



**João Vasco Monteiro
Ramalinho**

Data Mining Applied to Energy Efficiency



**João Vasco Monteiro
Ramalhinho**

**Mineração de Dados Aplicado à Eficiência
Energética**

Data Mining Applied to Energy Efficiency

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Paulo Santos, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Aos meus pais.

o júri / the jury

presidente / president

Professor Doutor Ricardo José Alves de Sousa

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Professor Doutor João Nuno Pimentel da Silva Matos

Professor Associado do Departamento de Eletrotónica Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (Arguente)

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (Orientador)

**agradecimentos /
acknowledgements**

Quero aqui agradecer a todos os que me apoiaram durante o desenvolvimento desta dissertação. Obrigado por me terem ajudado a percorrer esta longa etapa.

Quero agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor José Paulo Santos pelo essencial apoio científico, pela motivação e por todas as ideias, sempre inovadoras.

Agradeço também ao Mestre João Estima por uma excelente ideia e estar sempre disponível para me ajudar.

Quero agradecer aos meus amigos por tantas experiências únicas, apoio, diversão e novas áreas que exploramos juntos. Agradeço em especial aos meus colegas de laboratório. Pessoas que comigo partilharam o local de trabalho durante tanto tempo, o LSFP. Pelo empenho, camaradagem e entreatura que sempre tivemos entre nós. Agradeço especialmente ao Diogo Ribeiro que sempre esteve presente para me ajudar a trazer o fator magia para o racional.

À Ana Rita por todo o carinho, paixão, dedicação e alegria que partilhou comigo.

Em especial, aos meus pais, irmã e avôs, pelo auxílio prestado ao longo de todos estes anos em que nunca me faltou nada.

A todos, Muito Obrigado!

Palavras-chave

Sensor, Data-mining, Redes Neurais NN, IAQ, Eficiência Energética

Resumo

Nesta dissertação pretende-se fazer uso de métodos matemáticos de *data mining*, para trazer um novo conhecimento sobre o consumo em sistemas já implementados. Através da prospeção de dados pode ser criado não só um padrão de consumos mas também uma previsão de consumos do sistema a ser monitorizado. Com esta informação é possível detetar anomalias no funcionamento do mesmo que pode levar ao seu aumento de consumo ou atuar de forma a diminuir o mesmo nos períodos em que mais se consome.

Visto ser ainda um assunto pouco estudado esta é uma primeira abordagem ao problema. Neste trabalho é proposto a implementação de uma plataforma de recolha de dados, que permita o estudo desta solução. É usada uma rede de sensores sem fios de baixo consumo, de fácil implementação e grande versatilidade. Esta plataforma de recolha de dados é usada para fazer uma recolha de dados que são tratados pelos métodos descritos.

No tratamento dos dados recolhidos é possível quantificar a eficácia de cada algoritmo testado, comparando-os com os dados reais. Desta forma, são melhoradas as previsões efetuadas por este tipo de métodos matemáticos.

Este estudo poderá, futuramente, ser adaptado a sistemas reais melhorando assim a eficiência energética de um sistema implementado. Este melhoramento será totalmente não invasivo, isto é, sem afetar o comportamento e sem dispendiosas alterações. Será assim alcançado um aumento de eficiência energética conseguido uso racional dos equipamentos presentes, sem um decréscimo na qualidade dos mesmos.

Keywords

Sensor, Data-mining, Redes Neuronais NN, IAQ, Eficiencia Energética

Abstract

In this master thesis is intended to make use of mathematical methods of data mining, to bring new knowledge on consumption in systems already implemented. Through the mining of data can be created not only a pattern of consumption, but also a forecast of consumption of the system monitored. With this information it is possible to detect malfunctions which may lead to their increased consumption or act in order to decrease consumption during those periods of more consumption.

Since it is still the beginning of this study, this is a first approach to the problem. In this paper, it is proposed to implement a data collection platform, allowing the study of this solution. It used a network of wireless sensors, low-power, versatile and of easy implementation. This data collection platform is used to make a collection of data which are treated by the mathematical methods described.

In processing of the data collected it is possible to quantify the effectiveness of each test algorithm, by comparing them with the actual data. Thus predictions made by this type of mathematical methods are improved.

This study may in future be adapted to real systems thereby improving the energy efficiency of systems implemented. This improvement is totally noninvasive, ie, without affecting its behavior and without the need for costly improvements in it. It will thus be able to increase energy efficiency achieved only by the rational use of these devices without a decrease in quality.

Conteúdo

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Siglas e Acrónimos	vii
I Enquadramento	xi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	3
1.2 Objectivos	3
1.3 Organização da Dissertação	4
2 Revisão do Estado da Arte	5
2.1 Tecnologias de Suporte	5
2.1.1 Protocolos e tecnologias de comunicação	5
2.1.2 Microcontroladores	10
2.1.3 Instrumentação de Medição	11
2.2 Métodos Matemáticos	17
2.2.1 <i>Data Mining</i>	17
2.2.2 Redes Neurais	17
2.3 Soluções existentes	21
II Solução Proposta	23
3 Arquitetura Conceptual	25
3.1 Recolha de dados	25
3.2 Tratamento de dados	26
3.3 Visualização dos dados recolhidos	27
III Implementação e Análise de Resultados	29
4 Recolha de dados	31
4.1 Funcionamento	31
4.2 Microcontrolador	34

4.3	Transmissor sem fios	36
4.4	Sensores	40
4.4.1	Intensidade de luminosidade	40
4.4.2	Humidade relativa e temperatura	42
4.4.3	Concentração de dióxido de carbono	44
4.5	Alimentação dos módulos	45
4.6	Armazenamento dos dados recolhidos	46
4.7	Visualização de dados	48
5	Tratamento de dados	51
5.1	Preparação dos dados	51
5.2	Modelação dos dados recolhidos	54
5.2.1	Escolha da rede neuronal	54
5.2.2	Função de treino	55
5.2.3	Função de desempenho	55
5.3	Redes <i>Nonlinear Autoregressive</i> (NAR)	57
5.3.1	Entrada de rede dados de temperatura	57
5.3.2	Testes efetuados com dados de humidade	57
5.3.3	Testes efetuados com dados de Luminosidade	58
5.4	Redes <i>Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs</i> (NARx)	59
5.4.1	Entradas de rede com dados de temperatura de dois módulos	60
5.4.2	Testes efetuados com dados de humidade de dois módulos	61
5.4.3	Testes efetuados com dados de luminosidade de dois módulos	62
IV	Conclusões	65
6	Conclusão	67
6.1	Limitações do estudo	68
6.2	Sugestões para estudos futuros	69
	Referencias Bibliográficas	71
V	Apêndices	75
	Appendices	77
A	Exemplo de dados recolhidos	77
B	Layout e esquemático PCB Conversor USB-xbee	79
C	Layout e esquemático PCB módulos de recolha de dados	81

Lista de Figuras

1.1	Consumo mundial de energia por combustível e região [1]	1
1.2	Crescimento anual médio de consumo energético por setor [2]	2
1.3	Consumo energético por setores[3]	2
	(a) Setor Residencial	2
	(b) Setor Comercial	2
2.1	Arquiteturas de rede [4]	6
2.2	Rede de dispositivos <i>Bluetooth</i> [5]	8
2.3	Neurónio cerebral	18
2.4	Funções de transferência em neurónios artificiais	19
	(a) Função Linear	19
	(b) Função Sigmoide	19
	(c) Função Sinal	19
	(d) Função Gaussiana	19
2.5	Exemplos de várias categorias de redes	20
	(a) Exemplo de rede Recorrente ou dinâmica	20
	(b) Exemplo de rede <i>Feed Forward</i> (FF) ou estática	20
2.6	Exemplos dos vários tipos de conexões neuronais	21
	(a) Exemplo rede camada única	21
	(b) Exemplo rede multi camada	21
	(c) Exemplo rede totalmente conectada	21
3.1	Diagrama arquitetura conceptual	26
4.1	Diagrama sequencial <i>Unified Modeling Language</i> (UML) de interações de rede	32
4.2	Diagrama temporal de interações - mensagens de rede	33
4.3	Fluxograma de estados simplificado do funcionamento do microcontrolador	36
4.4	Exemplo de mensagem enviada entre módulos <i>XBee</i> em modo AT	37
4.5	Exemplo de mensagem enviada entre módulos <i>XBee</i> em modo API não cumprindo o protocolo	38
4.6	Decomposição em campos da mensagem apresentada em 4.5	39
4.7	Exemplo de mensagem enviada entre módulos <i>XBee</i> em modo <i>Application Programming Interface</i> (API) para envio de uma mensagem.	39
4.8	Gráfico saída - variação de luminosidade para o sensor de luminosidade	41
4.9	Montagem da resistência para leitura da saída em intensidade de corrente	41
4.10	Protocolo usado pelo sensor RHT03 [6]	42
4.11	Início de comunicação com o sensor RHT03 [6]	43

