analisar as condições para o desenvolvimentos destas pragas nas vinhas.

Tabela 3.2: Comparativo Doenças na Vinha

Doença	Temperatura	Humidade
Oídio	> 15 °C	> 25 %
Míldio	11 a 32 °C	> 92 %

Rede de Sensores sem Fios

O desenvolvimento da RSSF é uma fase de grande importância neste projeto de dissertação uma vez que, esta rede será responsável pela obtenção e envio dos dados provenientes dos sensores.

Assim, serão apresentadas a fase de análise e de desenvolvimento por forma a, serem compreendidas as diferentes etapas do projeto.

4.1 Análise

A RSSF é a tecnologia de principal destaque neste projeto, como tal serão apresentadas algumas considerações importantes.

Existem no mercado diferentes soluções de *hardware* para a implementação de uma RSSF com protocolo Zigbee. Mas, a existência e disponibilidade de módulos Xbee no laboratório onde foi desenvolvido o projeto fez recair a escolha sobre esta opção.

Existem duas tipologias de *hardware* físico Xbee, estas podem-se dividir em dois grupos: série 1 e série 2.

Os módulos da série 1 empregam um processador Freescale sendo adequados para implementar comunicações do tipo ponto-a-ponto, estrela e malha (usando um *firmware* proprietário DigiMesh). [22]

Os módulos da série 2 utilizam um processador da EmberNetworks que permite implementações de comunicações em malha. Este tipo de comunicação em malha providencia uma rede de sensores mais robusta.

Comparando outros aspetos da série 2 em relação à série 1, esta permite comunicações de maior alcance, os módulos apresentam menores consumos energéticos entre outras características tal como, se pode analisar na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Comparativo Xbee [22]

	Xbee Série 1	Xbee Série 2
Alcance (Interior)	30 m	40 m
Alcance (Exterior)	100 m	120 m
Potência Transmissão	1 mW (0 dbm)	2 mW (3 dbm)
Taxa Transmissão	250 Kbps	250 Kbps
Tensão Alimentação	2.8 - 3.4 V	2.8 - 3.6 V
Corrente - <i>Transmit</i>	45 mA (3.3 V)	40 mA (3.3 V)
Corrente - <i>Idle/Receive</i>	50 mA (3.3 V)	40 mA (3.3 V)
Corrente - <i>Power-Down</i>	10 uA	1 uA
Frequência	2.4 GHz	2.4 GHz
Tipologias de Rede	Ponto-a-Ponto; Estrela; Malha ¹	Ponto-a-Ponto; Estrela; Malha
Número de Canais	16	16

Em resumo, a série 1 torna-se mais adequada quando se tratam de redes de sensores mais pequenas, sistemas de menor dimensão, enquanto o modelo da série 2 foi desenhado para redes de maior dimensão e mais robustas. As duas séries não são interoperáveis ou seja, cada rede de sensores deve usar apenas módulos de uma série.

Em relação à potência de transmissão, ambas as séries (série 1 e série 2) oferecem duas versões possíveis, a versão normal e a versão Pro. A versão normal é a mais simples e a Pro oferece maior potência de transmissão apesar de, em termos de tamanho e custos ser superior.

¹Disponível com *firmware* DigiMesh



Figura 4.1: Módulo Xbee Série 2 (Antena Chip) [15]



Figura 4.2: Módulo Xbee Série 2 Pro (Antena de Fio) [15]

Tipos de Antenas

Para a transmissão e recepção de sinais, os módulos precisam de antenas. Existem diferentes maneiras de construir antenas e conseqüentemente, existem no mercado diferentes opções:

Antena de Fio

Este dispositivo tem apenas um fio para cima do corpo do módulo, como pode ser visto na figura 4.2.

Esta solução é simples, oferece transmissão omnidirecional, o que se traduz numa distância de transmissão máxima em todas as direções (assumindo que o fio se encontra numa posição de 90° em relação ao corpo do módulo). Apesar de tudo, este fio é frágil exigindo manuseio cuidadoso com os dispositivos.

Antena *Chip*

Este *chip* é cerâmico e implementado no corpo do rádio, figura 4.1. Esta implementação permite maior resistência e menor tamanho mas também, custos maiores. Estes *chips* têm um padrão de radiação cardioide o que significa que o sinal é atenuado quando é proveniente de diferentes direções e normal quando a transmissão/recepção do sinal é na direção em frente ao *chip*. No entanto, quando se trata de situações em que o espaço é reduzido, ou de casos em que o módulo esteja exposto a algum *stress* mecânico, esta solução é a mais indicada comparativamente, ao anteriormente apresentado.

Antena PCB

Este modelo foi introduzido na versão do Xbee Pro S2B, a antena é integrada na placa do circuito impresso do módulo, como presente na figura 4.3.

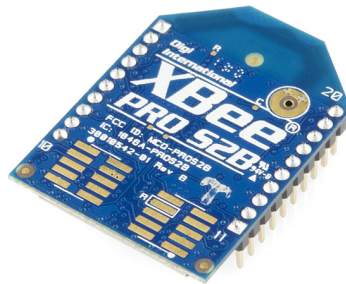


Figura 4.3: Módulo Xbee Série 2 Pro (Antena PCB) [15]

Conector U.FL

Este modelo é utilizado em situações em que seja necessário uma antena externa, figura 4.4. Imaginando uma situação em que o módulo está inserido numa caixa de metal utilizando esta versão de antena, conectada externamente, o sinal já não sofreria atenuações provocadas pela caixa de metal. Por vezes, também se torna vantajoso quando se pretende utilizar antenas diferentes do que as do Xbee, com características de transmissão especiais.

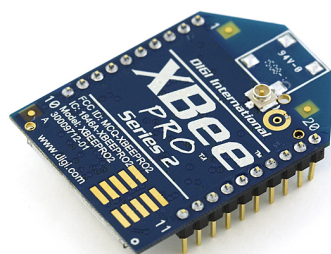


Figura 4.4: Módulo Xbee Série 2 Pro (Conector U.FL) [15]

4.1 Análise

A versão RSPMA, figura 4.5, é um tipo diferente mas é similarmente, um tipo de conector U.FL.

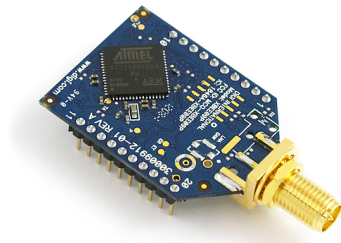


Figura 4.5: Módulo Xbee Série 2 Pro (Conector RSPMA) [15]

Adaptador USB

Por forma a, configurar os módulos, receber/enviar dados entre o computador e um módulo XBee é necessário um adaptador para conectar o módulo ao computador através de uma porta USB. Ou seja, este elemento funciona como uma ponte de ligação entre o computador e o módulo. Normalmente, é compatível com as diferentes versões dos módulos (série 1 e série 2).

Perante esta necessidade, o mercado oferece soluções de diferentes marcas e modelos, a título de exemplo, pode visualizar-se uma opção na figura 4.6.

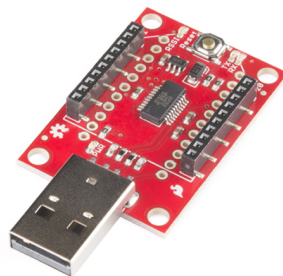


Figura 4.6: Adaptador USB Módulo Xbee [15]

Pinout Xbee

Na tabela 4.2 é possível consultar as funções dos diferentes pinos que constituem o módulo xbee.

Tabela 4.2: Pinout Xbee

Pino	Nome	Descrição
1	VCC	Alimentação 3.3 V
2	DOUT	Comunicação (TX)
3	DIN	Comunicação (RX)
4	DIO12	Entrada/Saída Digital 12
5	RESET	<i>Reset</i> ao Módulo
6	PWM0/RSSI/DIO10	Saída Analógica 0; Intensidade do Sinal Recebido; Entrada/Saída Digital 10
7	DIO11	Entrada/Saída Digital 11
8	Reservado	
9	DTR/SLEEP_RQ/DIO8	Data Terminal Ready; Controlo <i>Sleep Mode</i> ; Entrada/Saída Digital 8
10	GND	Ligação de Massa
11	DIO4	Entrada/Saída Digital 4
12	CTS/DIO7	Clear to Send; Entrada/Saída Digital 7
13	ON/SLEEP	Indicador de Módulo em <i>Sleep Mode</i>
14	VREF	Não usado na Série 2
15	ASSOC/DIO5	Indicador de Associação do Módulo à Rede; Entrada/Saída Digital 5
16	RTS/DIO6	Request to Send; Entrada/Saída Digital 6
17	AD3/DIO3	Entrada Analógica 3; Entrada/Saída Digital 3
18	AD2/DIO2	Entrada Analógica 2; Entrada/Saída Digital 2
19	AD1/DIO1	Entrada Analógica 1; Entrada/Saída Digital 1
20	AD0/DIO1/COMMIS	Entrada Analógica 0; Entrada/Saída Digital 0; Commissioning Button

X-CTU

O X-CTU é uma ferramenta para configuração dos módulos Xbee, este é um programa gratuito disponibilizado pela Digi.

Cada rádio Xbee é composto por um processador com um *firmware* dedicado. Este tem responsabilidades variadas, que vão desde endereçamento, segurança, comunicação e ainda outras funções utilitárias. No entanto, o *firmware* permite diferentes configurações como por exemplo, o modo de leitura dos sensores que estão conectados às respetivas entradas do módulo. Como tal, para fazer as alterações pretendidas ou até mesmo para fazer atualização do *firmware*, deve utilizar-se a ferramenta X-CTU.

Configuração dos Módulos Xbee

Seguidamente, serão apresentados conceitos importantes relativamente, à configuração dos módulos Xbee enquanto operadores de uma rede.

Endereçamento

Comparando com um exemplo prático pode pensar-se no facto de cada pessoa tem uma, ou mais moradas, em que cada morada tem a sua função específica (por exemplo, morada de casa, morada de email). No caso dos módulos Xbee, acontece uma situação similar, cada módulo tem mais do que uma morada que tem funções diferentes.

Assim sendo, cada módulo tem uma morada única, que é o seu número de série composto por 64 bits, este número é único em relação ao universo dos módulos.

Existe também uma morada de 16 bits, que é atribuída dinamicamente pelo coordenador sempre que o elemento se conecta a uma rede. Esta morada é única apenas na rede em que o módulo está inserido.

Por fim, existe ainda a identificação do nó, que pode ser uma palavra e tem a finalidade de facilitar a sua leitura ao ser humano.

Na tabela 4.3 pode-se analisar em detalhe os dados relativos ao endereçamento.

Tabela 4.3: Endereçamento Módulos Xbee

Tipo	Exemplo	Exclusividade
64 bit	0013A20040A821DE	Único
16 bit	23F7	Único numa Rede
Identificador do Nó	XPTO	Exclusividade não é Garantida

PAN

Cada rede cria uma região identificando-o com um número, a morada PAN, de 16 bits. Assim sendo existem 65535 possibilidades diferentes de moradas PAN que por sua vez, têm a capacidade de gerar outras 65535 moradas de rádios (16 bits). O endereço PAN deve ser configurado no rádio Xbee, através do X-CTU, uma vez que é através desta morada que o coordenador vai permitir que o elemento pertença à sua rede.

Seleção do Canal de Comunicação

Assumindo que, o endereçamento ocorreu corretamente, quando o coordenador cria a sua rede através da morada PAN escuta todos os canais disponíveis e de entre 16 (a 2.4 Ghz) seleciona um para as comunicações entre os módulos na rede. Assim, todos os elementos da rede devem usar o mesmo canal para comunicar. Geralmente, o processo de seleção de canal ocorre de forma autónoma por parte do rádio Xbee sem exigir atenção do utilizador.

Modo de Comando *versus* Modo Transparente

Todos os Xbee comunicam entre si da mesma forma. Estes podem usar duas configurações possíveis de comunicação local, o modo API e o modo AT. O modo API usa encriptação de dados, no qual se torna difícil leitura dos mesmos, apesar de ser mais seguro. Por outro lado, o modo AT foi desenvolvido a pensar numa leitura fácil e pode ainda assumir dois modos: modo de comando e modo transparente.

- **Modo Transparente** - é o modo que os módulos assumem por defeito e tem esta nomenclatura, porque os rádios passam informação tal como a recebem, de forma

4.2 Metodologia

transparente. Este modo é utilizado quando se pretende enviar informação através dos rádios para um rádio de destino remoto.

- **Modo de Comando** - é dedicado às situações em que se pretende falar, de uma forma direta, com um determinado módulo. Contrariamente, às situações em que a informação passa por diferentes módulos, um módulo em modo de comando deverá parar, escutar e reagir (responder aos dados pedidos).

Normalmente os rádios Xbee estão configurados no modo transparente.

4.2 Metodologia

O objetivo principal desta dissertação de mestrado passa pela construção duma RSSF para prever e/ou detetar doenças nas vinhas. Como tal, os parâmetros do fenómeno ambiental que se pretende observar são essencialmente, a temperatura e humidade, uma vez que estes são determinantes na ocorrência de doenças nas vinhas.

Para viabilizar a RSSF são necessários cumprir alguns requisitos mínimos, sendo eles:

- Baixos consumos energéticos de maneira a, aumentar a autonomia do sistema.
- Sistema de baixo custo.
- Seja de pequenas dimensões de maneira a diminuir o impacto visual do sistema no terreno.
- Ausência de cablagens para aumentar a flexibilidade do sistema no terreno.

Nó Sensor

Estes dispositivos têm a responsabilidade da monitorização dos parâmetros que se pretende observar, estarão distribuídos pela vinha a monitorizar. Para além de recolherem dados sobre temperatura e humidade, ainda os transmitem até uma estação base.

Cada nó sensor pode ser dividido em quatro funções distintas: alimentação, sensores, processamento e transmissão dos dados. A função da alimentação é, nesta fase enquanto

protótipo, cumprida por uma pilha de 9 V ou por uma fonte de alimentação, que se segue de um regulador de tensão por forma a obter 3,3 V no módulo. Os sensores responsáveis por traduzir as alterações a nível dos fenómenos ambientais são o sensor LM35DZ no caso da temperatura e o sensor HIH5030 relativamente à humidade. O processamento e transmissão de dados estão a cargo do módulo Xbee Pro S2B.

Na figura 4.7 pode analisar-se a arquitetura simplificada de um dispositivo nó sensor, que se aplica nos casos em que este integre um rádio com funções de *router* ou *end-device* na rede. O nó coordenador utiliza apenas o radio xbee integrado num adaptador e conectado ao computador (estação base).