4.12	Distinção entre bit 0 e 1 sensor RHT03 [6]	43
4.13	Fluxograma de estados simplificado do funcionamento do programa de armazenamento de dados	48
4.14	Imagem da página de internet criada	49
5.1	Gráfico de exemplo de erro causado pela leitura da <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC)	52
5.2	Gráfico de exemplo de erros aleatórios	52
5.3	Gráfico de exemplo de tratamento dos dados obtidos em 5.1	53
5.4	Gráfico de exemplo de tratamento dos dados obtidos em 5.2	53
5.5	Exemplo de rede diferentes arquiteturas de rede	55
	(a) Exemplo de rede NAR	55
	(b) Exemplo de rede NARx	55
5.6	Rede NAR com entradas de rede com dados de temperatura	58
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	58
	(b) Gráfico Previsão de Rede	58
5.7	Rede NAR com entradas de rede com dados de humidade	59
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	59
	(b) Gráfico Previsão de Rede	59
5.8	Rede NAR com entradas de rede com dados de luminosidade	60
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	60
	(b) Gráfico Previsão de Rede	60
5.9	Rede NARx com entradas de rede com dados de temperatura de dois módulos	61
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	61
	(b) Gráfico Previsão de Rede	61
5.10	Rede NARx com entradas de rede com dados de humidade de dois módulos	62
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	62
	(b) Gráfico Previsão de Rede	62
5.11	Rede NARx com entradas de rede com dados de luminosidade de dois módulos	63
	(a) Gráfico autocorrelação do erro	63
	(b) Gráfico Previsão de Rede	63

Lista de Tabelas

2.1	Características dos termopares [7]	15
4.1	Taxa de transferência (<i>Baud Rate</i>) para comunicação em modo assíncrono [8] .	34
5.1	Tabela de resumo dos resultados das redes neuronais NAR	59
5.2	Tabela de resumo dos resultados das redes neuronais NARx	63

Lista de Siglas e Acrónimos

AA	Aprendizagem Automática
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AGPL	<i>Affero General Public License</i>
AMPOP	AMPLificador OPeracional
API	<i>Application Programming Interface</i>
AT	<i>Transparent</i>
AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
Bios	Basic Input/Output System
CCD	<i>Charged Couple Devices</i>
CLI	<i>Command-Line Interface</i>
CMOS	<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
DIP	<i>Dual In-Line Package</i>
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>
FCS	<i>Frame Check Sequence</i>
FEM	Força Eletromotriz
FF	<i>Feed Forward</i>
FFD	<i>Full Function Devices</i>
FH-CDMA	<i>Frequency Hopping - Code Division Multiple Access</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HS	<i>High Speed</i>
IA	Inteligência Artificial
IBM	International Business Machines

IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISM	<i>industrial, scientific and medical</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LOWESS	<i>LOcally WEighted Scatterplot Smoothing</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MPL	<i>Multi-Layer Perception</i>
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
NAR	<i>Nonlinear Autoregressive</i>
NARx	<i>Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs</i>
NASICON	<i>Sodium Super-Ionic Conductor</i>
NN	<i>Neural Network</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
Pacereg	<i>Pace Regression</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PPM	<i>Partes Por Milhão</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RBF	<i>Radial-Basis-Function</i>
RFD	<i>Reduced Function Devices</i>
ROM	<i>Read-only memory</i>
RRO	<i>Rail-to-Rail Output</i>
RTD	<i>Resistence Temperature Detector</i>
SI	<i>Sistema Internacional</i>
SIG	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>
SNR	<i>Simple Recurrent Networks</i>
SNR	<i>Simple Recurrent Networks</i>
SOP	<i>Small-Outline Package</i>
SVM	<i>Suport Vector Machine Regression</i>
TDNN	<i>Time Delay Neural Network</i>
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
TQFP	<i>Thin Quad Flat Pack</i>
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>

UART *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*
UML *Unified Modeling Language*
USB *Universal Serial Bus*

WEP *Wired Equivalent Privacy*
WI-FI *Wireless Fidelity*
WLAN *Wireless Local Area Network*
WPA *Wired Protected Access*

Parte I

Enquadramento

Capítulo 1

Introdução

O rápido crescimento do uso de energia a nível mundial é umas das maiores preocupações enfrentadas nos dias de hoje. Entre os anos de 1984 a 2004 o consumo de energia primária cresceu 49%, com um crescimento atual de 2% ao ano. Recentes previsões mostram um crescimento do consumo de energia primária de 3.2% em economias emergentes (Sudoeste Asiático Médio Oriente, América do Sul e África). É previsto que em 2020 o consumo anual desses países venha a ser maior que o dos países desenvolvidos (América do Norte, Japão, Austrália, Europa Ocidental, Nova Zelândia) [9]. Apesar de uma queda de 1.1% em 2009 pode ser previsto que o consumo de energia primária continue em crescimento como é visível no gráfico da figura 1.1.

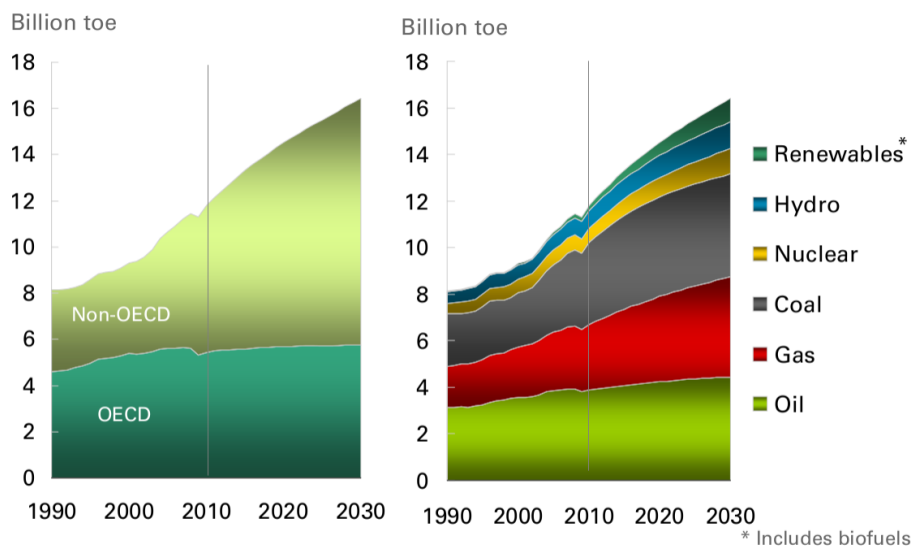


Figura 1.1: Consumo mundial de energia por combustível e região [1]

Fazendo uma análise setorial ao crescimento do consumo energético é possível observar quais os setores que desempenham um papel mais preponderante para este crescimento. Observando o gráfico da figura 1.2 fica claro que os setores que mais contribuíram a nível europeu, para o crescimento no uso de energia, foram os setores doméstico e de serviços.

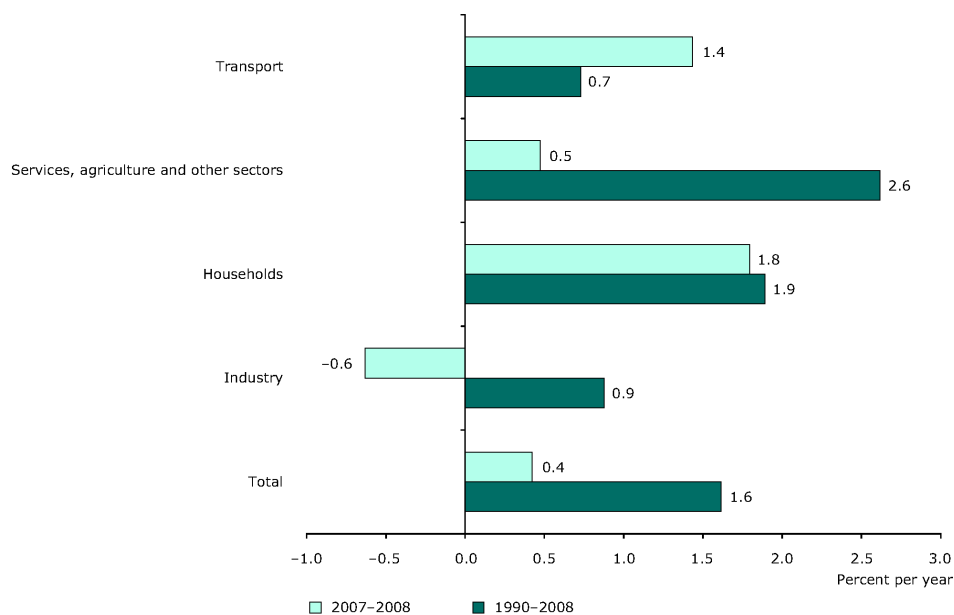


Figura 1.2: Crescimento anual médio de consumo energético por setor [2]

No setor doméstico o maior consumo energético deve-se a sistemas de controlo de temperatura ambiente, tendo também algum relevo a quantidade de energia consumida pela iluminação 1.3a. No setor comercial podemos afirmar que a iluminação e os sistemas de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) são responsáveis pelo consumo de mais de 50% de eletricidade 1.3b. É ainda esperado um aumento do consumo energético nestes dois setores, nos próximos anos [3].