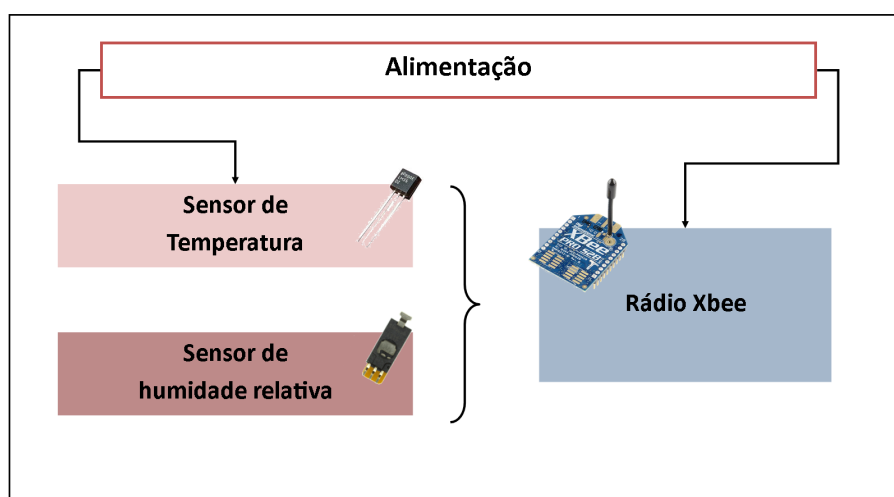


Figura 4.7: Diagrama da Arquitetura do Nó Sensor

Sensores

No caso do sensor de humidade, a escolha recaiu sobre o sensor HIH-5030 pelo facto de, ser um sensor que apresenta compatibilidade elétrica (alimentação 3,3 V) com os módulos Xbee. Este é um sensor com saída analógica, baixo custo e apresenta um erro satisfatório perante as necessidades do projeto.

4.2 Metodologia

No que compete ao caso da temperatura, os fatores de decisão para a escolha foram similares aos anteriores e a escolha, foi o sensor de temperatura LM35DZ.

Sensor de Humidade HIH-5030

O HIH-5030, figura 4.8, é um sensor que avalia a humidade relativa. Este sensor deve ser alimentado por uma tensão de 2,7 V a 5,5 V, opera numa gama de temperaturas que varia entre os $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentando uma precisão de $\pm 3\%$. A saída deste sensor é analógica e o seu encapsulamento é do tipo SMD. As suas dimensões são reduzidas, $8.59 \times 4.17 \times 2.67\text{ mm}$ e tem um custo de 7,68 €.



Figura 4.8: Sensor de Humidade HIH 5030 [16]

Sensor de Temperatura LM35DZ

O LM35DZ é um sensor de temperatura fabricado pela National Semiconductor. Este sensor aduz na sua saída um sinal linear de 10 mV por cada $^{\circ}\text{C}$ (por exemplo $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ correspondem a uma saída de 300 mV), sendo o *pinout* apresentado na figura 4.9.

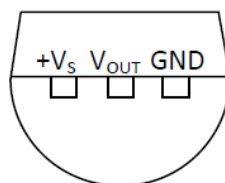


Figura 4.9: *Pinout* Sensor de Temperatura LM35DZ [17]

Este sensor oferece uma gama de temperaturas entre os $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ com uma margem de erro de $\frac{1}{4}\text{ }^{\circ}\text{C}$ no entanto, apesar de ter um baixo erro é um sensor de baixo custo (preço 1,45 €).

Ligação dos Sensores ao Módulo Xbee

Nesta solução, contrariamente à maioria das soluções encontradas na pesquisa desenvolvida, os sensores são ligados diretamente ao módulo xbee e para tal, existem diversas razões, mas o motivo proeminente está relacionado com a redução de custos.

O facto de não ser necessária a adição de um microcontrolador extra, reduz os custos em termos de espaço, peso, energia.

Esta solução também traz algumas desvantagens, pois o módulo Xbee dispõe de apenas 10 entradas/saídas. Mas, a limitação de maior destaque, passa pelo facto de, não poder ser imputada lógica ao nível da porta, ou seja, não podem ser tomadas decisões a este nível, os dados obtidos pelos sensores são assim transmitidos.

Assim sendo, optou-se pela solução de se ligar os sensores de forma direta ao módulo Xbee, por ser suficiente perante as necessidades deste projeto.

Protótipo

Todos os nós sensores (dois *routers* e um *end-device*) da rede foram desenvolvidos no LAR (Laboratório de Automação e Robótica).

No caso do nó coordenador não se desenvolveu hardware uma vez que, o módulo Xbee é integrado num adaptador que faz a conexão ao computador via USB.

No que se refere ao nó sensor o desenvolvimento passou por duas fases distintas, numa fase inicial implementou-se o sistema numa *breadboard*, como se pode analisar na figura 4.10, para efetuar testes e verificar o correto funcionamento de todas as funcionalidades.

4.2 Metodologia

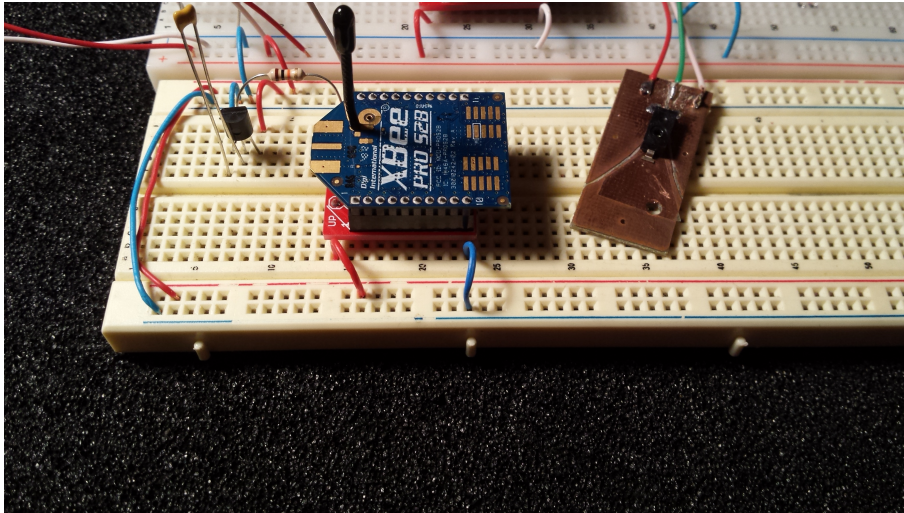


Figura 4.10: Montagem Nó Sensor em *Breadboard*

E posteriormente, implementou-se a mesma soluço numa placa *veroboard* tornando-a mais resistente, facilitando a sua implementa o no terreno. Pelo facto de se tratar de um protótipo o circuito não foi implementado em PCB uma vez que, a soluço anterior é suficiente para provar/testar o conceito em estudo. Na figura 4.11 pode visualizar-se a placa da soluço final desenvolvida.

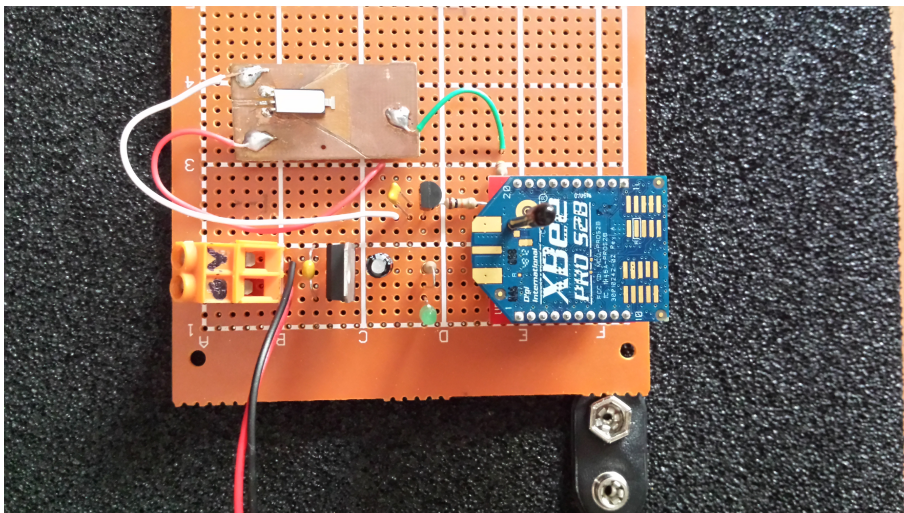


Figura 4.11: Montagem Nó sensor em *Veroboard*

No anexo A.1 encontra-se o esquemático do não sensor implementado.

Configurações da RSSF

A escolha do protocolo de comunicação Zigbee foi natural uma vez que, é um protocolo com provas dadas, segundo a literatura, acrescentando segurança, robustez e fiabilidade a uma RSSF.

Assim sendo, implementou-se uma RSSF com protocolo de comunicação Zigbee e perante a existência de 4 módulos Xbee Pro S2B, a rede foi desenhada com um elemento coordenador que estará conectado ao computador, dois módulos *router* e um módulo end-device.

Na figura 4.12 pode visualizar-se um esquema da RSSF desenvolvida, com possíveis caminhos de comunicação delineados. No entanto, um dos trajetos (*router* - end-device) aparece tracejado uma vez que, é uma alternativa ao caminho pois o end-device pode ligar-se a um ou outro *router*.

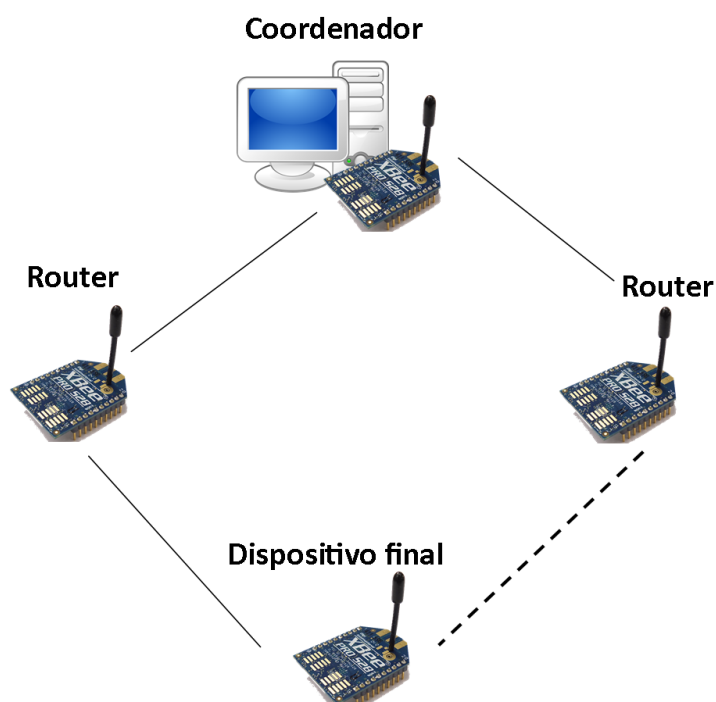


Figura 4.12: Diagrama de Arquitetura da RSSF

Para a criação da RSSF os módulos foram configurados, recorrendo ao X-CTU com

4.2 Metodologia

as respetivas funções. Na figura 4.13 pode visualizar-se o ambiente gráfico do X-CTU.

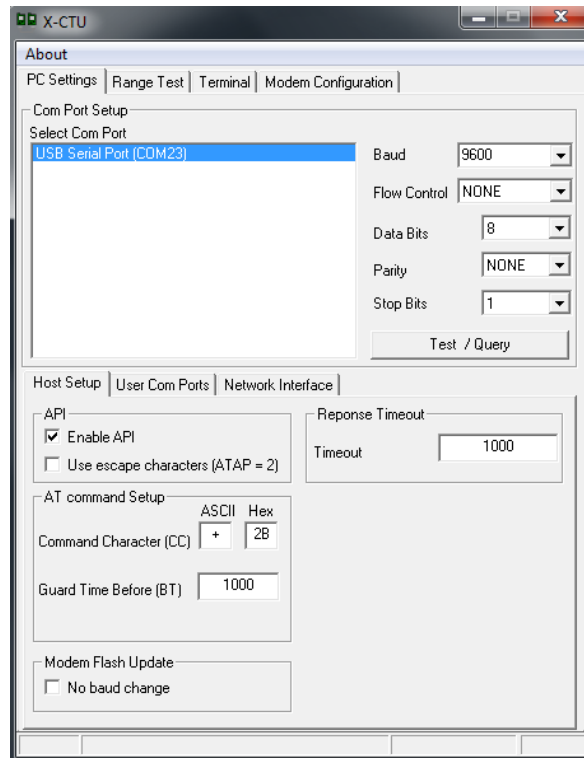


Figura 4.13: Ambiente Gráfico X-CTU

No caso do módulo da estação base, o nó coordenador foi configurado com o *firmware* XB24-ZB e com a função de coordenador API. A seleção da rede foi identificada através do valor do PAN ID tendo-lhe sido atribuído o valor de 0x98 (o valor de PAN ID pode ser definido entre 0x00 e 0xFFFFFFFFFFFFFFFF). Todos os outros dispositivos que se pretenda que façam parte desta rede, devem ser configurados com o mesmo valor de PAN ID.

Na figura 4.14 pode analisar-se o processo da configuração para o módulo coordenador da rede e nos outros casos o processo é similar mudando a escolha da função do módulo, como ilustrado na etapa 4 da figura. Ainda no módulo coordenador, deve selecionar-se o modo API (como no passo 1 e 4 da figura) uma vez que, os dados provenientes do I/O são entregues neste modo.

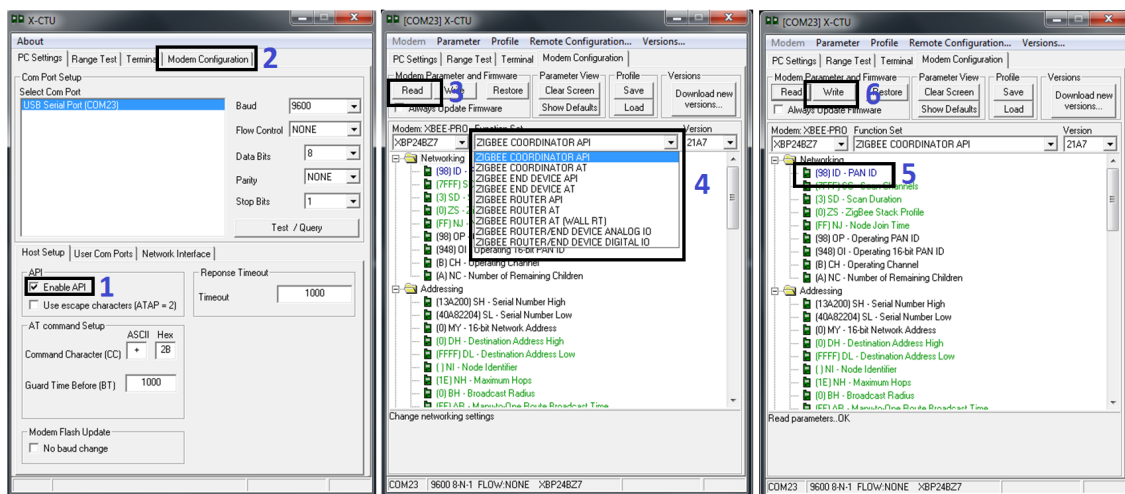


Figura 4.14: Configuração do Nó Coordenador

Os outros elementos foram configurados com funções **Zigbee Router AT** e **Zigbee End-Device AT**.