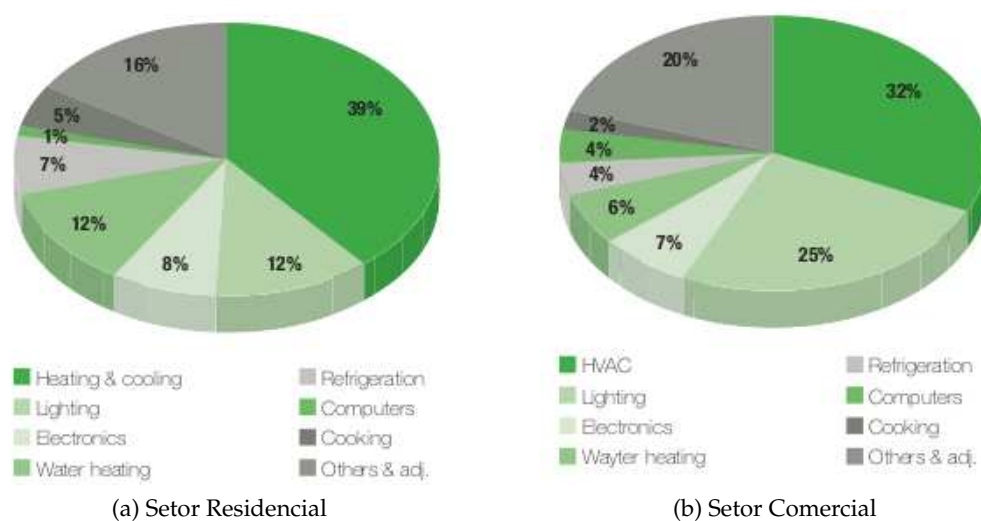


Figura 1.3: Consumo energético por setores[3]

1.1 Motivação

O crescimento do consumo energético vai levar a dificuldades no fornecimento de energia, à exaustão de recursos energéticos e a um pesado impacto ambiental no nosso planeta [9]. É por isso cada vez mais importante aumentar a eficiência energética dos edifícios em que habitamos, trabalhamos ou simplesmente nos divertimos. O aumento da eficiência energética dos sistemas implementados nos nossos edifícios vai contribuir de forma a evitar todos os malefícios da crescente demanda pela energia, assim como efetuar uma poupança económica considerável [10]. Componentes altamente eficientes energeticamente ainda não estão a ser massificados por todos os sistemas vendidos sendo difícil fazer uma retrocompatibilidade para os implementar em sistemas já existentes.

Pode ser questionado a razão da existência de resistência à implementação e utilização de sistemas ou equipamentos mais eficientes energeticamente. Essa questão é facilmente respondida se tomarmos conhecimento que um equipamento energeticamente eficiente é mais dispendioso. Isto significa um grande entrave na aquisição de equipamento para grandes edifícios. Apesar de o aumento no seu preço ser rapidamente compensado pela sua poupança efetiva de energia, o equipamento não é adquirido pela pessoa responsável pela sua operação, sendo assim prática comum para reduzir custos de construção optar-se por equipamentos mais baratos e energeticamente menos eficientes. A aquisição de eletrodomésticos no setor doméstico continua a ser prática comum a prevalecia da aquisição por um preço inicial mais baixo, apesar dessa escolha representar custos mais elevados a longo prazo. É também descrito que o facto de um equipamento ser energeticamente eficiente revela perante o consumidor a incapacidade de desempenhar um papel tão eficaz [11].

Seria importante o desenvolvimento de um sistema que servisse para o aumento da eficiência energética sem remeter à dispendiosa troca de dispositivos mas que também pudesse ser implementado em novos sistemas em desenvolvimento.

1.2 Objectivos

É, por isso, proposto o recurso à prospeção de dados aplicada aos equipamentos responsáveis pelo maior consumo energético no setor doméstico e residencial. Com este sistema vai ser possível o aumento de eficiência energética num sistema já implementado. É assim eliminada a necessidade de aquisição de novos equipamentos reduzindo o custo desta intervenção. Esta intervenção aos sistemas já implementados vai apenas proporcionar uma utilização mais racional dos equipamentos já disponíveis.

Em particular o objetivo deste trabalho é testar a aplicabilidade de algoritmos de prospeção de dados para processar dados provenientes de um sistema AVAC e de iluminação já implementado. Irá ser também criado um protótipo de uma rede de sensorização/atuação que servirá para medir grandezas físicas que caracterizem o sistema a testar. Este contém o hardware para recolha e envio de dados para um servidor, assim como o software de recolha e armazenamento de dados. Este é responsável pela recolha dos dados permitindo assim o seu tratamento.

O protótipo deve permitir o usar um número variável de módulos de recolha, retirar os dados desejados pelo utilizador quando o utilizador assim o necessitar. Deve também ter a capacidade de operar sistema caso necessário, alargando assim o espectro da sua aplicabilidade dos mesmos. O software de *data logger* deve ser capaz de efetuar uma recolha de dados interpretáveis por qualquer pessoa, isto é, em unidades conhecidas, e permitir também a sua exibição de uma forma clara para o utilizador. A consulta de dados deve poder ser efetuada em qualquer altura e de qualquer data que o utilizador requisite.

Os algoritmos de prospeção de dados terão de ser capazes de retirar uma nova compreensão, relações e efetuar uma previsão com base nos dados já recolhidos. Serão testados vários algoritmos e feito um balanço relativo à sua eficácia nos parâmetros acima referidos.

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em arquitetura conceptual, solução proposta, a análise de resultados e as conclusões por esta ordem nas partes seguintes. Antes de serem apresentados os assuntos anteriormente referidos é ainda feito um pequeno estudo no capítulo 2 às tecnologias de suporte da solução implementada assim como soluções já existentes semelhantes à proposta.

Na Parte 2, no Capítulo 3 é apresentada a arquitetura conceptual. Nesta parte é explicada de modo genérico a solução proposta para responder ao problema apresentado na motivação desta dissertação.

Na Parte 3 é feita a análise de resultados. No capítulo 4 é dado um maior enfoque as tecnologias usadas. É explicado exatamente as escolhas entre cada tecnologia e metodologia usada na criação dos módulos de recolha de dados e da interface para visualização dos mesmos. No capítulo 5 é descrito como foram testados os algoritmos usados para tratar os dados, como o software usado e as diferenças entre os mesmos.

Na Parte 4, no capítulo 6 são retiradas conclusões com base nos dados experimentais e nos resultados de outras soluções apresentadas anteriormente. É também feito um comentário relativo à aplicabilidade da solução apresentada nesta dissertação, apresentadas as falhas deste estudo e proposto trabalho para futuros estudos nesta matéria.

São ainda incluídos alguns anexos que complementam o estudo, implementação e escrita desta dissertação.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

Neste capítulo será apresentada a revisão do estado de arte. Neste capítulo são esclarecidas questões inerentes ao tema desenvolvido. Inicia-se com uma abordagem às tecnologias de suporte e termina com a apresentação de possíveis soluções para um problema semelhante ao que é discutido na presente dissertação.

2.1 Tecnologias de Suporte

2.1.1 Protocolos e tecnologias de comunicação

Zigbee

O *Zigbee* é uma norma de comunicação sem fios baseada no padrão *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.15.4. Utiliza um protocolo de comunicação de alto nível pensado para rádios pequenos e com baixo consumo. Esta norma é usada para redes em que as comunicações são de curto alcance e com uma baixa taxa de transmissão de dados.

Graças ao seu baixo consumo torna-se uma ferramenta muito usada para redes de sensores, interruptores remotos e outros dispositivos sem fios alimentados por baterias. É possível manter um módulo de sensorização ligado durante vários meses ou até anos sem ter de se recorrer à troca ou recarga da bateria [12].

O *zigbee* opera em uma das bandas de radio *industrial, scientific and medical* (ISM) estando habitualmente sintonizado a 2.4 GHz. Pode também operar nas frequências 868 MHz na Europa, 915 MHz nos Estados Unidos e Austrália. A taxa de transmissão de dados varia entre 20 a 900 *kbits/seg*.

A norma *Zigbee* suporta várias arquiteturas de rede. Habitualmente são usadas arquiteturas em malha, em estrela, em árvore. Nesta tecnologia de comunicação é possível ligar até 65536 dispositivos. Os mesmos podem ser de dois tipos, os *Full Function Devices* (FFD) e os *Reduced Function Devices* (RFD) [12].