4.3 Propagação de Sinal

Nesta secção é feito um estudo em relação à propagação de sinal num ambiente interior e exterior.

O estudo da propagação não é um processo fácil no entanto, fizeram-se estimativas sobre o alcance do sinal perante diferentes obstáculos e ainda serão apresentados alguns modelos de propagação.

Neste tipo de estudo é importante perceber a trajetória de um sinal de rádio entre o seu emissor e recetor. Este conceito introduz alguns fenómenos físicos que influenciam a amplitude e fase do sinal. A banda utilizada, 2.4 GHz, também conhecida por ISM (Indústria Médica e Científica) não necessita de licenciamento sendo a sua única limitação, o nível máximo de potência de emissão de 10 dBm.

Seguidamente, apresentam-se alguns fenómenos que são relevantes nesta área.

Dependência com a Distância

À medida que o sinal se propaga no meio a sua potência diminui em função do aumento da distância (medida entre o emissor e o ponto em análise). No entanto, no caso de se tratar de um ambiente interior, e onde por norma existem obstáculos, a distância não é o único fator de perda de potência de sinal uma vez que, os obstáculos também contribuem para a atenuação do mesmo. [33]

Penetração do Sinal

A penetração de sinal surge perante a presença de obstáculos e surge do ponto de vista da propagação desse sinal por via radiofrequência. No caso deste projeto, assumindo que o projeto será implementado na vinha e o nó coordenador num ponto mais remoto, mais concretamente o escritório surgem obstáculos como portas, janelas e/ou paredes. Na figura 4.15 exemplifica-se este fenómeno de uma forma ilustrativa, uma vez que esta perda, é dependente de variados fatores como por exemplo, o material construção, frequência, ângulo incidência entre outros. [34]

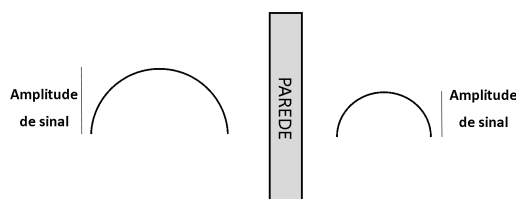


Figura 4.15: Fenómeno da Penetração do Sinal

Reflexão

A reflexão é um fenómeno que acontece quando um sinal eletromagnético incide sobre um objeto de proporções maiores que, o seu comprimento de onda incidente. Devido às características do objeto este poderá fazer com que, o sinal seja refletido em diferentes direções.

Assim sendo, a onda refletida pode beneficiar de um fortalecimento do sinal ou até de perda de potência do mesmo, dependendo do obstáculo em causa. Este fenómeno é o principal causador do efeito multipercurso. [34]

Na figura 4.16 pode analisar-se um esquema sobre o fenómeno da reflexão.

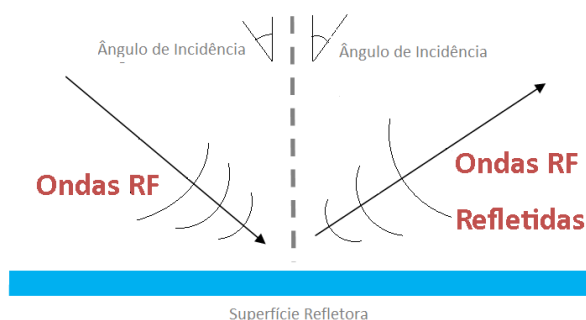


Figura 4.16: Fenómeno da Reflexão

Multipercurso

O multipercurso é também um fator de causa de perda de potência de sinal originado pelos fenómenos da reflexão, dispersão, refração e espalhamento. O acontecimento destes fenómenos somados faz com que, o sinal percorra variados caminhos até atingir o recetor originando assim o nome, multipercursos. Tratando-se de uma soma vetorial, estes sinais podem originar situações a favor ou contra o recetor, melhorando ou piorando o nível de sinal. [34]

Difração

O fenómeno difração ocorre quando a propagação é obstruída por um obstáculo com altas frequências. No caso de baixas frequências, o sinal é desviado da sua trajetória para regiões que provavelmente não iria percorrer. Este fenómeno torna-se então mais evidente nos limites do obstáculo, onde as ondas sofrem espalhamento. Assim sendo, alguma da energia do sinal é perdida no trajeto não previsto no entanto, o sinal pode chegar ao recetor proveniente do emissor. Na figura 4.17 pode analisar-se uma ilustração deste fenómeno. [34]

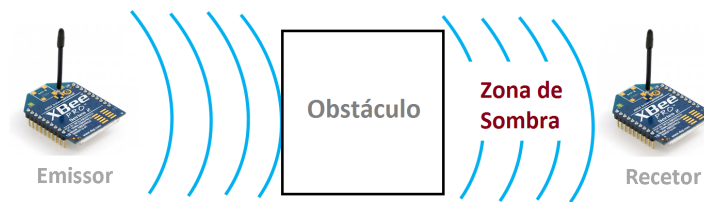


Figura 4.17: Fenómeno da Difração

Refração

A refração, como ilustrado na figura 4.18, é um efeito que acontece quando o sinal penetra num meio com uma densidade diferente do seu meio de transmissão. Uma vez que, parte do sinal será refletido, a sua trajetória será diferente e o seu nível de potência diminuirá. Cada material tem o seu coeficiente de reflexão e refração. [34]

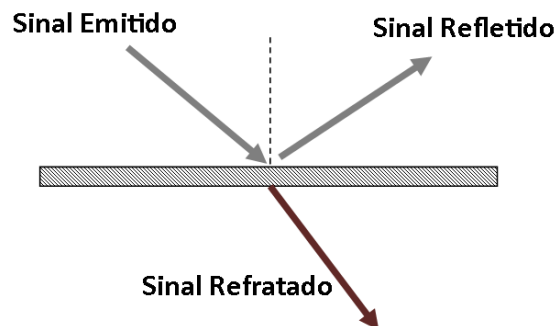


Figura 4.18: Fenómeno da Refração

Espalhamento

O espalhamento, como ilustrado na figura 4.19, acontece quando um sinal encontra um obstáculo com comprimento de onda igual ou menor que o sinal emitido. Assim, ocorre atenuação do sinal e reflexão do mesmo em diferentes direções. [34]

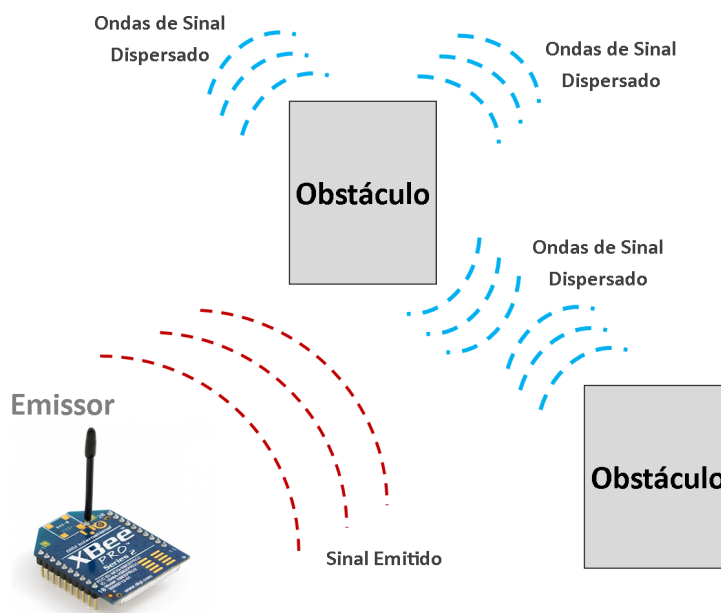


Figura 4.19: Fenómeno de Espalhamento

Modelos de Propagação

A propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes interiores e exteriores é central quando se trata de RSSFs. De maneira que, modelar a propagação torna-se complexo devido a fatores como a forma e material dos obstáculos adjacentes às áreas que se pretende que o sinal se propague. A estes motivos somam-se ainda elementos que podem alterar o ambiente como por exemplo, o movimento de pessoas, abertura/fecho de uma porta ou até de uma janela.

Os modelos que preveem as perdas de percurso irão ser estudados e aplicados ao caso do projeto em estudo, fornecendo-nos assim valores possíveis de perdas. Os modelos diferem entre si e apresentam características que os adequam a determinados ambientes e até frequências de operação. Assim sendo, estes modelos podem ser divididos em dois grupos, estatísticos e empíricos. Os modelos empíricos foram construídos em função de medições obtidas no terreno (aproximando-nos mais da realidade) e os modelos estatísticos são desenvolvidos e baseados em fórmulas físicas.

4.3 Propagação de Sinal

Pelo facto do projeto estar implementado em ambiente exterior e interior (nó coordenador) terão de ser estudados os dois ambientes.

Numa fase inicial, será analisado o modelo de atenuação no espaço livre enquanto modelo estatísticos e posteriormente, serão analisados apenas modelos empíricos uma vez que estão mais próximos de valores reais permitindo melhor planeamento da RSSF.

Modelo de Atenuação no Espaço Livre

O modelo de atenuação no espaço livre prevê a propagação do sinal em espaço livre analisando a sua atenuação. De maneira a, se perceber melhor o conceito pode fazer-se uma analogia com uma esfera que se vai expandindo e, neste aumento o sinal vai perdendo potência por unidade de área. Este modelo não prevê a existência de obstáculos. [35]

Considerando um sistema de transmissão, em que a potência de transmissão (P_t), medida em Watt, ganhos das antenas de transmissão (G_t) e receção (G_r) a potência recebida (P_r) pode ser determinada através da equação 4.1.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (4.1)$$

Apesar da maioria dos modelos de propagação de sinal partir deste modelo, este é pouco exato uma vez que, não prevê características do ambiente. No entanto, tem utilidade para se preverem as perdas, numa fase inicial do projeto fazendo assim, os primeiros prognósticos da ligação.

Modelo ITU 1238-1

O modelo ITU foi desenvolvido para sinais com frequências na faixa de 900 MHz e 100 GHz, como é o caso deste projeto que opera na frequência de 2.4GHz (Zigbee). Em ambientes interiores prevê efeitos de propagação como a reflexão e difração em objetos fixos, refração em paredes e pisos e ainda confinamento de energia em corredores.

Neste projeto, o coordenador está inserido num ambiente interior e os módulos, no terreno, num ambiente exterior. Como tal, perante estas condições (ambiente interior e ambiente exterior) este modelo apresenta a equação 4.2.

$$P = S + 10n_0 \log(d_1) + L_w + 10n_1 \log\left(\frac{d}{d_1}\right) + kM \quad (4.2)$$

Onde S corresponde a 37 dB, n_0 expoente dependente do ambiente externo do edifício, n_1 expoente dependente do ambiente interno ao edifício, L_w perda devido à penetração na parede externa do edifício, d_1 distância entre o transmissor e a parede externa do edifício, d distância entre transmissor e recetor e M fator dependente do andar e K é o número de andar.

Na figura 4.20 pode analisar-se uma fotografia do espaço onde foi implementado o projeto da RSSF.



Figura 4.20: Área de Testes do Protótipo

A imagem foi retirada do Google Maps e foram desenhados os limites da vinha a verde, delimitado a branco a distância entre o início da vinha e a estação base (cor bordô).

4.3 Propagação de Sinal

Para efeitos de cálculo assumiu-se que $S = 37dB$ proposto por alguns autores do modelo; n_0 adota o valor 2 que representa as perdas em espaço livre; n_1 tem o valor 28 obtido a partir da consulta da tabela ITU-R P.1238-7 para uma frequência de 2GHz (mais próxima da frequência 2.4GHz); L_w toma o valor de 5 que é o pior caso de perdas para concreto espesso com janelas; a distância d_1 tem o valor 10,4 m e a distância d o valor de 10,5 m. Por ser o andar zero, K toma este valor anulando este parâmetro da equação.

O comportamento da atenuação do sinal em função da distância segundo o modelo ITU 1238-1 pode ser analisado no gráfico da figura 4.21.

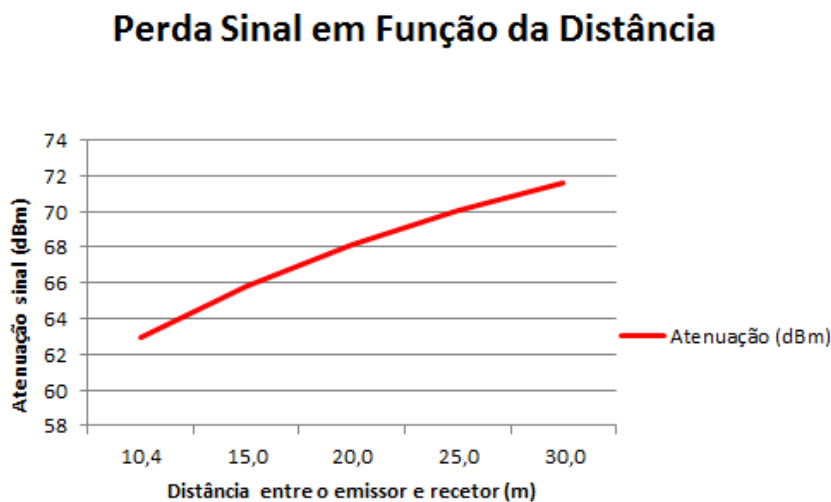


Figura 4.21: Perda de Sinal em Função da Distância

Colocando o módulo na vinha, e na situação mais perto da estação base, regista-se um valor de atenuação de 62 dBm e para o caso de um afastamento de 30 m (em relação à estação base) a atenuação aproxima-se dos 72 dBm.

Deve referir-se que, estes valores são meramente teóricos e obtidos a partir do modelo, no capítulo referente aos resultados poderá analisar-se um teste realizado (no terreno onde foi implementado o protótipo) sobre a atenuação do sinal a partir do programa X-CTU.

Gestão de Dados

Neste capítulo centra-se a atenção nas diferentes componentes usadas na gestão e controlo da rede de sensores, o gestor de rede, a base de dados e a aplicação web.

5.1 Arquitetura da Solução

Através do módulo Xbee, os dados são enviados pela RSSF para o elemento coordenador que, interage através duma aplicação (aplicação de gestão da rede), guardando os dados numa base de dados SQL.

Todos estes dispositivos estão interligados numa rede Zigbee da topologia malha. Os dados obtidos a partir desta malha, podem ser consultados por dois tipos de utilizadores diferentes, o agricultor enquanto consumidor final e o gestor da rede.

O agricultor poderá consultar os dados numa página web enquanto o gestor da rede pode aceder à base de dados e ainda à aplicação de gestão da rede, onde pode consultar os dados enviados pelos módulos e também configurar os módulos da rede em função das necessidades.

Na figura 5.1 pode visualizar-se de forma simplificada a arquitetura da solução.

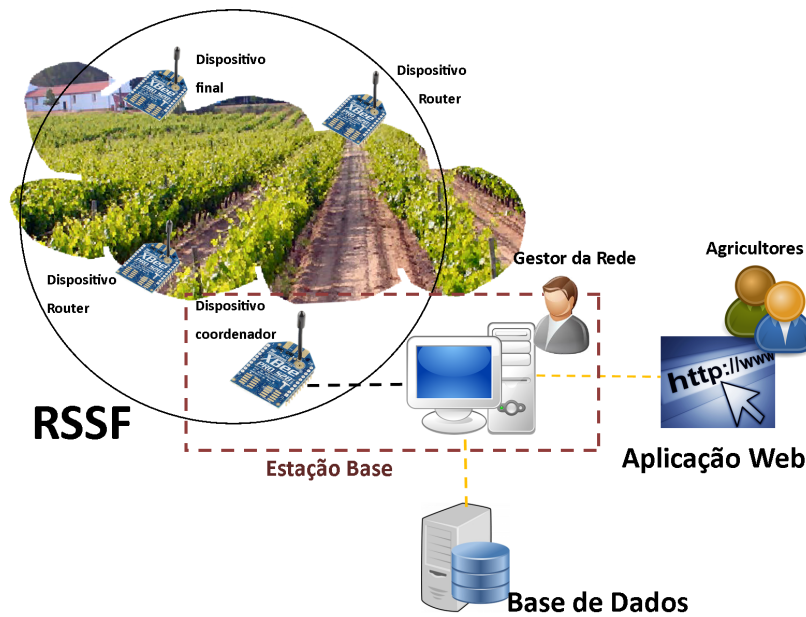


Figura 5.1: Diagrama da Arquitetura da Solução

5.2 Gestor de Rede

Nesta secção será abordada a aplicação responsável pela gestão de rede que por sua vez irá comunicar com o módulo coordenador da RSSF já apresentado no capítulo anterior.

Análise

Existe atualmente, um grande conjunto de linguagens de programação (e.g. Java, C#, Python, Pascal, etc.) com os mais variados interfaces de desenvolvimento. A escolha recaiu pela linguagem C# e sobre a ferramenta Microsoft Visual C# na sua vertente Express pelo facto de não ter custos, permitir que seja executado em diversos dispositivos e por existir conhecimento prévio nesta linguagem de programação.

No Visual C#, programação orientada a objetos, são implementadas um conjunto de classes que definem os objetos que se pretende. Cada uma das classes determina o seu comportamento através da criação de métodos. Estarão também disponíveis os atributos desse objeto.

5.2 Gestor de Rede

A necessidade de um *software* prende-se pelo facto de, ser necessário comunicar com o coordenador, e através deste, obter os dados relativos aos módulos existentes para que, esses dados sejam devidamente tratados e enviados para a base de dados.

Assim sendo, apresentam-se alguns requisitos que a aplicação deverá cumprir.

- Comunicação com módulo coordenador.
- Possibilidade de configuração dos módulos remotamente.
- Obtenção de dados provenientes dos módulos.
- Capacidade de conhecer todos os elementos existentes na rede.
- Conexão com a base de dados SQL.
- Configuração dos módulos de acordo com parametrização existente na base de dados para cada módulo.
- Registo de resultados na base de dados.

Comunicação com o Módulo

A aplicação terá de ser capaz de reconhecer o módulo Xbee Pro S2B, configurado como coordenador. Este dispõe de pinos (Data Out e Data In) para a comunicação série. Pelo facto de existirem no mercado, a baixo custo, soluções para permitir a ligação do módulo com o computador, foi usado um adaptador USB, que acrescenta portabilidade a esta ligação série, como apresentado na figura 5.2.

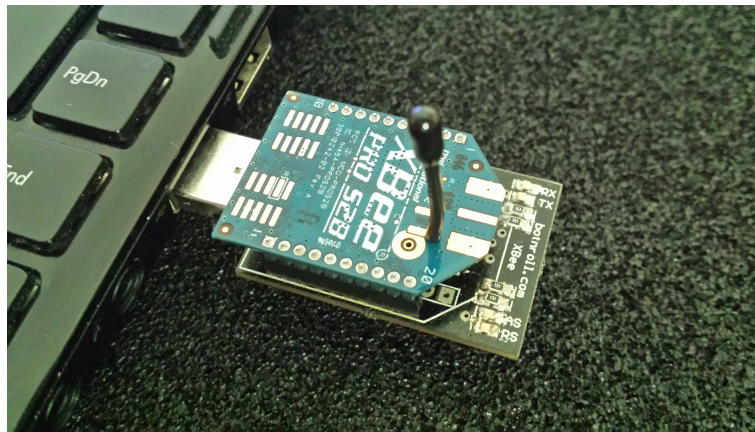


Figura 5.2: Módulo Xbee no Adaptador USB

O coordenador envia através da porta série todas as mensagens que recebe/envia no formato API. As tramas têm o formato apresentado na figura 5.3.

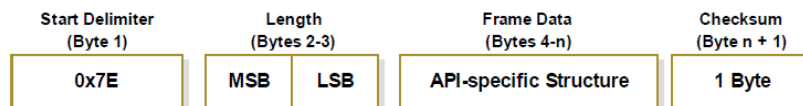


Figura 5.3: Estrutura da Trama API [18]

O primeiro byte da trama é fixo (0x7E) correspondendo ao carácter delimitador do início de mensagem. Os dois bytes que se seguem são correspondentes ao tamanho da mensagem recebida, sendo este um dos métodos para verificar a integridade de uma mensagem. Os bytes seguintes são relativos à trama de dados, o primeiro byte desta trama de dados é um identificador único, pois mediante o valor deste, é possível reconhecer a estrutura de dados. Ainda contém campos com dados relativos ao endereço físico do módulo de origem, o endereço do módulo de destino e outros. Por fim, presente em todas as mensagens, surge o *checksum* que tem um byte e um algoritmo próprio de cálculo. O *checksum* é então calculado somando todos os elementos da estrutura da mensagem (excetuando o campo do delimitador inicial e os dois campos respetivos ao tamanho da estrutura), depois deverá usar-se apenas o último byte do resultado ao qual se subtrai o valor de 0xFF, obtendo-se assim o valor de *checksum*.

5.2 Gestor de Rede

Existem diferentes tipos de estruturas de dados API, tal como já foi referido anteriormente. Dentro da estrutura geral de dados existem diferentes subestruturas que permitem a possibilidade de existirem os diferentes tipos de dados, em função da informação que se pretende enviar e receber para os módulos. Existem mais de uma dúzia de diferentes tipos de tramas API, no entanto destacam-se as que se referem na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Estruturas de Dados

Estrutura de Dados	Descrição
0x10	Pedido TX
0x8B	Resposta TX
0x90	Receção RX
0x92	Receção de Dados Entrada/Saídas
0x95	Identificação de Nós da Rede

Metodologia

Como já referido na fase de análise, esta aplicação irá funcionar como um elo de ligação entre a RSSF e a base de dados.

Na figura 5.4 pode ser observado o fluxograma que exemplifica a comunicação, em modo automático, aquando da recepção de mensagens com dados das entradas/saídas dos diferentes módulos. Este tipo de mensagens tem um identificador único de 0x92.

Como apresentado no fluxograma, ao ser iniciada a aplicação são realizadas inicializações, de entre as quais, se destaca a leitura do ficheiro XML (Extensible Markup Language). Este ficheiro possibilita que sejam alterados parâmetros na aplicação (e.g porta série onde está ligado coordenador) sem que, seja necessário compilar o *software*.

Segue-se a inicialização da comunicação com o módulo coordenador, e a configuração de um evento que será executado quando são recebidas mensagens. Por fim, é ainda estabelecida a conexão com o servidor SQL e realizadas outras configurações relativas ao *design* da aplicação.

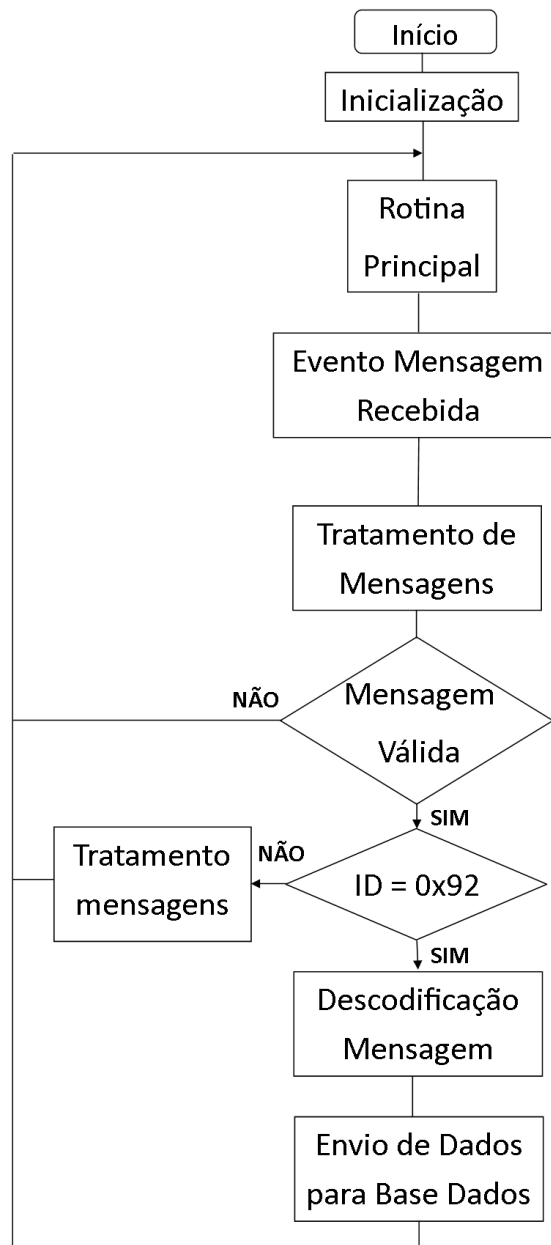


Figura 5.4: Fluxograma de Receção Mensagens de Dados

Após o processo de inicialização concluído, a parte gráfica será apresentada, figura 5.5. Quando é recebida uma mensagem do coordenador, é despoletado o evento de mensagem recebida pela porta série. Aqui, a mensagem é tratada e analisada. O próximo passo passa pela verificação da integridade da mensagem, sendo utilizados dois métodos, validação do tamanho da mensagem e o *checksum*.

5.2 Gestor de Rede

Ao se avaliar o identificador único da mensagem recebida esta será analisada de acordo. No caso de este valor ser 0x92, significa que esta mensagem contém dados relativos às entradas e/ou saídas de um módulo. Assim sendo, a mensagem é decodificada e é executada a *stored procedure*. Do lado do servidor de base de dados, estes dados serão tratados e guardados nas respetivas tabelas.

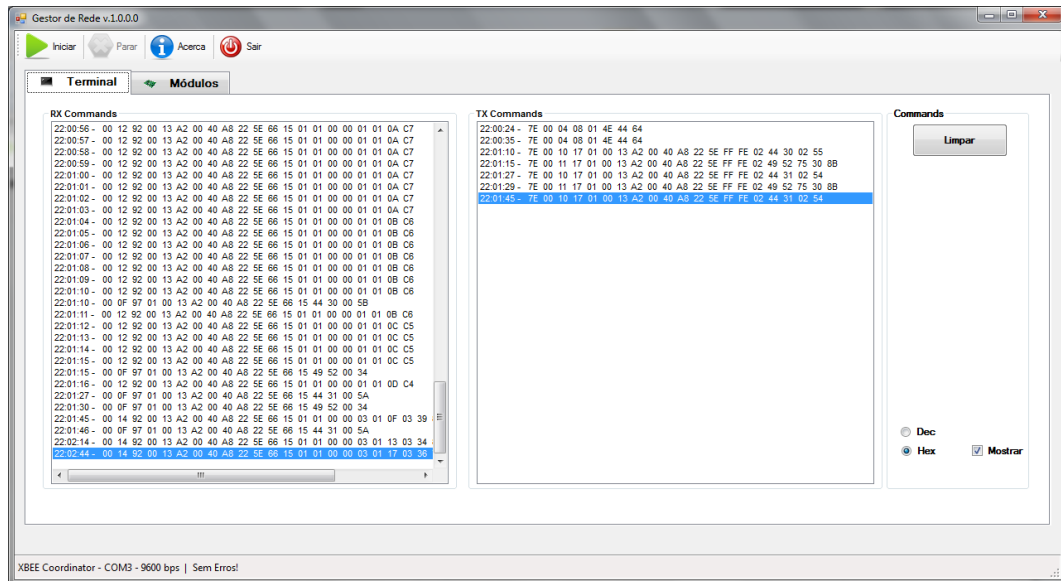


Figura 5.5: Ambiente Gráfico do Gestor de Rede

Na aplicação é possível aceder a diferentes ambientes. No ambiente principal são apresentadas todas as mensagens enviadas e recebidas através do módulo coordenador. Com este registo de mensagens é possível, ao gestor da rede, analisar e detetar potenciais falhas.

Na parte superior é possível observar a barra de controlo, figura 5.6, que possibilita a ativação do registo de resultados na base de dados. Com isto, é possível serem realizados testes na rede sem que os resultados obtidos sejam guardados na base de dados.



Figura 5.6: Barra de Controlo do Gestor de Rede

Na figura 5.7 é apresentado o separador relativo à configuração da rede. Neste menu é possível configurar módulos incluindo os principais parâmetros que lhes estão associados (e.g. definir tempo de amostragem).

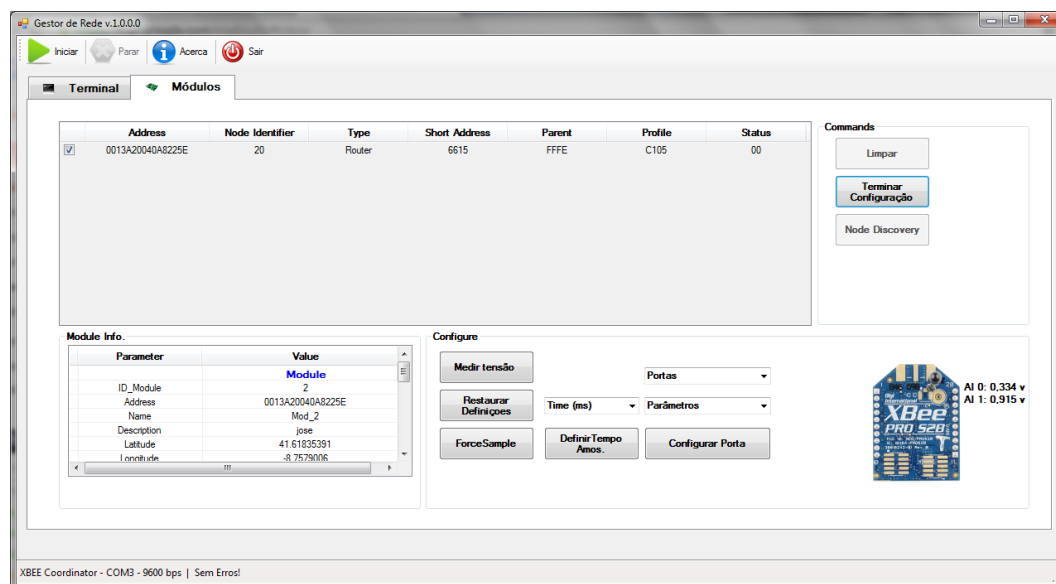


Figura 5.7: Ambiente de Configuração

Neste separador, também é permitido detetar todos os módulos que constituem a RSSF em funcionamento. Na caixa referente à informação do módulo pode consultar-se, sobre o módulo selecionado, a informação registada na base de dados sobre o mesmo.