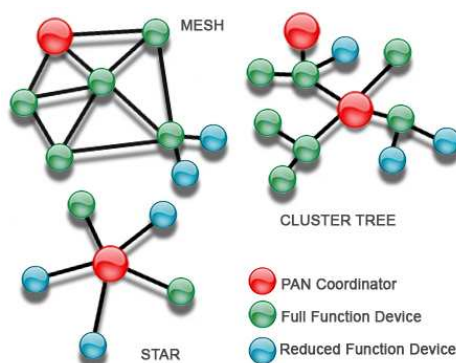


Figura 2.1: Arquiteturas de rede [4]

Cada dispositivo *ZigBee* quando inserido numa rede pode assumir 3 funções: coordenador, transmissor ou dispositivo final. Deve ser usado um FFD para servir de transmissor e de coordenador de rede pois os RFD apenas servem para dispositivos finais.

O coordenador, *PAN coordinator*, têm a função de controlar a rede. O coordenador comunica com os dispositivos terminais e faz uma ligação bidirecional da rede com o exterior da mesma, por exemplo com um computador para recolha de dados ou acionamento de módulos ou mesmo com outra rede *Zigbee* [12].

Os *routers*, ou retransmissores, servem para reencaminhar a mensagem entre os dispositivos terminais e o coordenador. São vitais numa arquitetura de rede em malha ou em árvore. Com a presença de retransmissores podemos ter uma rede de grande dispersão com módulos de baixa potencia, visto que não temos de ter todos os dispositivos finais a uma distancia de transmissão direta com o coordenador. Quando o dispositivo final não está à distância mínima de comunicação com o coordenador, a mensagem é enviada para um transmissor intermédio que reencaminhará a mensagem, diretamente ou através de outros retransmissores, até ao coordenador, seguindo o caminho inverso quando a mensagem parte do coordenador. Os retransmissores podem também ser capazes de ler sensores e enviarem os dados deles recolhidos, ou a comando do coordenador procede a atuação de sistemas remotamente [12].

Os dispositivos finais têm a função de recolher dados de sensores, ou de atuação de sistemas a eles ligados, enviando os dados recolhidos para o coordenados. São os mais simples, sendo os únicos que podem ser RFD. Sendo dispositivos RFD só podem comunicar com FFD, isto é, com o coordenador ou com um retransmissor. São os normalmente os dispositivos mais baratos pois tratam-se de dispositivos de funcionalidades reduzidas [13].

Quando uma rede *Zigbee* é instalada é possível a existência de muitos transmissores sem fios de dados no mesmo espaço físico, isso pode levar à colisão de dados. É denominada colisão de dados quando dois módulos distintos tentam enviar dados no mesmo canal ao mesmo tempo. Analogamente poderia ser feita a comparação entre duas pessoas a falar entre si ao mesmo tempo ou com um 3 interlocutor [14]. Para evitar a colisão de dados a norma *Zigbee* faz uso do *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)*,

para gerir o acesso ao meio de transmissão. Precedente à transmissão é feita uma medição de energia espectral no canal em questão. Só na confirmação de que o canal está livre é efetuada a comunicação, caso contrário aguarda um período de tempo aleatório antes de efetuar nova verificação. Todas as mensagens trocadas pelos dispositivos dentro de uma rede *ZigBee* seguem uma estrutura própria. Para efetuar uma verificação da veracidade dos dados recebidos, recorre-se à leitura de um campo dessa estrutura, o *Frame Check Sequence* (FCS). O valor enviado neste campo é calculado pelo dispositivo que envia a mensagem com base no conteúdo da mesma e confirmado pelo dispositivo que a recebe. Caso o valor enviado e o valor calculado pelo dispositivo receptor forem diferentes, significa que houve um erro com a transmissão [15].

Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fios de curto alcance que é simples e segura. Pode ser encontrada em centenas de dispositivos como computadores, telemóveis, câmaras digitais, impressoras, consolas ou outros periféricos, substituindo assim os cabos para comunicação entre os mesmos. As principais características do *Bluetooth* são a sua robustez e o baixo consumo [16].

Esta tecnologia começou a ser desenvolvida em 1994 pela empresa *Ericsson*. Em 1998, *Ericsson*, *IBM*, *Toshiba*, *Nokia*, e *Intel* formaram um consórcio e adotaram o nome de *Bluetooth Special Interest Group* (SIG) para o propósito desenvolver uma tecnologia que substituísse os fios transmitindo voz e dados [16].

As comunicações *Bluetooth* operam na faixa ISM. Sendo uma gama de frequência não licenciada é usada por outros protocolos de comunicação. Este facto pode provocar interferências de comunicação. Para solucionar este problema foi implementado o mecanismo *Frequency Hopping - Code Division Multiple Access* (FH-CDMA). Este mecanismo faz com que a banda seja dividida em 79 portadoras espaçadas de 1 MHz. Cada dispositivo pode transmitir em 79 frequências diferentes, que podem ser alteradas até 1600 vezes por segundo pelo coordenador, minimizando assim as interferências [17, 18].

Um conjunto de dispositivos *Bluetooth* ligados numa rede *ad-hoc* denomina-se de *Piconet*. Por ligação *ad-hoc* entende-se uma ligação descentralizada, na qual não há um *router* ou um ponto de acesso central. Assim sendo, um dos próprios dispositivos ligados à rede faz a gestão da mesma, neste caso o dispositivo coordenador [19]. É possível ter até 8 dispositivos na mesma *Piconet*, a atribuição do papel de coordenador, ou *master*, é dada ao dispositivo que inicia a rede. Os restantes dispositivos assumem o papel *slaves*. É dada a possibilidade a um *slave* de participar em várias *Piconet* expandindo assim a rede de dispositivos. Uma rede com uma ou mais *Piconet* é denominada por *Scatternet* [5].

Existem três classes de dispositivos *Bluetooth*, sendo as mesmas diferenciada pela distância atingida pelo dispositivo:

Classe 1 até 100 m (100 mW);

Classe 2 até 10 m (2.5 mW);

Classe 3 até 1 m (1 mW);

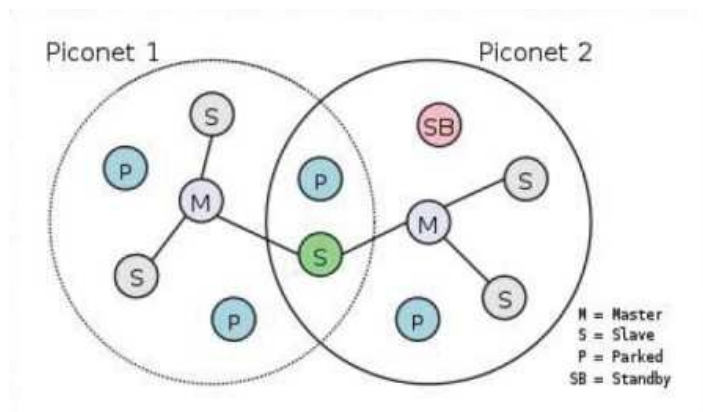


Figura 2.2: Rede de dispositivos *Bluetooth* [5]

Desde a criação do consórcio SIG, o *Bluetooth* tem sofrido algumas alterações. As primeiras alterações feitas foram ao encontro de resolver problemas de interoperabilidade entre dispositivos e aumentar a segurança das ligações. As alterações mais recentes tratam de reduzir o consumo dos aparelhos comunicantes e aumentar a velocidade de transmissão de dados. A nova versão é o *Bluetooth* 4.0. Nesta versão foi novamente reduzida a energia consumida para efetuar a comunicação assim como aumentar a velocidade de transferência de dados para 1 Mbit/seg. Esta taxa de transferência está apenas disponível se a conexão for efetuada entre dois dispositivos com *Bluetooth* 4.0. Caso exista um aparelho de versão inferior na *Piconet* a velocidade de transferência máxima é definida pelo aparelho da versão anterior [20].

Wi-Fi

O WI-FI é uma tecnologia de comunicação sem fios. Pertence à classe de dispositivos de rede local sem fios *Wireless Local Area Network* (WLAN) e é baseada no padrão IEEE 802.11. É uma marca registada da *WI-FI Alliance*. O facto de operar na banda de frequências não licenciadas ISM, torna esta tecnologia muito atrativa, sendo a mesma usada em muitas aplicações em especial para a substituição dos cabos de rede. Assim é possível com um transmissor Wi-fi e um, ou mais, receptores criar uma rede doméstica ou empresarial ligada à Internet [21].