5.3 Base de Dados SQL

Para que seja possível o armazenamento de dados, recorreu-se à implementação de uma base de dados SQL, que será explicada de uma forma mais detalhada seguidamente.

Análise

Inicialmente, foram consideradas duas ferramentas de base de dados relacionais, o Microsoft SQL Server e o MySQL Server. A escolha recaiu naturalmente, para a opção apresentada pela Microsoft, uma vez que neste projeto estão a ser usadas outras ferramentas deste fabricante, facilitando a integração dos sistemas.

5.3 Base de Dados SQL

Uma base de dados SQL (Structured Query Language) pode ser explicada como uma linguagem de consulta estruturada. Esta é uma linguagem própria para aceder e manipular bases de dados, apresentando-se ao utilizador de uma forma fácil e acessível.

Um servidor SQL está dividido em bases de dados. Cada base de dados corresponde a um conjunto lógico de informações de um determinado domínio. Na mesma linha de pensamento, podemos dividir a informação de uma base de dados com o intuito de agrupar de acordo com as suas relações. Dessa forma, surgem as tabelas, nestas os dados que mesmo estando relacionados, serão armazenados em diferentes tabelas. Assim, a informação estará mais organizada e a sua duplicação será reduzida.

Numa tabela existem as colunas, que são os atributos que foram definidos durante a criação da tabela, e as linhas que correspondem a registos que vão sendo inseridos. Por cada nova entrada na tabela é adicionada um registo com essa informação.

O conceito de chave estrangeira existe para permitir relacionar tabelas, por sua vez a chave estrangeira faz referência a uma chave primária de outra tabela. Ou seja, para ser possível relacionar uma tabela esta tem de ter, necessariamente, uma chave primária que representa um registo único e não nulo.

Para realizar operações nas tabelas existem os diferentes comandos que permitem manipular os dados, sendo possível inserir (INSERT), ler (SELECT), atualizar (UPDATE) e eliminar (DELETE).

É possível consultar os dados existentes numa base de dados por meio do comando SELECT, indicando as tabelas e os atributos pretendidos.

```
SELECT <atributos>
FROM <tabelas>
[WHERE <condição>]
[GROUP BY <atributo>]
[HAVING <condição>]
[ORDER BY <atributo>]
```

De forma a simplificar a estrutura de leitura e escrita na base de dados é possível criar sub-rotinas. As sub-rotinas são previamente programadas com recurso aos comandos SQL. O processamento destas sub-rotinas é garantido pelo servidor SQL.

A *stored Procedure* é uma das sub-rotinas disponíveis e possibilita centralizar a lógica. Assim, ao ser executada, esta pode inserir dados, alterar e até devolver um conjunto de resultados após o processamento.

O SQL disponibiliza outras sub-rotinas e recursos tais como as Functions, Triggers, Views e outros.

Depois de apresentadas as principais funcionalidades do SQL, especificam-se as necessidades concretas do projeto, sendo elas:

- Armazenar configurações dos sensores.
- Armazenar configurações dos módulos.
- Guardar os dados relativos às leituras dos sensores.
- Gestão de dados, a armazenar de acordo com os intervalos de leitura.
- Análise dos dados para sinalizar, caso existam, condições para o desenvolvimento das doenças nas vinhas.

Metodologia

Uma vez estudados os princípios das base de dados SQL e identificados os requisitos para a aplicação segue-se a implementação da base de dados com as respetivas tabelas.

A base de dados criada foi (Zigbee_Network), que apresenta a estrutura de tabelas, tal como apresentado na figura 5.8.

5.3 Base de Dados SQL

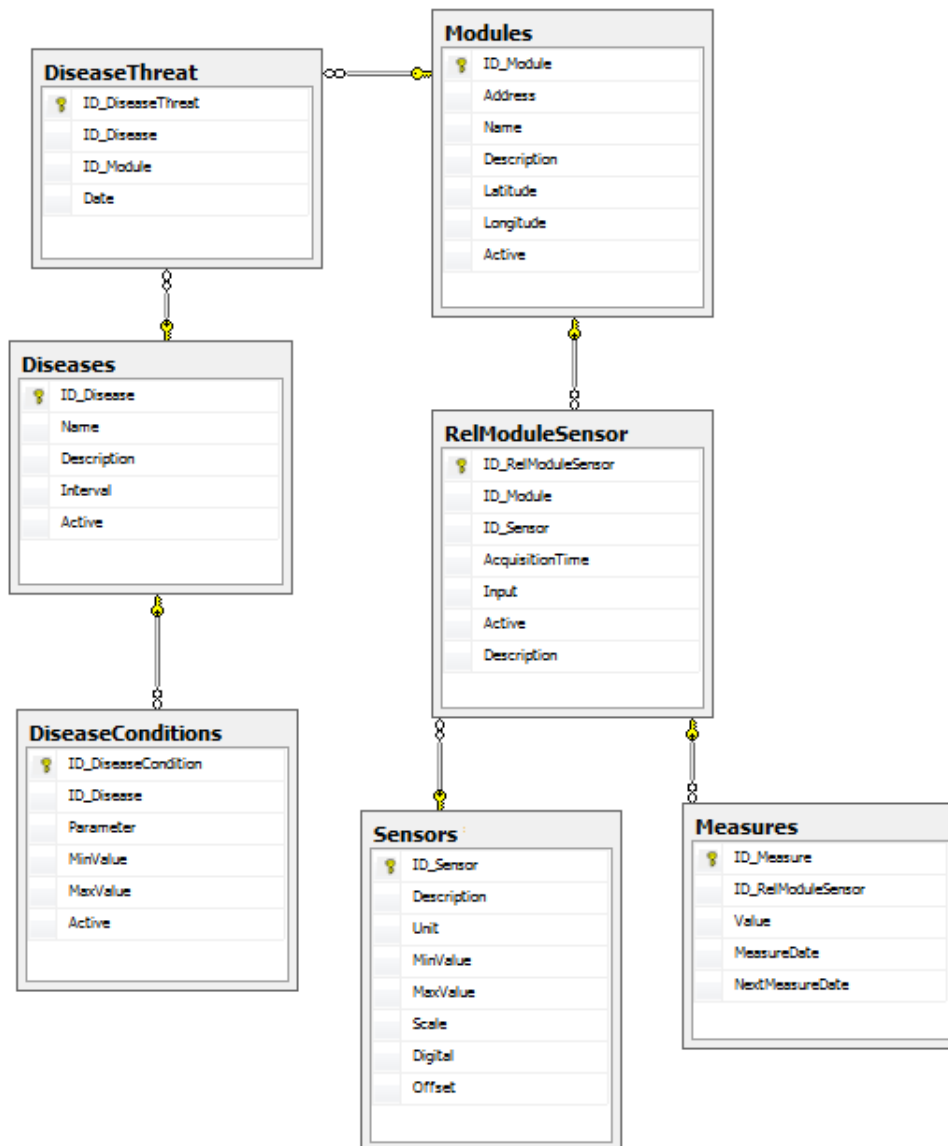


Figura 5.8: Estrutura da Base de Dados Zigbee_Network

A base de dados foi estruturada de forma a, ser flexível permitindo alterações e melhorias sempre que necessário.

A tabela "Sensors" é onde a informação relativa aos sensores é armazenada. Assim, caso se pretenda adicionar um novo sensor a um módulo, para se analisar uma nova grandeza, terá de ser adicionado nesta tabela. De referir que, a relação entre a grandeza e o valor de saída terá de ser calculada previamente e inserida no campo "Scale". O campo

”Digital” serve para definir se o sensor é digital ou analógico.

A tabela ”Modules” define a informação de um módulo da RSSF (e.g. coordenadas). Dos campos existentes, destaca-se o campo ”Address” onde é inserido o endereço único de 64 bits.

Para definir os sensores existentes em cada módulo, é necessário preencher a tabela ”RelModuleSensor”. Ao relacionar o sensor com o módulo é também necessário definir a entrada na qual o sensor está conectado fisicamente, bem como o tempo de aquisição para a recolha dos dados deste sensor. Uma vez definida esta relação, é possível através desta tabela, conhecer todos os sensores existentes em cada módulo.

A tabela ”Measures” regista os estados dos sensores de acordo com o tempo de aquisição definido, associando-lhe a relação módulo/sensor dessa leitura. Ainda neste registo é guardada a data e hora de aquisição bem como, a data e hora da próxima leitura.

Durante a recolha dos dados, são analisados os parâmetros para a ocorrência de doenças nas vinhas. Dessa forma, é necessário definir as doenças e os parâmetros para a propagação da doença. Assim, na tabela ”Diseases’ são definidas as doenças. Na tabela ”DiseaseConditions” são definidas as condições para que a doença aconteça. Assim sendo, neste projeto foram definidos parâmetros como a temperatura do ar e a humidade relativa bem como, os seus limites mínimo e máximo.

Quando as condições definidas para o desenvolvimento de determinada doença na vinha são cumpridas, são emitidos alertas. Estes são registados na tabela ”DiseaseThreat”.

Para a manipulação da base de dados foram desenvolvidas subrotinas, entre elas a *stored procedure* ”Add_Measure” que recebe por parâmetro o endereço do módulo, a entrada do módulo e o valor atual do sensor. Esta sub-rotina tem a capacidade de decidir quais as amostras de dados, provenientes da aplicação gestor de rede, que deve gravar na base de dados.

Outras sub-rotinas utilizadas foram a ”GetModuleInfo” e ”GetModuleSensorsInfo” que possibilitam o acesso à informação dos módulos.

Quando são inseridos dados na tabela ”Measures” estes são avaliados de maneira a, se analisar a ocorrência de doenças, através da sub-rotina ”TriggerDiseaseAnalisis ”.

5.4 Aplicação Web

No desenvolvimento web deve abordar-se o conceito cliente-servidor uma vez que, é um modelo utilizado na grande maioria deste tipo de aplicações. Assim sendo, o conceito é na realidade uma arquitetura de computação e o objetivo passa por distribuir cargas de trabalho entre o servidor, enquanto elemento que fornece o serviço e o cliente, conhecido como o elemento que requer o serviço.

No entanto, enquanto o servidor executa serviços e/ou programas e os partilha, o cliente não efetua partilha de nenhum recurso apesar de, fazer pedidos ao servidor.

O modelo cliente-servidor representa a relação existente entre programas e uma aplicação. Portanto, o servidor fornece um serviço a um ou mais clientes que, por sua vez, iniciam o pedido do serviço.

Para se tornar uma aplicação mais interativa e com um *design* mais moderno recorreu-se ao *bootstrap*. Este é uma *framework* de desenvolvimento web, que na realidade é um conjunto de ferramentas (botões, barras de navegação, tabelas,) para a criação de páginas ou aplicações web. Esta *framework* oferece diferentes modelos permitindo assim, acrescentar maior uniformidade a uma página web.

Metodologia

No desenvolvimento da página web utilizou-se uma barra de navegação da *bootstrap*, esta ferramenta potenciou a facilidade de navegação na página. Esta barra permite através dos diferentes botões que a constituem, aceder a diferentes ficheiros que apresentam diversos dados ao utilizador. Na figura 5.9, pode analisar-se um esquema relativo ao acesso dos diferentes ficheiros a partir dos botões da barra de navegação.

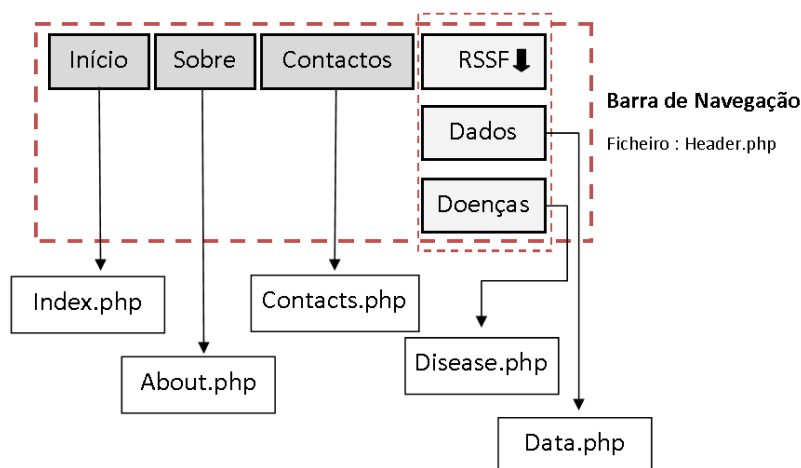


Figura 5.9: Diagrama da Página Web

Todos os ficheiros referidos no diagrama anterior relacionam-se com a barra de navegação definida no ficheiro "Header.php". Isto acontece porque o ficheiro da barra de navegação lhes é incluído através do código:

```
<?php include("Header.php"); ?>
```

Existe também, em todos estes ficheiros, um rodapé carregado pelo código:

```
<?php include("Footer.php"); ?>
```

Este apresenta-se ao agricultor, na página web, com o aspeto da figura 5.10.

© 2014 Ines Martins. All rights reserved.

Figura 5.10: Rodapé da Página Web

O ficheiro "Index.php" será por defeito o primeiro a ser executado, e na verdade representa a página inicial da página web. No entanto, este ficheiro também será carregado quando o utilizador pressionar o botão Início. Este ficheiro dá as boas vindas ao utilizador, apresenta o título do projeto e ainda utiliza um mapa, como se pode visualizar na figura 5.11. O mapa utilizado é do Google Maps.

5.4 Aplicação Web



Figura 5.11: Página Web

Como se pode visualizar, na figura 5.12, o mapa tem marcadores vermelhos que se referem à localização dos diferentes nós sensores no terreno. Estes estão distribuídos pela vinha e quando o utilizador posiciona o rato sobre um dos marcadores, surgirá uma etiqueta com o nome do módulo em causa.



Figura 5.12: Mapa RSSF da Página Web

Em relação aos dados utilizados, como os nomes dos módulos e as suas coordenadas GPS, estes são obtidos recorrendo à base de dados usando o ficheiro "getCoordMap.php". Este ficheiro estabelece a conexão com a base de dados e faz o pedido dos dados.

O ficheiro "About.php" é carregado quando o botão Sobre, da barra de navegação, é pressionado. Assim, é apresentado ao utilizador um pequeno texto sobre o projeto, como apresentado na 5.13.

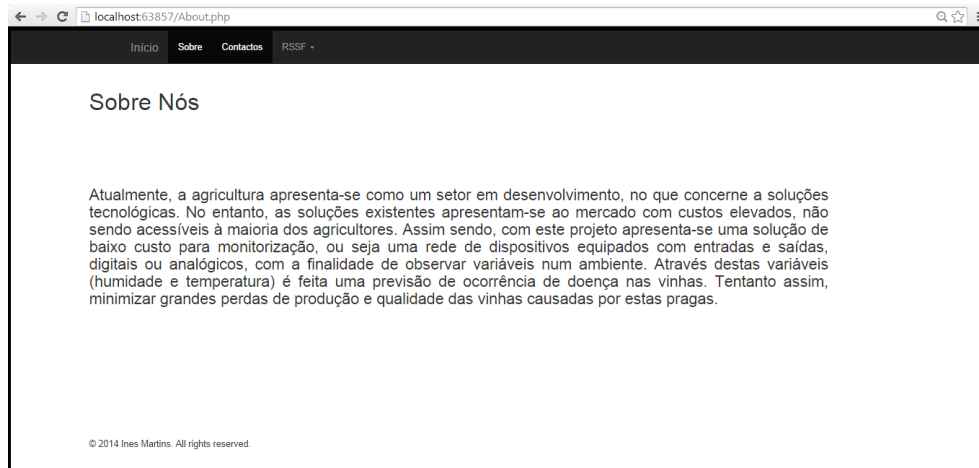


Figura 5.13: Vista Acedida pelo Botão 'Sobre'

O ficheiro "Contacts.php" é acedido quando o botão Contactos é selecionado e apresenta diversos contactos ao utilizador, como se pode visualizar na figura 5.14.

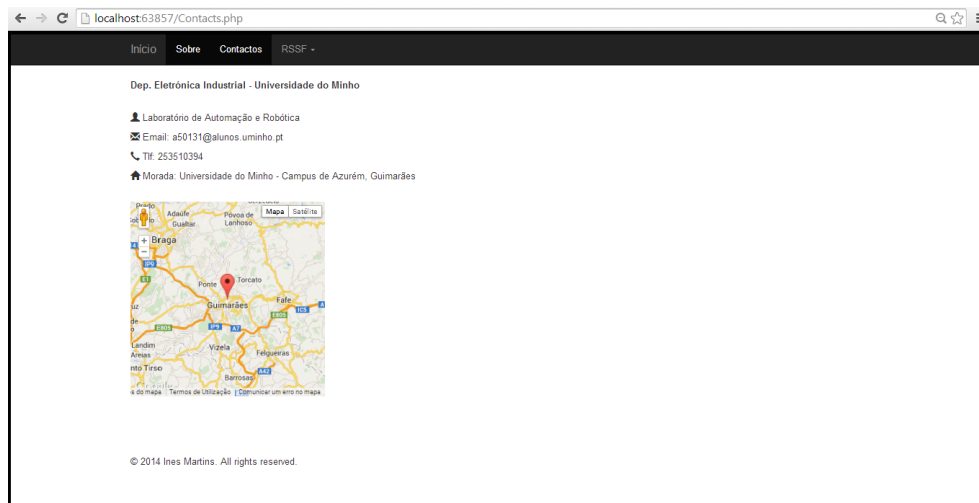


Figura 5.14: Vista 'Contactos' da Página Web

Ainda nesta página pode visualizar-se um mapa com um marcador referente à localização do laboratório onde foi desenvolvido o projeto.

5.4 Aplicação Web

O botão RSSF abre um novo menu de opções, sendo elas: Dados e Doenças carregando os ficheiros "Data.php" e "Disease.php" respetivamente.

O ficheiro "Data.php", acessido pelo sub-menu Dados, tem uma maior interação com o utilizador, apresentando diferentes opções de escolha (data, módulo, parâmetro ambiental) que são na realidade variáveis para que, o gráfico de dados seja desenhado.

Assim sendo, implementou-se um calendário que permite ao utilizador escolher uma data para a consulta dos dados, seguidamente deverá seleccionar o módulo que pretende e ainda o parâmetro ambiental que quer consultar entre temperatura e humidade relativa, como ilustrado na figura 5.15.

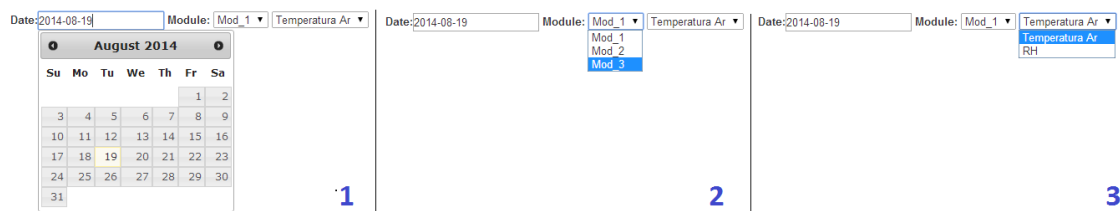


Figura 5.15: Seleção de Dados da Página Web

O calendário foi implementado recorrendo à utilização de um *datepicker* da biblioteca *jquery*. Os elementos que esta ferramenta oferece são programados na linguagem javascript, que é uma linguagem executada do lado do cliente.

No caso dos outros dois menus, os elementos são preenchidos em função dos módulos e sensores ativos na base de dados. O acesso a estes dados é obtido através dos ficheiros "getModules.php" e "getModulesSensor.php" respetivamente, que comunicam com a base de dados.

De notar que, o agricultor consegue aceder apenas a dados de módulos tidos como ativos na base de dados, que deverá estar em conformidade com a RSSF.

Depois do agricultor seleccionar todas as opções, os dados são pedidos à base de dados através do ficheiro "getDataTemp".

Por fim, será então desenhado um gráfico com o aspeto da figura 5.16.

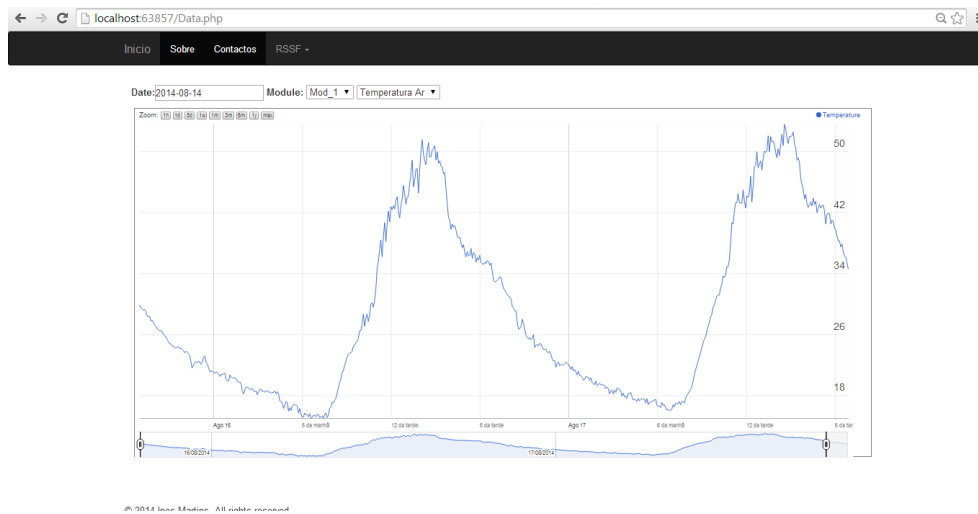


Figura 5.16: Gráfico de Dados da Página Web

Para mostrar os dados de uma forma interativa recorreu-se à utilização de gráficos. Assim sendo, utilizou-se o gráfico Annotated Time Line da ferramenta Google Charts por ser interativo e permitir ao utilizador navegar nos dados em função da escala de tempo.

O Google Charts é uma ferramenta da Google, gratuita, que disponibiliza diferentes tipos de gráficos na linguagem javascript e que podem ser embebidos numa página ou aplicação web.

Este tipo de gráfico oferece diferentes funcionalidades, sinalizadas por diferentes retângulos, como se pode observar na figura 5.17.

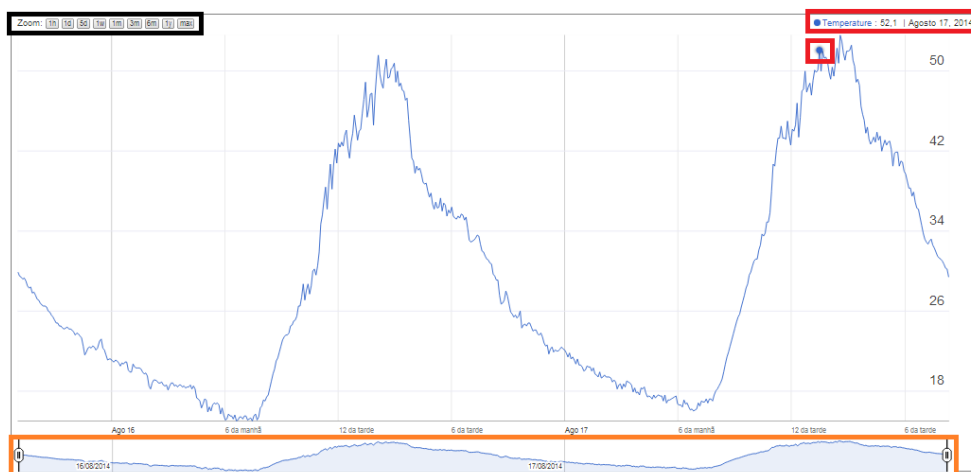
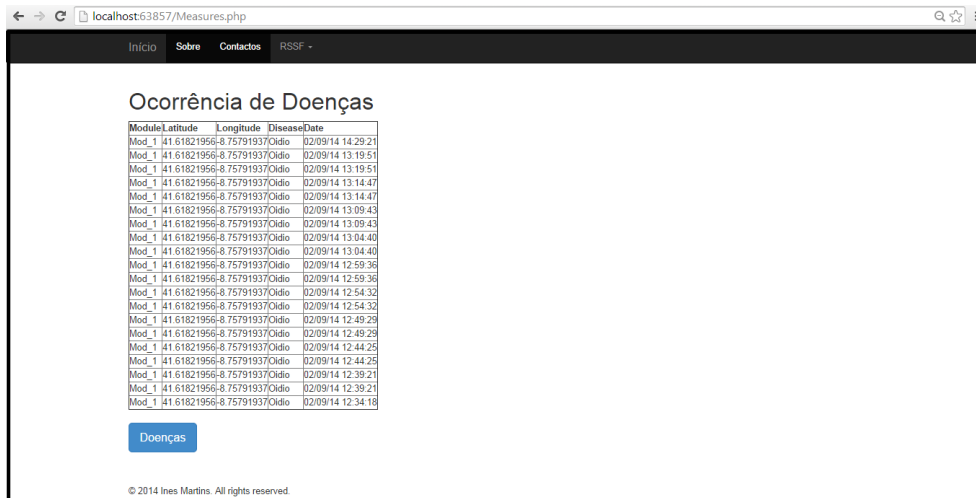


Figura 5.17: Detalhe Gráfico de Dados da Página Web

5.4 Aplicação Web

Indicados por um retângulo preto, estão botões com diferentes escalas de tempo (que vai desde um dia até mais de um ano), sempre que é selecionado um destes botões e este tenha uma escala de tempo diferente da atual, o utilizador irá visualizar as alterações, que se efetuam de uma forma dinâmica. Delineado por um retângulo laranja, o utilizador pode fazer variar a escala de tempo de forma interativa. A vermelho, está sinalizada a opção que permite saber o valor de um determinado ponto do gráfico ou seja, posicionando o rato sobre um ponto do gráfico surgirá o seu valor bem como, a data de aquisição que lhe corresponde.

Na opção do sub-menu Doenças, carregada pelo ficheiro "Disease.php", o utilizador poderá consultar uma tabela onde consta a ocorrência de doenças nas vinhas, como se pode visualizar na figura 5.18.



Module	Latitude	Longitude	DiseaseDate
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 14:29:21
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:19:51
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:19:51
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:14:47
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:14:47
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:09:43
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:09:43
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:04:40
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 13:04:40
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:59:36
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:59:36
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:54:32
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:54:32
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:49:29
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:49:29
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:44:25
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:44:25
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:39:21
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:39:21
Mod_1	#1.61821956-8.75791937	Oldio	02/09/14 12:34:18

Figura 5.18: Vista do Sub-Menu Doenças

Existe ainda um botão que o utilizador pode pressionar por forma a, aceder a informação sobre a doença, como se pode analisar na figura 5.19.



Figura 5.19: Vista do Botão Doenças

Resultados Obtidos

Neste capítulo serão apresentados os resultados alcançados visando o funcionamento de todas as componentes implementadas ao longo deste projeto. Os dados obtidos, permitirão analisar com maior detalhe o desempenho dos várias componentes. Na fase final deste capítulo serão apresentados os custos relativos ao projeto, assim como a análise dos mesmos.

6.1 Testes e Resultados

Ao longo do desenvolvimento do protótipo foram efetuados diferentes testes em diversas áreas. A rede foi testada num ambiente interior (casa) e num ambiente exterior (vinha). Neste capítulo, apresentam-se esses testes bem como, os resultados obtidos com os dispositivos para a monitorização de doenças nas vinhas.

Ambiente Interior

De maneira a se testar de uma forma robusta a comunicação, mais concretamente a força do sinal, os módulos foram inseridos num ambiente interior, uma casa, onde existem diferentes tipos de obstáculos como paredes, janelas e móveis. Para além de medir força de sinal, também se monitorizou o ambiente da casa, avaliando temperatura e humidade relativa.

Assim sendo, foi montada uma rede com a topologia da figura 6.1.

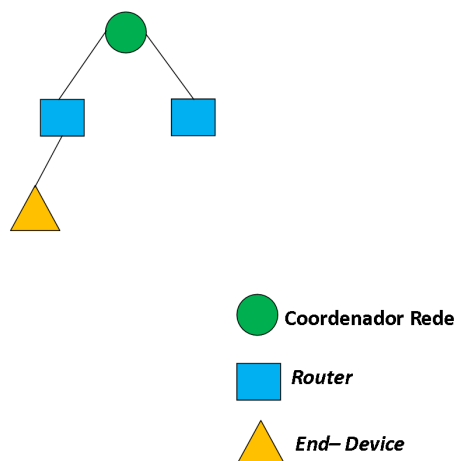


Figura 6.1: Esquema da Rede Implementada

A força de sinal é medida pela sensibilidade onde -40 dBm é o melhor dos casos e os -100 dBm representam um sinal fraco, já com perdas e até possibilidade de se perder efetivamente a comunicação. Este teste foi efetuado recorrendo ao X-CTU que providencia esta ferramenta. Assim, colocou-se o nó coordenador, estação base, no escritório e o outro nó sensor foi colocado nas diferentes divisões da casa, situada em Guimarães, para se registar a força de sinal. Para se testar o pior dos casos neste cenário, todas as janelas e portas foram fechadas de maneira ao sinal encontrar o maior número de dificuldades.

Na figura 6.2 estão ilustrados os testes de força de sinal feitos a partir do X-CTU e relativos ao melhor caso (no exemplo à esquerda) com o módulo colocado na mesa da estação base e ao pior caso (no exemplo à direita) com o módulo na varanda do piso 1. Efetuou-se também um teste com a porta aberta entre a estação base e o módulo colocado na sala e pôde constatar-se que, a sensibilidade melhorou ou seja, diminuiu de valor. Conclui-se então que, as portas são um obstáculo efetivo atenuando o sinal, como era expectável.