Um exemplo de utilização desta tecnologia são os pontos de acesso sem fios, denominados de *Hotspot*. Um *Hotspot* é um *router* com ligação à Internet e com uma placa WI-FI, estes existem para abranger uma área com acesso à Internet sem fios. O ponto de acesso transmite numa pequena distância, normalmente de 100 metros ou mais. Quando existe um aparelho periférico com capacidade de transmitir WI-FI na zona acessível pelo *Hotspot* o mesmo pode se conectar à rede, conseguindo assim um acesso aos outros utilizadores deste *hotspot* assim como à Internet. Por aparelho periférico pode ser entendido um telemóvel, um *tablet*, um computador portátil ou qualquer outro dispositivo dotado com um transmissor WI-FI. Cada um destes dispositivos tem um endereço associado ao transmissor WI-FI, este endereço é composto por seis campos de dois caracteres hexadecimais sendo denominado de *Media Access Control (MAC) Address*. Sendo diferente para cada dispositivo é usado para identificar os mesmos na rede. Este tipo de rede é normalmente montado em locais públicos

como café, aeroportos, hotéis, livrarias. As zonas em que existe este tipo de *Hotspot* geralmente são denominadas de WI-FI *zones* [22].

Desde a criação do padrão WI-FI o mesmo tem sofrido várias modificações. Estas modificações foram feitas a na de potência consumida, intensidade de sinal, taxa de transmissão e abrangência por uma antena assim como de segurança.

Foram aparecendo novos padrões para o WI-FI ao longo do tempo alterando assim a potência, intensidade de sinal, taxa de transmissão e abrangência [21].

Esses padrões são os seguintes:

IEEE 802.11a Padrão Wi-Fi para frequência 5 GHz com taxa de transmissão teórica de 54 Mbits/seg.

IEEE 802.11b Padrão Wi-Fi para frequência 2.4 GHz com taxa de transmissão teórica de 11 Mbits/seg.

IEEE 802.11g Padrão Wi-Fi para frequência 2.4 GHz com taxa de transmissão teórica de 54 Mbits/seg.

IEEE 802.11n Padrão Wi-Fi para frequência 2.4 GHz e 5 GHz com taxa de transmissão teórica de 65 Mbits/seg a 600 Mbits/seg.

A segurança é umas das preocupações da WI-FI *Alliance*. Devido ao seu raio de alcance existe a necessidade de impor um controlo sobre os dispositivos ligados. Caso este controlo não existisse, qualquer dispositivo poderia ligar à rede ou à Internet dentro do raio de alcance de sinal ou capturar pacotes dessa rede acessando assim à informação enviada. Por essa razão foram desenvolvidos vários mecanismos de segurança para a proteção da rede evitando assim que dispositivos não autorizados tenham acesso à mesma.

WEP O *Wired Equivalent Privacy* (WEP) existe desde o padrão IEEE 802.11 original. Constitui um mecanismo de autenticação que basicamente funciona de forma fechada ou aberta caso o dispositivo a tentar fazer a ligação à rede tenha a chave correta para a mesma. Este sistema normalmente trabalha com chaves de 64 bits e de 128 bits podendo ser também usadas chaves de 256 bits. Sendo as ultimas as mais seguras e oferecendo algum nível de segurança hoje em dia não se recomenda o uso de WEP devido às suas potenciais falhas de segurança. Uma das referidas falhas é por exemplo numa rede usando WEP com uma chave de 64 bits, é usado um vector de inicialização contendo 24 bits da chave. Os restantes 40 bits que formam a chave são muito fáceis de ser quebrados. Mesmo com uma combinação de 128 bits ou 256 bits é um método com grandes lacunas de segurança [23].

WPA Devido as falhas de segurança existentes no WEP a WI-FI *Alliance* disponibilizou em 2003 outra solução o formato *Wired Protected Access* (WPA). Este formato oferece uma maior segurança face ao WEP visto implementar o protocolo *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP), que ficou conhecido como WEP2. Ao contrário do WEP neste formato a chave é trocada periodicamente. É configurada uma chave de 128 bits nos dispositivos de rede, a mesma é combinada com o *MAC Address*. Como cada é diferente do outro, existe uma uma sequência específica para cada dispositivo de rede. Mesmo que sejam capturados alguns bits de uma chave e encontrada uma chave de

rede como ela é variável não vai permitir o acesso à rede, a única chave que o permite está guardada em cada dispositivo e só viaja pela rede quando combinada com o *MAC Address* [23].

WPA2 (AES) Apesar do WPA resolver os problemas de segurança do WEP, a *WI-FI Alliance* trabalhou para obter um esquema de segurança ainda mais confiável. Por volta do ano de 2004 surge o IEEE 802.11i, que não é um padrão de redes sem fio mas sim um conjunto de especificações de segurança, é também conhecido por WPA2. No WPA2 é utilizado um protocolo denominado *Advanced Encryption Standard (AES)*. Este protocolo é bastante seguro mas o mesmo exige bastante processamento. Pode prejudicar o desempenho de equipamentos de redes não tão sofisticados e equipamentos antigos podem não ser compatíveis com WPA2 mas, o seu uso é recomendado para quem deseja alto grau de segurança. A implementação deste protocolo deve ser testada com os equipamentos a usar antes da sua implementação definitiva devido a todas estas contrariedades [24].

2.1.2 Microcontroladores

Um microcontrolador é um dispositivo eletrónico que fundamentalmente é constituído por um *Central Processing Unit (CPU)*, uma memória *Random Access Memory (RAM)*, uma memória *Read-only memory (ROM)*, canais de comunicação e dispositivos periféricos como conversores analógico/digitais ADC e conversores digitais/analógicos *Digital to Analog Converter (DAC)*.

Os microcontroladores diferem dos microprocessadores porque para além de conterem componentes lógicos e aritméticos encontrados num microprocessador de uso geral, contêm também memórias e saídas digitais e analógicas. São também dispositivos com uma frequência de *clock* normalmente menor que a dos processadores, a mesma varia entre poucos KHz até alguns MHz, quando na atualidade os microprocessadores convencionais registam uma velocidade de *clock* de alguns GHz. Os microcontroladores são dispositivos de consumo muito reduzido. O seu consumo em geral é na ordem dos miliwatts tendo geralmente um modo de *Sleep* ou *Wait*. Neste modo são desligados os sistemas não operantes ficando assim o microcontrolador "adormecido" ou em modo de espera. Neste caso o seu consumo passa de miliwatts para apenas alguns nanowatts, esperando que uma interrupção no seu código ou um evento externo o acorde desde modo de operação. Este baixo consumo torna os microcontroladores ideais para aplicações onde o baixo consumo de energia será decisivo para esta dissertação [25].

Em contrariedade com os microprocessadores em que o seu sobredimensionamento é generalizado, sendo o mesmo apenas travado pelo preço que o cliente final deseja pagar pelo mesmo, sobredimensionar um microcontrolador é um erro que pode custar muito ao projeto. Deve ser escolhido o dispositivo que cumpra apenas com as tarefas requeridas pelo projeto, apenas se deve sobredimensionar o mesmo, se for esperada uma atualização para o produto. Ao sobredimensionar um microcontrolador o mesmo ficará mais caro e somar-se-á por cada unidade produzida o custo de um microcontrolador mais caro [25].

Quanto à sua programação, num microcontrolador, o engenheiro tem de lidar com uma

gama muito grande de desafios, tendo o mesmo que programar não só a Basic Input/Output System (BIOS) assim como o *firmware* e mesmo a nível de circuitos o microcontrolador. Essa capacidade de programação representa uma grande adaptabilidade a vários problemas por parte dos microcontroladores. Os mesmos podem controlar desde uma maquina de lavar roupa, uma passadeira no chão de uma fábrica, máquinas de escritório e residenciais, motores de automóveis. Todas estas aplicações utilizam todas as capacidades de um microcontrolador, RAM, ROM, CPU, ADC, DAC. Os mesmos podem ser também usados em aplicações mais pequenas como comandos de automatismos de portões ou brinquedos mais simples. Em certos casos nem se recorre às suas capacidades de processamento, utilizando apenas a lógica booleana programável, por exemplo quando usado num teste de gravidez caseiro.

2.1.3 Instrumentação de Medição

Sensores de Humidade

A atmosfera é constituída por diversos gases, sendo um deles o vapor de água H_2O . A quantidade de humidade do ar é expressa, geralmente, não sob a forma de humidade absoluta mas sim relativa. Humidade relativa, em termos simplificados, é o quociente entre o grau de humidade presente no momento da medição, e o grau de humidade máxima que poderia existir no momento da medição, ar saturado. O grau de humidade depende de certas variações atmosféricas, sendo a temperatura do ar a mais importante. Quanto maior a temperatura, maior a capacidade do ar reter humidade. Quando está presente na amostra toda a quantidade de água que o ar poderia absorver à temperatura a que o mesmo se apresenta, diz-se que o ar está saturado. A esse ponto de saturação é denominado de ponto de orvalho.

A humidade é um dos dados mais importante no nível de controlo de qualidade do ar. O controlo rigoroso da humidade relativa do ar é importante para o conforto térmico, por exemplo para a eficácia da sudorese cutânea *malcolm*. A sudorese cutânea é o primeiro mecanismo usado pelo corpo para controlo de temperatura. A mesma consiste evaporação do líquido libertado pelas glandulas sudoríparas, o suor. Na evaporação as moléculas com maior energia escapam ficando as moléculas que têm menor energia cinética média, a temperatura do corpo em contacto diminui. Essa evaporação é impossível se o ar estiver saturado ou a temperatura de orvalho for muito alta, havendo então um desconforto térmico devido à incapacidade de arrefecimento por evaporação. O controlo da humidade relativa é também importante também em processos industriais. A manutenção dos níveis de humidade pode significar um aumento na qualidade do produto, maior taxa de produção e de produtividade e também menor custo de produção. Um controlo rigoroso dos níveis de humidade relativa do ar ocorre por exemplo no setor têxtil, indústria de papel e celulose, alimentício, tintas, indústria eletrónica, entre outros [7].

A escolha de um instrumento de medição de humidade deve ser feita respeitando vários parâmetros: faixa de medição, parâmetro de medição, precisão, contaminantes, manutenção, durabilidade, custo.

Faixa de medição ao escolher um sensor de humidade, deve-se usar a faixa de

medição na qual o sensor terá de funcionar a maior parte do tempo [7].

Parâmetros de medição a quantidade de humidade pode ser expressa numa variedade de termos como humidade relativa, ponto de orvalho, Partes Por Milhão (PPM), entre outros. O parâmetro de humidade relativa é usado por exemplo para câmaras de ensaio e sistemas de AVAC. O parâmetro ponto de orvalho é usado para controlo de atmosferas de recozimento, controlo de secadores, etc. Quanto ao parâmetro PPM é usado para ensaios de motores, túneis aerodinâmicos, câmaras de vapor, entre outros [7].

Precisão habitualmente escolhe-se o instrumento mais preciso existente para medição. Na instrumentação de humidade o exagero na precisão dos instrumentos pode constituir um erro dispendioso. Deve sempre ser escolhido o instrumento de medição com a precisão requerida para a tarefa a ser desempenhada pelo mesmo [7].

Contaminantes os sensores de humidade são instrumentos susceptíveis à contaminação. A contaminação pode ocorrer devido a químicos ou partículas existentes no ar circundante ao instrumento. A contaminação contribui para a diminuição da precisão, aumenta o tempo de resposta e encurta a durabilidade do sensor. A exposição de um sensor a humidades superiores a 90% por mais de 30 min pode levar a um fenómeno chamado absorção secundária, causando uma leitura maior que a real de aproximadamente 6%. Esta histerese pode ser removida pela exposição do sensor em ar a 50% de humidade relativa durante 24 horas [7].

Manutenção Os instrumentos de medição de humidade requerem manutenção, a frequência e o grau desta manutenção depende do seu tipo. Um simples psicrómetro de bolbo seco/húmido apenas requer uma troca de pavio e inspeção do sistema de alimentação de água semestral. Um sensor de humidade ótico de ponto de orvalho operando dentro de um forno pode exigir o espelho limpo várias vezes ao dia. É importante requisitar por parte do fabricante informação sobre o período que o sensor pode passar e sem calibração, assim como o tempo de vida do mesmo [7].

Durabilidade É sempre importante saber o tempo de vida útil do projeto para escolher um sensor adequado. As exigências de durabilidade variam de alguns meses, para certas experiências científicas, a alguns anos, numa fábrica por exemplo. Para experiências que requerem pouco tempo de vida devem ser considerados sensor mais baratos, como as células de ponto de orvalho, óxidos de alumínio, entre outros. Para uma vida mais longa deve-se considerar o uso de sensores do tipo de condensação, devido à sua construção inerte [7].

Custo Todos estes fatores apresentados anteriormente fazem uma diferença no custo de preço inicial do sensor. Antes de iniciar um projeto com este tipo de sensores é muito importante dispensar muita atenção ao custo inicial considerando todos estes fatores que afetam o preço de um instrumento de medição [7].

Para se efetuar a medição dos valores de humidade relativa no ar existem diversos métodos:

Medições de bulbo húmido/seco A psicrometria é um método bastante popular de medir a humidade. É um processo bastante simples e pouco dispendioso. Um psicrómetro industrial consiste num par de termómetros, um equipado com um pavio e reservatório para humedecer o pavio. São geralmente usados em aplicações que exigem um baixo custo, manutenção e precisão moderada. Não funciona a baixo de 0 °C [7].

Ponto de orvalho do tipo de sal saturado É um método de medição muito difundido devido à sua simplicidade, robustez e baixo custo. Pode ser usado para medições em que se necessite apenas de uma precisão moderada e resposta lenta, três minutos para uma variação de 63%. Este instrumento funciona por passar uma corrente por um sal que varia a sua resistência ao absorver humidade do ar [7].

Sensores elétricos humidade relativa São sensores elétricos de humidade relativa. Utilizam células de *Dunmore* e *Pope* para efetuar as medições. São relativamente económicos mas uma vez contaminados é impossível a sua limpeza. São por isso úteis para utilização em ambientes sem contaminantes. Possuem um tempo de resposta muito rápido e geralmente têm reduzidas dimensões. São por isso utilizados em soluções de baixo custo, boa precisão, rapidez e sem contaminação [26, 7]

Sensores de óxido de alumínio Este tipo de sensor é um condensador com eléctrodos de alumínio e ouro separados por óxido de alumínio. São geralmente usados em aplicações petroquímicas. Têm uma ampla faixa de medição, reduzido tamanho. São sensores que precisam de de frequente calibração, a precisão é baixa e a saída não é linear [7].

Higrómetro eletrolítico É utilizada uma célula revestida por uma fina camada de pentóxido. É usado para medições de baixos PPM e em ambientes com gases inertes e compostos orgânicos, mas não pode ser usado em ambientes corrosivos. Tem baixa necessidade de manutenção e não apresenta histerese, mas apresenta uma resposta mais lenta que os sensores de óxidos de alumínio [7].

Higrómetro ótico de condensação O Higrómetro ótico de condensação com deteção ótica é dos instrumentos mais precisos e seguros. Oferece uma vasta gama de medições de ponto de orvalho, excelente repetibilidade, tornando-o um sensor complexo e dispendioso. Sendo um dispositivo ótico requer manutenção contra contaminantes que condensem na superfície refrigerada, mas é de simples manutenção bastando a sua limpeza com um pano sendo raramente substituído. É o instrumento mais adequado para máxima precisão na determinação do teor de vapor de água numa faixa razoavelmente ampla do ponto de orvalho [7].

Sensores de Temperatura

Temperatura em termos comuns é uma propriedade física da matéria que quantifica a noção comum de quente e frio. Temperatura do ponto de vista físico é a grandeza física que mede a energia cinética média de cada grau de liberdade de cada uma das partículas em equilíbrio térmico. No caso de ser analisado do ponto de vista de conforto térmico, a temperatura é um importante parâmetro que influencia o conforto térmico. [27, 28, 29]

Para quantificar a temperatura do ar podem ser usados diversos sensores de temperatura: termistores, termopares, termorresistências, sensores eletrônicos, entre outros.

Termistores são resistências sensíveis termicamente. São sensíveis a mudanças pequenas de temperatura e usados em ambiente industrial para detecção automática, medição e controlo. Podem ser de dois tipos Positive Temperature Coefficient (PTC) e Negative Temperature Coefficient (NTC). Os PTC apresentam um coeficiente térmico positivo, isto é, a sua resistência elétrica aumenta com a temperatura. Os PTC's diferem dos NTC's visto os PTC's terem um coeficiente de temperatura positivo apenas dentro de uma certa faixa de temperatura. Fora dessa faixa o coeficiente é negativo ou nulo [7].

Termopares começaram ser desenvolvidos em 1981. Nesse ano foi descoberto por T.J. Seebeck que quando dois fios metálicos de materiais distintos estão enrolados e existe uma diferença de temperatura em dois pontos dos mesmos, pode ser medida uma pequena tensão aos terminais dos mesmos. Foi possível observar que essa tensão era praticamente diretamente proporcional ao diferencial de temperaturas entre os dois [30, 7].

T.J. Seebeck usou um fio de antimónio e outro de cobre. Após esta descoberta os termopares têm vindo a evoluir e hoje são usados principalmente oito tipos diferentes de combinações de elementos. Consoante o tipo de metais usados na junta bi-metálica podemos classificar os termopares em S, R, B, J, K, N, T e E. Tem sido feito um esforço considerável para introduzir materiais capazes de suportar temperaturas altas, sendo que neste momento eles cobrem uma faixa de temperaturas dos -200°C até 2300°C . Consoante os materiais escolhidos para a sua junta bi-metálica o termopar vai ter um diferente comportamento à temperatura assim como diferentes temperaturas trabalho e atmosferas em que pode operar como visto na tabela 2.1. São também usados termopares com isolamento mineral. Os mesmos são constituídos por um ou mais pares de fios isolados da bainha metálica por um pó isolante de óxido de magnésio altamente compactado. Assim o termopar fica isolado do meio garantindo uma maior estabilidade da Força Eletromotriz (FEM) e maior tempo de vida.