6.1 Testes e Resultados

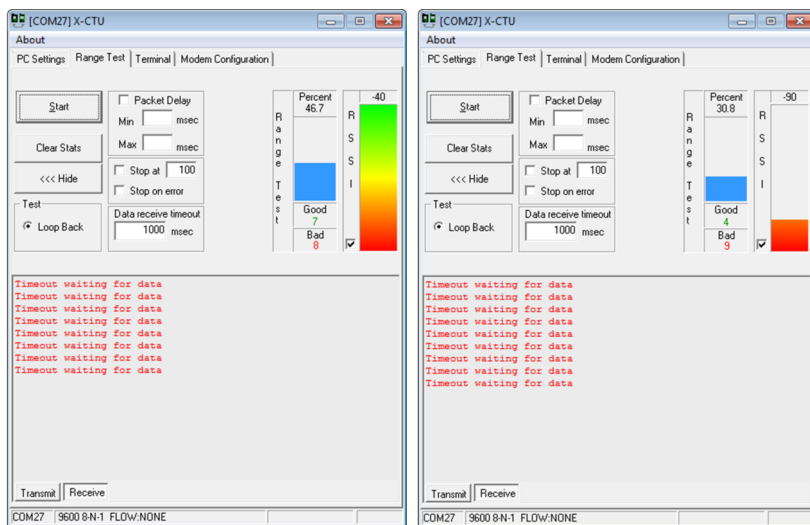


Figura 6.2: Teste de Força de Sinal X-CTU

Depois de realizados os testes na casa obtiveram-se, nas diversas divisões uma força de sinal diferente, como era expectável. Na figura 6.3 podem analisar-se os resultados obtidos.

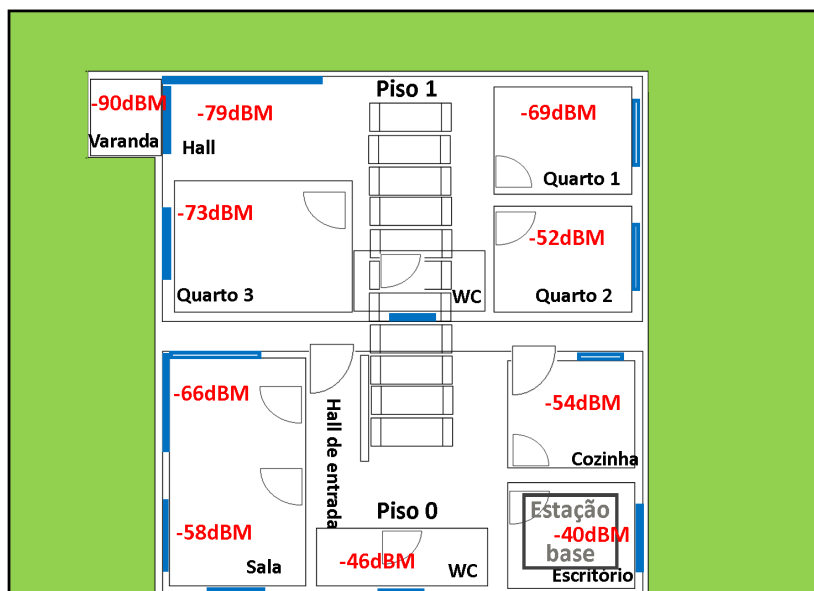


Figura 6.3: Força do Sinal na Planta da Habitação

A casa é constituída por dois andares sobrepostos, com uma área de construção de

aproximadamente $300m^2$ e este teste vem reforçar a robustez e viabilidade da rede uma vez que, apesar dos diferentes obstáculos conseguiu-se comunicar com o módulo em toda a habitação. Em função do aumento da distância, é perceptível que a força de sinal diminui aumentando a sensibilidade.

Os valores de temperatura e humidade relativa também foram avaliados. Assim, obtiveram-se os resultados ilustrados nos gráficos das figuras 6.4 e 6.5.

No gráfico da figura 6.4 podem analisar-se os resultados dos dados recolhidos a partir de um nó sensor colocado na sala da habitação. Estes dados foram obtidos durante o dia 22 de Julho de 2014.

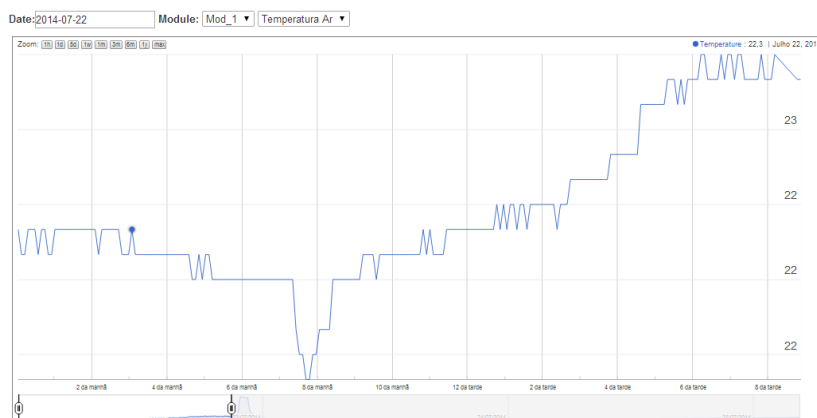


Figura 6.4: Gráfico Temperatura no Ambiente Interior

Através da página AccuWheater a temperatura ambiente registada em Guimarães no dia analisado (22 de Julho de 2014) foi de 21° temperatura máxima e a 17° temperatura mínima. Comparando os dados obtidos a partir da rede de sensores desenvolvida e inserida num ambiente interior e os dados relativos à temperatura consultados conclui-se que, os dados obtidos são condizentes e satisfatórios. [36]

Na figura 6.5 apresentam-se os valores obtidos em relação à humidade relativa (RH), que são medidos num valor percentual. Estes valores foram recolhidos sob as mesmas condições dos resultados apresentados acima, em relação à temperatura. A humidade relativa situa-se entre valores de 50% e 56%.

6.1 Testes e Resultados

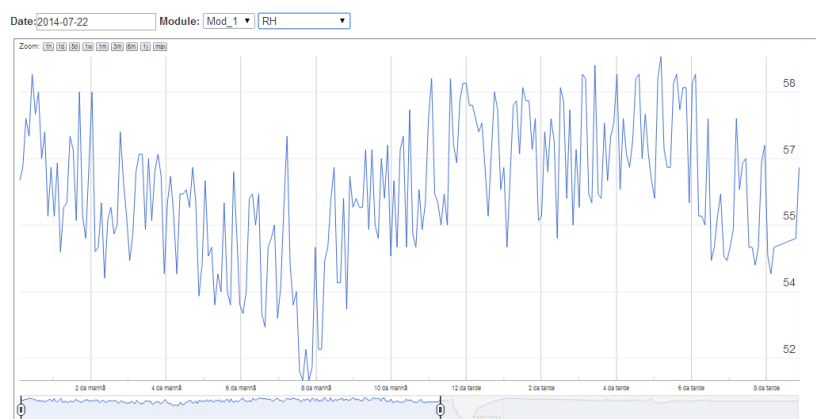


Figura 6.5: Gráfico Humidade no Ambiente Interior

No exterior, as mudanças de temperatura são mais acentuadas e evidentes, enquanto no interior este processo de variação é mais lento.

Deve salientar-se que, os sensores de humidade e temperatura têm uma margem de erro. O sensor LM35DZ apresenta um erro de $\pm 0,6$ °C e o HIH-5030 apresenta um erro de $\pm 3\%$. Assim sendo, os valores apresentados devem ser considerados com esta possível margem de erro.

Ambiente Exterior

Nesta fase são apresentados os testes realizados ao protótipo no ambiente exterior, mais concretamente numa vinha de maneira a se monitorizar os seus parâmetros ambientais (temperatura e humidade). Esta vinha situa-se numa propriedade em Neiva, distrito de Viana do Castelo. Os nós sensores foram colocados sobre as vigas, que apoiam as videiras como se pode observar na figura 6.6.



Figura 6.6: Nó Sensor Implementado na Vinha

A estação base foi colocada no escritório da habitação, que dista no mínimo 10 metros da vinha. Numa fase inicial fizeram-se testes de força de sinal, por forma a se perceber, no terreno, quais as dificuldades e os pontos em que é possível existir comunicação com a estação base.

Assim, obtiveram-se os resultados apresentados na figura 6.7. Perante os resultados obtidos conclui-se que é possível comunicar com a estação base em todos os pontos do terreno, numa área de $8000m^2$, viabilizando assim a tecnologia escolhida. Comprovou-se também que, o sinal em campo aberto sofre menor atenuação comparativamente com o ambiente fechado.

Os módulos foram deixados na vinha durante um período de 48 horas para se monitorizarem as variáveis ambiente de temperatura e humidade relativa, que permitirão perceber a possibilidade de ocorrência de doenças na vinha.

6.1 Testes e Resultados



Figura 6.7: Força de Sinal no Terreno

No gráfico da figura 6.8 podem analisar-se os dados relativos à temperatura, recolhidos a partir de um nó sensor da rede. Assim, pode analisar-se que a temperatura nos dias 16 e 17 de Agosto atinge o seu pico entre as 12 e 13 horas e o valor mínimo por volta das 6 horas da manhã. No dia 16 de Agosto o valor máximo registado de temperatura foi de 51,6 °C e o valor mínimo de 15,1 °C. Enquanto, no dia 17 de Agosto foi ligeiramente mais quente, tendo a temperatura atingido o valor de 53,6 °C e o mínimo de 16 °C. Como era expectável, pode observar-se que o maior declínio de temperatura acontece ao entardecer, estando a temperatura relativamente baixa durante noite e começando a subir ao amanhecer.

Pelo facto dos módulos estarem diretamente expostos ao sol, serão registados valores de temperatura superiores tendo como referência a temperatura ambiente.

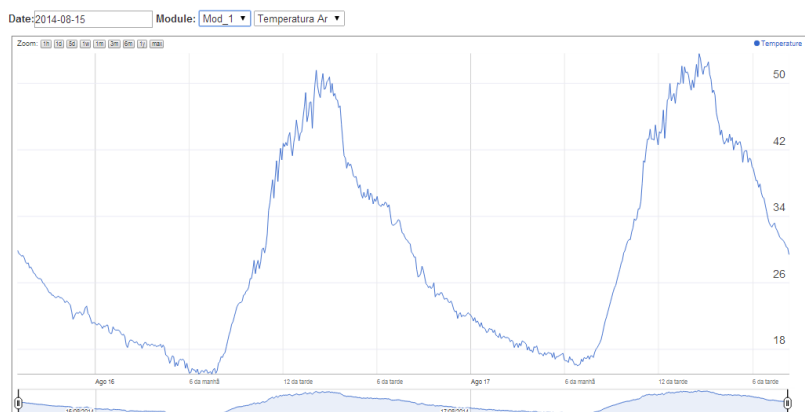


Figura 6.8: Gráfico Temperatura no Ambiente Exterior

Segundo a página web AccuWeather, a temperatura em Neiva no dia 16 de Agosto de 2014 foi de 26 °C e no dia 17 de Agosto foi de 29 °C verificando-se o aumento de temperatura como apresentado nos dados obtidos a partir da RSSF.

Em relação à humidade relativa o gráfico obtido foi o da figura 6.9. Contrariamente, ao que se verifica na temperatura, a humidade relativa aumenta durante a noite e diminui durante o dia, tal como era esperado. No dia 16 de Agosto o valor pico de humidade acontece por volta das 6 da manhã atingido os 90,1% e em relação ao valor mínimo este acontece por volta das 13 horas com valores entre os 12 e 13%.

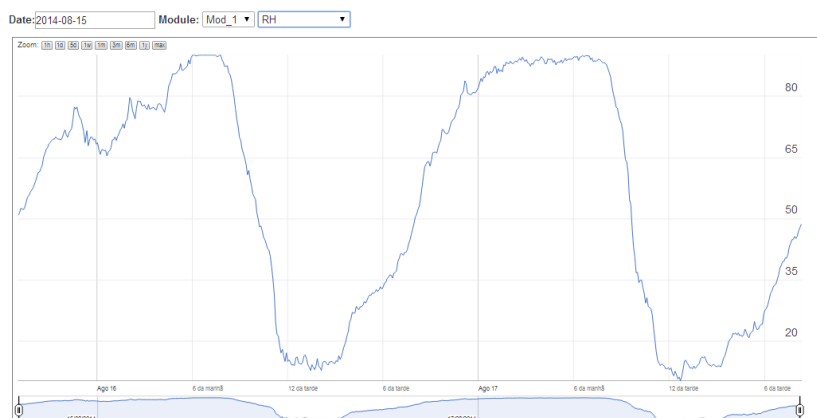


Figura 6.9: Gráfico Humidade no Ambiente Exterior

No dia 17 de Agosto, como a temperatura aumentou a humidade diminuiu ligeiramente,

6.2 Doenças na Vinha

tendo-se registado o valor máximo de 89,9% e o valor mínimo valor de humidade neste dia rondou os 10,4%.

Estando todos os elementos integrados na mesma rede, verificou-se a receção contínua de mensagens na estação base, reforçando o bom funcionamento da RSSF.

Os resultados obtidos no ambiente exterior bem como, no ambiente interior foram os esperados. A temperatura e humidade no ambiente interior apresentam uma maior estabilidade quando comparados com a monitorização do ambiente exterior. Este verão (Agosto 2014) registou noites anormalmente frias e húmidas o que se veio a verificar nos dados obtidos a partir da vinha.

A partir dos testes desenvolvidos tanto de aquisição de dados (monitorização) como da força de sinal em ambos os ambientes, ficou provada a potencialidade do protocolo Zigbee para RSSFs reforçando a confiança e fiabilidade do projeto para, o desenvolvimento de uma solução comercial em tempos futuros.

6.2 Doenças na Vinha

Tal como era previsto inicialmente, nesta secção serão apresentados os resultados obtidos em relação à possibilidade de ocorrência de doenças nas vinhas. Assim sendo, no gráfico da figura 6.10 e 6.11 podem analisar-se os resultados relativos à previsão da ocorrência de doenças oídio e míldio. Estes dados foram recolhidos para análise, no dia 16 de Agosto e num período de 24 horas.

Como se pode analisar, no gráfico da figura 6.10, relativo ao oídio, existe uma grande probabilidade de ocorrência de doença, demarcada pela região amarela.