Sensores eletrônicos são sensores incorporados num *chip* de silício. Usualmente possuem mais algumas funções como filtros, reguladores e proteções. Existem vários tipos destes sensores. Uns usam as características da dependência do silício com a temperatura outros a tecnologia de *permalloy* sobre um substrato de silício, chamados *Resistance Temperature Detector* (RTD). A medida de saber a temperatura do ambiente envolvente destes sensores varia com o fabricante, alguns têm a sua saída em frequência proporcional à temperatura, outros variam a intensidade de corrente ou tensão na sua saída e existem sensores deste tipo capazes de efetuar comunicações *Transistor-Transistor Logic* (TTL) [7].

Sensores de Gases

Existem hoje em dia no mercado variados sensores de diversos tipos de gases. Desde oxigénio O_2 , dióxido de carbono CO_2 , monóxido de carbono CO , sulfureto de hidrogénio H_2S , hidrocarbonetos C_nH_m , óxidos nítricos NO_x , etc. Para a análise de diferentes tipos de

Tabela 2.1: Características dos termopares [7]

	Composição	Faixa de Utilização	Utilização
T	Cobre ₍₊₎ /Cobre-Níquel ₍₋₎	-200 °C a 350 °C	Atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo.
J	Ferro ₍₊₎ /Cobre-Níquel ₍₋₎	-40 °C a 750 °C	Atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo.
E	Níquel-Cromo ₍₊₎ /Cobre-Níquel ₍₋₎	-200 °C a 900 °C	Atmosferas oxidantes e inertes.
K	Níquel-Cromo ₍₊₎ /Cobre-Alumínio ₍₋₎	-200 °C a 900 °C	Atmosferas oxidantes e inertes.
S-R	Platina - Ródio ₍₊₎ /Platina ₍₋₎	0 °C a 1600 °C	Atmosferas oxidantes e inertes.
B	Platina - Rodo ₍₊₎ /Platina ₍₋₎	600 °C a 1700 °C	Atmosferas oxidantes e inertes.
N	Níquel-Cromo-Silício ₍₊₎ /Níquel-Silício ₍₋₎	-200 °C a 1200 °C	Excelente resistência à oxidação.

gases deve se escolher uma família de sensores:

Absorção de radiação vermelha estes sensores operam fazendo medições de padrões de absorção de infravermelhos de um gás para medir a concentração dos seus constituintes. São usados para efetuar medições de concentração de dióxido de carbono CO₂, monóxido de carbono CO, sulfureto de hidrogénio H₂S e hidrocarbonetos C_nH_m. Estes sensores aproveitam-se do facto de cada tipo de gás absorver um determinado comprimento de onda, no caso do CO₂ perto dos 4270 nm. Este tipo de sensores permitem uma medição muito exata especialmente para altas concentrações do gás. Em medições como as encontradas em ambientes de ar interior comercial ou doméstico requereria um grande caminho ótico pelo gás, implicando um sensor de grandes dimensões e de grande custo devido à precisão ótica requerida [31].

Método paramagnético utilizam a suscetibilidade paramagnética do oxigénio para medir a sua concentração. O paramagnetismo do oxigénio, isto é, a tendência que os dipolos magnéticos atómicos têm em se alinhar paralelamente com um campo magnético externo, distingue o oxigénio de outros gases. Este sensor usa apenas um campo magnético para fazer esta distinção [7].

Método de condutibilidade térmica operam medindo a condutividade térmica da amostra de gás. São normalmente usados para metano CH₄, hidrogénio H₂, dióxido de enxofre SO₂, entre outros [7].

Ionização de chama são sensores com uma grande aplicabilidade, alta estabilidade e sensibilidade, apresentam também uma resposta linear na escala logarítmica.

Os iões são gerados pela combustão de orgânicos na chama normalmente de hidrogénio. São usados para medir a concentração de hidrocarbonetos C_nH_m [7].

Célula eletroquímica usam a tecnologia das células eletroquímicas, dois elétrodos e um meio entre eles, para fazerem medições. São usados frequentemente para fazer medições de oxigénio [31, 7].

Quimiluminescência excitam uma molécula eletricamente, a qual produz luminescência para retornar ao seu estado fundamental. São usados para analisar óxidos nítricos NO_x [7].

Nesta dissertação foi dada maior importância aos sensores de concentração de dióxido de carbono CO_2 devido a ser um parâmetro de qualidade de ar interior. A sua monitorização é de elevada relevância e define a quantidade necessária de inflar ar do exterior em edifícios equipados com sistemas de AVAC assim como a taxa de ventilação do mesmo, estando assim diretamente relacionada com os consumos do mesmo [32].

O dióxido de carbono é um gás inodoro, insípido, incolor, mais pesado que o ar e pode levar a efeitos incapacitantes em humanos. O CO_2 produzido por cada indivíduo varia da sua alimentação e da atividade física que pratica nesse instante. pode se indicar como valor médio que uma pessoa a desenvolver trabalho de escritório expira aproximadamente 200 mL/min de CO_2 para o ar. Para além de ser um produto da respiração humana, CO_2 é um indicador de ventilação inadequada de um processo de combustão. Uma pessoa exposta a 1.5% CO_2 por elevados períodos conduz a um stress metabólico, se exposto a 7-10% resulta na perda de consciência em alguns minutos [33].

Sensores Óticos

Podem ser referidos como sensores óticos uma larga variedade e tipos de sensores. Desde sensores de presença, intensidade luminosa, sensores *Charged Couple Devices* (CCD) e *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) presentes nas máquinas de filmar e fotográficas, entre outros. No âmbito desta dissertação serão apenas contemplados os sensores de intensidade de iluminação [34].

Quase todas as fontes luminosas, tanto naturais como artificiais, emitem luz em diferentes comprimentos de onda e direções. Apesar da forma como são alimentadas, gás, óleo, eletricidade, o importante é definir a quantidade de luz por área, produzida por uma fonte luminosa. Para esta distinção ser feita de forma clara surgiu o parâmetro de intensidade de iluminação. As unidade Sistema Internacional (SI) para intensidade luminosa é o lux, abreviada como lx [34].

Para efetuar a medição de intensidade luminosa é habitualmente usado um *Light Dependent Resistor* (LDR). Semelhantes aos termistores os LDR variam a sua resistência elétrica, não com a variação de temperatura como o caso dos termistores mas sim com a variação da intensidade luminosa. Essa alteração de resistência é resultado por ser usado um material semicondutor o qual absorve luz de uma determinado comprimento de onda. Devido a este

fenómeno ocorre a libertação de elétrons que ajudam à condução de corrente elétrica, alterando assim a resistência do semicondutor [35].

Estas células podem ser construídas de diversos materiais, variando assim o comprimento de onda para a qual é o semicondutor é reativo. Quando no escuro estas resistências oferecem um alto valor de resistência, da ordem dos milhões de *ohm's*. Quando expostos a uma fonte de luz como uma lâmpada próxima ou a luz do sol, a resistência decresce para apenas algumas centenas de milhares de *ohm's* [7].

Para além dos LDR podemos encontrar também fotodíodo. Um fotodíodo é simplesmente um *Light-Emitting Diode* (LED) mas converte luminosidade em corrente ao invés de emitir luz. Nesta configuração a luz que incidente sobre o fotodíodo faz a corrente atravessar o dispositivo, é também conhecido como efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico pode ser descrito como a base para células de captação de energia solar, células fotovoltaicas.

2.2 Métodos Matemáticos

2.2.1 Data Mining

Data Mining significa a aplicação de algoritmos para extração de padrões dos dados sem os passos adicionais do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (tais como a inclusão de conhecimento anterior e a interpretação correção dos resultados).[36]

Data Mining é o processo de extrair informação ou conhecimento de conjuntos de dados para os propósitos da tomada de decisão.[37]

Data Mining é uma área multidisciplinar e tem captado o interesse de diversas áreas:

Aprendizagem Automática (AA) e Inteligência Artificial (IA) é usado nesta área o *Data Mining* para modelos cognitivos assim como paradigmas usados para a aquisição de conhecimento automático.

Reconhecimento de Padrões nesta área tem como objetivo o estudo de teorias e algoritmos para extração de padrões e modelos. Os modelos trabalham com conhecimento inferido, deve ser usado o *Data Mining* para se avaliar se os modelos refletem ou não um conhecimento útil e interessante.