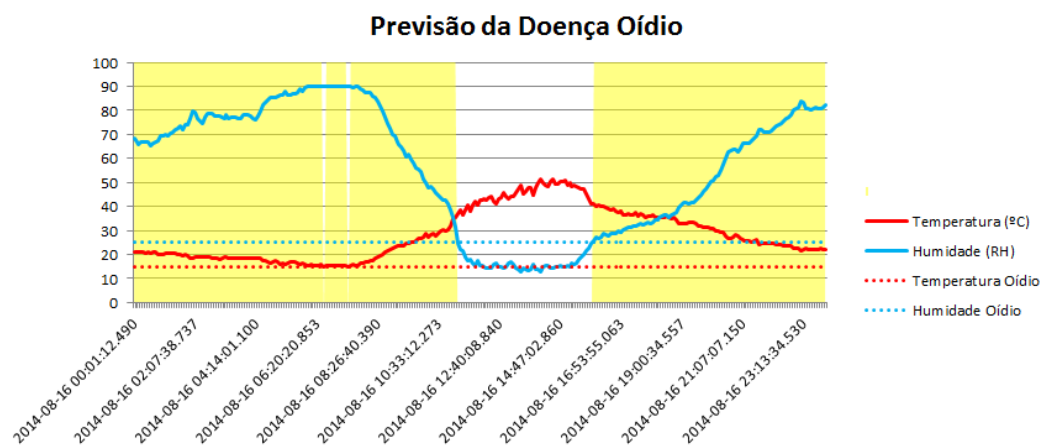


Figura 6.10: Gráfico Previsão Doença Oídio

Enquanto, no gráfico da figura 6.11, relativo ao míldio não existe probabilidade de ocorrência de doença.

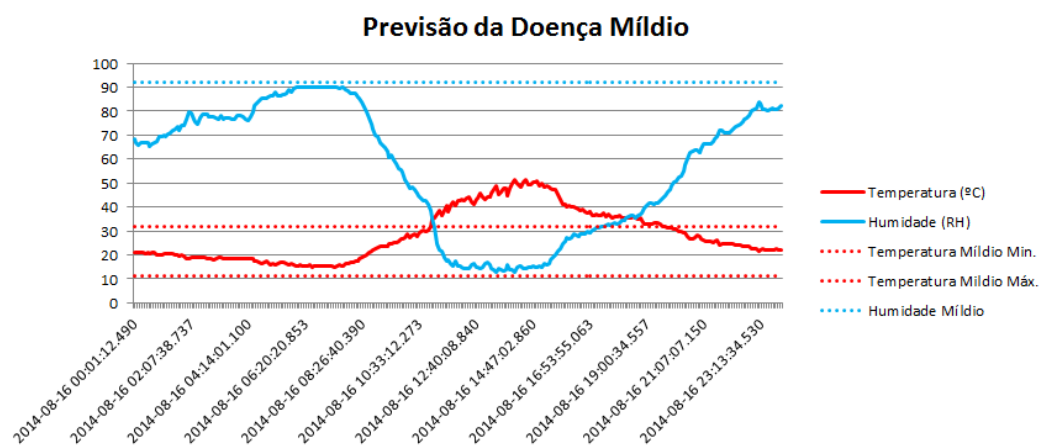


Figura 6.11: Gráfico Previsão Doença Míldio

Não se pode deixar de referir que, estes resultados são meramente indicativos, fazendo apenas previsões de doenças. Uma vez que, para se obterem previsões com maior grau de exatidão teriam de ser avaliadas outras variáveis ambiente e até das plantas (e.g. presença de água na folha).

Estes gráficos foram ilustrados com os dados obtidos e para exemplificar de forma simples a problemática no entanto, o algoritmo implementado de previsão de doenças é

6.3 Análise de Custos

calculado com um intervalo de tempo definido pelo utilizador e usando a média dos valores recolhidos, após a última análise.

6.3 Análise de Custos

Os custos apresentados na tabela presente no anexo B são respeitantes ao desenvolvimento do protótipo. Ou seja, estão sumariados todos os custos envolvidos no projeto com materiais e componentes utilizados. De referir que, numa situação futura de comercialização e conseqüente produção em quantidade, estes custos reduzirão de uma forma considerável.

No entanto, o custo do nó sensor, enquanto protótipo, é realmente inferior quando comparado com as soluções existentes no mercado aumentando assim a sua viabilidade.

Conclusão e Trabalho Futuro

Neste último ponto do trabalho, apresentam-se as conclusões finais do projeto salientando-se algumas propostas de melhorias futuras para o sistema apresentado.

7.1 Conclusão

Neste projeto de dissertação estudou-se e implementou-se um sistema que tem a capacidade de prever a ocorrência de doenças nas vinhas. Assim, consegue-se diminuir os prejuízos dos produtores em torno desta problemática, traduzindo-se numa produção de vinho de maior quantidade e qualidade. O projeto apresentado não prevê mão-de-obra em pleno funcionamento ou seja, numa fase posterior à implementação do sistema no terreno, este deverá funcionar normalmente sem ajuda de intervenção humana, excetuando a manutenção do sistema. Esta característica permitirá aumentar a viabilidade do projeto.

No desenvolvimento deste protótipo foram necessárias diferentes componentes, que se dividem essencialmente em dois grupos, sendo eles a RSSF e a gestão de dados.

Esta solução é apresentada sob a forma de protótipo o que significa que poderá vir a sofrer alterações no futuro.

Os resultados experimentais obtidos foram os esperados, vindo assim viabilizar as escolhas tecnológicas e até a solução propriamente dita. No entanto, os parâmetros como, a temperatura e humidade relativa não se revelaram suficientes para avaliar com exatidão

a ocorrência da doença uma vez que, o vento, a presença de água nas folhas ou até o tamanho dos sarmentos da videira (e outros) também são fatores que contribuem para a ocorrência da doença.

Esta solução apresenta características inovadoras, uma vez que não existem no mercado soluções específicas para a monitorização e previsão de doenças nas vinhas. É também uma mais-valia, pois apresenta-se com um baixo custo tornando-a acessível à maioria dos viticultores. Esta solução pode ainda, de uma forma fácil, ser adaptada a diferentes áreas e até culturas, sendo flexível.

Em jeito de conclusão, e após a finalização deste projeto fica o sentimento de dever cumprido uma vez que, os objetivos foram atingidos com sucesso.

7.2 Trabalho Futuro

A primeira abordagem em termos de trabalho futuro deveria passar por, tornar o protótipo autónomo em termos energéticos. Esta abordagem poderia passar por algumas alterações de *hardware* acrescentando, por exemplo baterias e painéis solares ao sistema.

A redefinição da arquitetura utilizando um maior número de dispositivos lógicos *End-Device* traduzir-se-ia num menor consumo energético.

Dependendo das áreas que se pretendem monitorizar, poderia escolher-se uma versão regular do módulo diminuindo assim, os custos financeiros do projeto.

No caso da aplicação de gestão da rede, esta revelou-se capaz de desempenhar as funções pretendidas no entanto, é passível de alterações.

Em relação à página web as alterações poderiam ser feitas no sentido de aumentar a segurança do sistema. Para tal, poderá implementar-se um serviço para o acesso aos dados da base de dados e ainda o acesso aos dados limitado, ou seja permitido apenas por parte dos utilizadores registados.

De maneira a, tornar a página web mais apelativa poderiam fazer-se melhorias em termos de *design*.

Estas propostas são apresentadas como possíveis soluções a implementar no futuro.

Bibliografia

- [1] Raul Morais, Miguel A. Fernandes, Samuel G. Matos, Carlos Serôdio, P. J. S. G. Ferreira, and M. J. C. S. Reis. A zigbee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Comput. Electron. Agric.*, 62(2):94–106, July 2008.
- [2] P. Patil, H. Vidya, S. Patil, and U. Kulkarni. Wireless sensor network for precision agriculture. In *Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2011 International Conference on*, pages 763–766, Oct 2011.
- [3] Jianfa Xia, Zhenzhou Tang, Xiaoqi Shi, Lei Fan, and Huaizhong Li. An environment monitoring system for precise agriculture based on wireless sensor networks. In *Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), 2011 Seventh International Conference on*, pages 28–35, Dec 2011.
- [4] Libelium. <http://www.libelium.com/>. Online, 15 de Julho de 2014.
- [5] Bynsebox. http://www.bynse.com/CMS/files/bynse_de_un_vistazo.pdf. Online, 15 de Julho de 2014.
- [6] WatchDog. <http://www.specmeters.com/weather-monitoring/data-loggers/1000-micro-stations/1000series-temp-rh/>. Online, 17 de Julho de 2014.
- [7] Berkeley. <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/overview.html>. Online, 8 de Julho de 2014.
- [8] Wai Fu Fung David Sun Johannes Gerhke, Manuel Calimlim. *Cougar Design and Implementation*. Cornell University.

- [9] Zigbee Alliance. <http://zigbee.org/Standards/ZigBeeSmartEnergy/Overview.aspx>. Online, 1 de Julho de 2014.
- [10] Gilles Thonet, Patrick Allard-Jacquín, and Pierre Colle. Zigbee - wifi coexistence. Technical report, Schneider Electric, 2008.
- [11] Zigbee and wireless radio frequency coexistence. Technical report, Zigbee Alliance, 2011.
- [12] Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince W.C. Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, and Y. Fun Hu. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and zigbee standards. *Computer Communications*, 30(7):1655 – 1695, 2007. Wired/Wireless Internet Communications.
- [13] Maria do Carmo Val. *Cadernos técnicos da ADVID Caderno técnico nº5 Oídio da videira*. ADVID Associação para o Desenvolvimento da viticultura Duriense, 2012.
- [14] Carlos Coutinho. *Sintomas so Múldio da Videira*. D.R.A.P.N., 2008.
- [15] Sparkfun. <https://www.sparkfun.com/>. Online, 12 de Agosto de 2014.
- [16] Sensing and Control Honeywell. *HH-5030/5031 Low Voltage Humidity Sensors*. Honeywell, 2010.
- [17] Texas Instruments. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, 2013.
- [18] Digi International Inc. *XBee/XBee-PRO RF Modules*, 2009.
- [19] Hubel Verde. http://www.hubel.pt/fotos/editor2/hv_tabelaprecos_copersa_2014.pdf. Online, 15 de Julho de 2014.
- [20] Karunakar Pothuganti and Anusha Chitneni. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In *Advance in Electronic and Electric Engineering*, pages 655–662, 2014.

BIBLIOGRAFIA

- [21] C.M. Ramya, M. Shanmugaraj, and R. Prabakaran. Study on zigbee technology. In *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on*, volume 6, pages 297–301, April 2011.
- [22] Digi. <http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdet1?id=2213>. Online, 5 de Agosto de 2014.
- [23] M. M. Chandane, S. G. Bhirud, and S. V. Bonde. Article: Performance analysis of ieee 802.15.4. *International Journal of Computer Applications*, 40(5):23–29, February 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.
- [24] A Wheeler. Commercial applications of wireless sensor networks using zigbee. *Communications Magazine, IEEE*, 45(4):70–77, April 2007.
- [25] Izzatdin Abdul Aziz, Mohd Jimmy Ismail, Nazleeni Samiha Haron, and Mazlina Mehat. Remote monitoring using sensor in greenhouse agriculture. In *Information Technology, 2008. ITSIm 2008. International Symposium on*, volume 4, pages 1–8, Aug 2008.
- [26] Sameer Tilak, Nael B. Abu-Ghazaleh, and Wendi Heinzelman. A taxonomy of wireless micro-sensor network models. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 6(2):28–36, April 2002.
- [27] Deepak Ganesan, Ramesh Govindan, Scott Shenker, and Deborah Estrin. Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 5(4):11–25, October 2001.
- [28] IEEE. <http://www.zigbee.org/About/UnderstandingZigBee.aspx>. Online, 1 de Julho de 2014.
- [29] Zigbees. <http://www.zigbees.com/>. Online, 1 de Julho de 2014.
- [30] F.L. Zucatto, C.A Biscassi, F. Monsignore, F. Fidelix, S. Coutinho, and M.L. Rocha. Zigbee for building control wireless sensor networks. In *Microwave and Optoelec-*

- tronics Conference, 2007. IMOC 2007. SBMO/IEEE MTT-S International*, pages 511–515, Oct 2007.
- [31] Syngenta. <http://www3.syngenta.com/COUNTRY/PT/PT/CULTURAS/VINHA/PROBLEMAS/Pages/Mildio.aspx>. Online, 15 de Agosto de 2014.
- [32] António Santin. http://consultoriaemviticultura.blogspot.pt/2013/10/mildio-da-videira_10.html. Online, 15 de Agosto de 2014.
- [33] Mário Serafim Nunes. *Redes de Acesso Parte F - Redes de Acesso Rádio*. IST, 2005.
- [34] Maxwell. *Propagação em redes WiFi*.
- [35] Teleco. http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes4g/pagina_2.asp. Online, 18 de Agosto de 2014.
- [36] AccuWeather. <http://www.accuweather.com/en/pt/portugal-weather>. Online, 25 de Agosto de 2014.

APÊNDICE **A**

Esquemático

APÊNDICE **B**

Análise de Custos

Análise de Custos							
Descrição	Fabricante	Observações	Referência	Fornecedor	Quantid.	Preço	
						Unitário	Total
Nó Sensor							
Módulo Xbee Pro S2B	Digi		COM05008	SAR	1	49,950 €	49,950 €
Sensor Temperatura LM35DZ	Texas Instruments	TO-92	533-5907	RS-Online	1	1,450 €	1,450 €
Sensor Humidade HIH5030	Honeywell	SMD	781-1355	RS-Online	1	7,680 €	7,680 €
Regulador de Tensão LD33CV	ST	TO-220	CEL08008	SAR	1	1,100 €	1,100 €
Breakout Board Xbee	Sparkfun	-	COM04000	SAR	1	1,950 €	1,950 €
Barra ligadores 20 pinos (Macho)	ASSMANN WSW	2,54 mm	674-2331	RS-Online	1	0,840 €	0,840 €
Barra ligadores 20 pinos (Fêmea)	ASSMANN WSW	2,54 mm	674-1546	RS-Online	1	1,450 €	1,450 €
Barra de ligadores 10 pinos (Fêmea)	-	2 mm	CON01000	SAR	2	0,900 €	1,800 €
Led	-	Verde	CEL03001	SAR	1	0,150 €	0,150 €
Resistência 1KΩ	-	1/4 W	-	Oficinas D.E.I.	1	0,010 €	0,010 €
Resistência 10KΩ	-	1/4 W	-	Oficinas D.E.I.	1	0,010 €	0,010 €
Resistência 47KΩ	-	1/4 W	-	Oficinas D.E.I.	2	0,010 €	0,020 €
Condensador 0,1uF	-	Ceram.	CEL02002	SAR	2	0,100 €	0,200 €
Condensador 10uF	Panasonic	Electr. 25V	116-868	RS-Online	1	0,140 €	0,140 €
Borne de Alimentação	Weidmuller	2 Vias	294-7642	RS-Online	1	0,588 €	0,588 €
Ligador de Aliment. Bateria	-	-	CAB01033	SAR	1	1,000 €	1,000 €
Nó Sensor						Total Parcial	66,338 €
Nó Coordenador							
Módulo Xbee Pro S2B	Digi		COM05008	SAR	1	49,950 €	49,950 €
Adaptador Xbee USB	-	USB	CNV01006	SAR	1	18,800 €	18,800 €
Nó Coordenador						Total Parcial	66,750 €