Estatística e Matemática é usada nesta área para obter aproximações a problemas matemáticos conhecidos e como previsão de sistemas tratados estatisticamente

2.2.2 Redes Neurais

Também descritas por outros nomes, computação neuronal, processamento distribuído em paralelo, pode-se definir *Neural Network* (NN) ou redes neurais como processamento distribuído em paralelo que tem a pretensão de armazenar conhecimento exponencialmente e torná-lo disponível para os utilizadores. A mesma assemelha-se ao cérebro humano devido

ao conhecimento ser adquirido por uma rede de pensamento ou um processo de aprendizagem e ser usado pesos entre as ligações entre cada neurónio, sinapses, usadas para guardar o conhecimento [38].

As redes neuronais têm sido aplicadas com sucesso em diversas áreas, desempenhando várias tarefas como classificação de padrões ou reconhecimento, controlo e processamento de sinais.

Uma rede neuronal artificial é constituída por um conjunto de nós fonte, os quais formam a camada de entrada da rede, uma ou mais camadas escondidas, e uma camada de saída. Com exceção da camada de entrada, todas as outras camadas são constituídas por neurónios portanto, apresentam capacidade de cálculo.

Neurónio Artificial

Um neurónio artificial é uma função lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurónio biológico. Assim sendo, os dendritos foram substituídos por entradas, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de peso (simulando as sinapses). Os estímulos captados pelas entradas são processados pela função de soma, e o limiar de disparo do neurónio biológico foi substituído pela função de transferência.

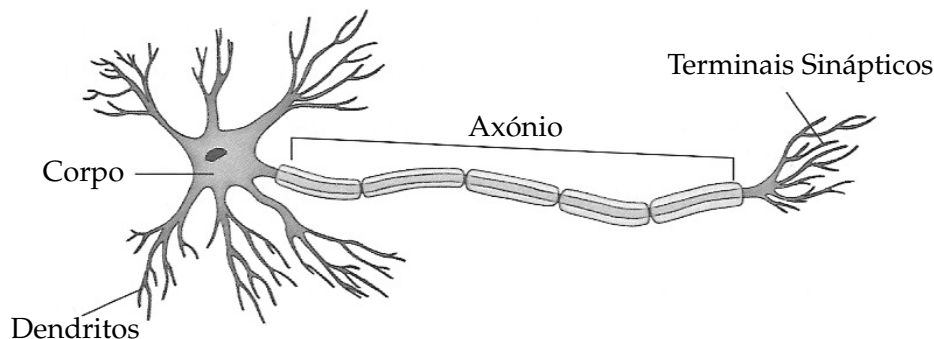


Figura 2.3: Neurónio cerebral

Relativamente as funções usadas nos neurónios artificiais podem geralmente ser em 3 grupos:

- Função Linear, consultar figura 2.4a;
- Função Sinal, consultar figura 2.4b;
- Função Sigmóide, consultar figura 2.4c;
- Função Gaussiana, consultar figura 2.4d;

As funções de transferência têm uma utilidade específica e nem todas as camadas têm que ter a mesma função. Por exemplo funções lineares são frequentemente usadas para

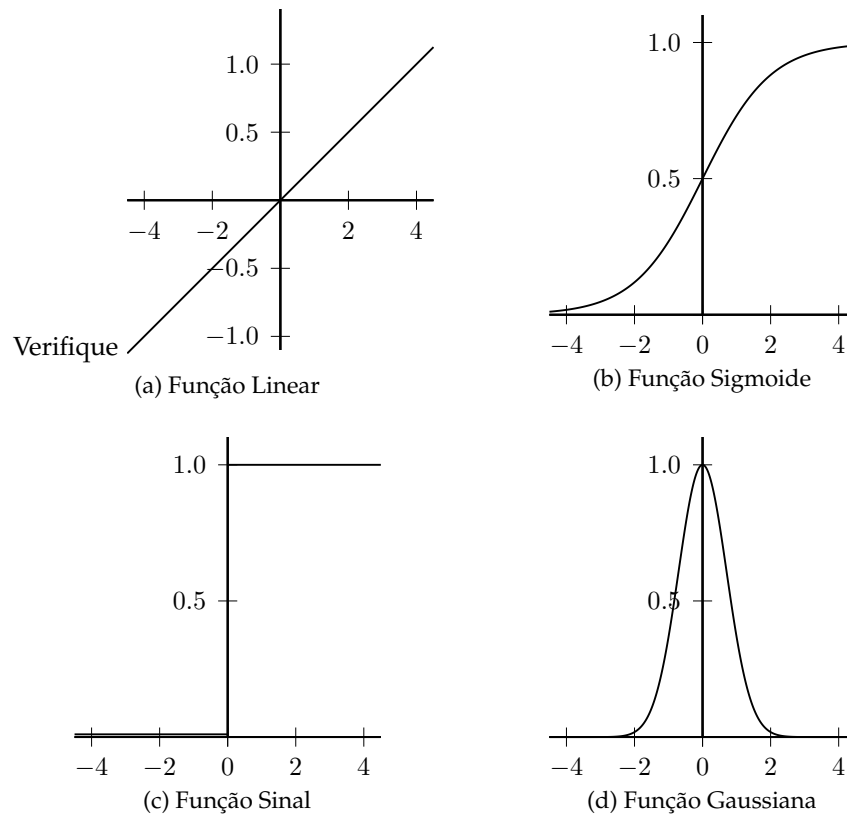


Figura 2.4: Funções de transferência em neurónios artificiais

as saídas e entradas e funções não lineares são mais usadas para as camadas escondidas. Também o tipo de dados que se está a tratar está muito relacionado com as funções de transferência a serem escolhidas. Por exemplo quando são tratados dados em binário é comum usar funções de sinal. Para previsão de dados temporais são frequentemente usadas funções de sigmoide nas camadas intermédias. Podem também ser usadas outras funções de transferência e variações destas [39].

Arquiteturas das redes neuronais

Numa rede neuronal os neurónios estão organizados graficamente e ligados entre si com uma orientação. Assim se define a arquitetura de rede usada. Estas podem ser enquadradas em duas categorias gerais, estáticas ou dinâmicas.

FF ou estática as ligações são unidirecionais, os grafos são direcionados, acíclicos e não existem ligações entre os neurónios de uma camada para a anterior. Não tendo realimentações nem atrasos este tipo de redes assume que a série de dados é simultânea e não pode ser tirado um sentido temporal. Estas redes podem, assim, levar a um comportamento instantâneo. Um exemplo da arquitetura deste tipo de rede pode ser visto em 2.5b

Recorrente ou dinâmica este tipo de rede possui ciclos de realimentação. Os neurónios de saída podem estar ligados aos de entrada. Redes dinâmicas podem ser mais difíceis de treinar mas são mais poderosas. Devido a possuírem memória em forma de atrasos ou realimentações podem ser ensinadas para reconhecer padrões temporais ou sequenciais. São usadas para vários tipos de dados como financeiros, seleção, reconhecimento vocal, deteção de falhas. Um exemplo da arquitetura deste tipo de rede pode ser visto em 2.5a

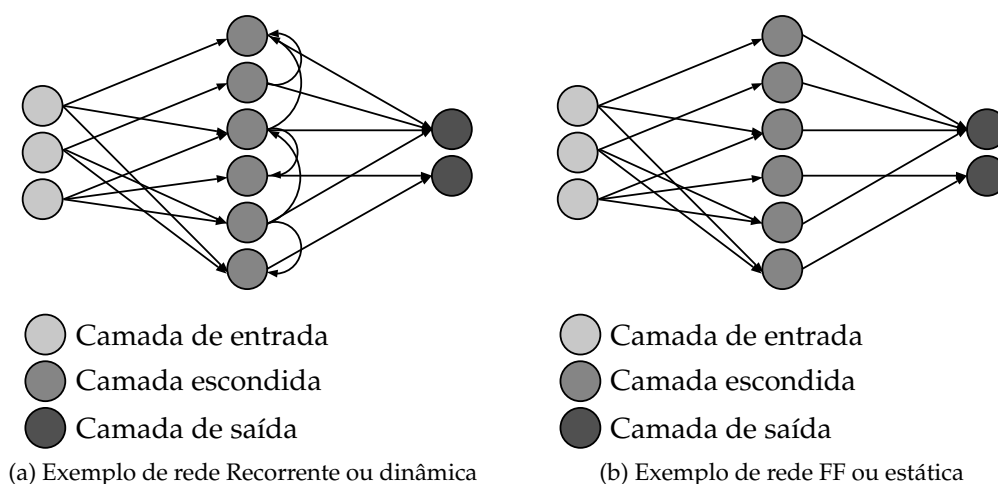


Figura 2.5: Exemplos de várias categorias de redes

Numa rede neuronal os neurónios estão organizados graficamente e ligados entre si com uma orientação. Assim se define a arquitetura de rede usada.

Rede de camada única os neurónios são independentes uns dos outros podendo ser treinados separadamente. Existe uma camada de entrada e de saída, como demonstrado na figura 2.6a.

Redes multi camada Existem várias camadas escondidas ligando a camada de entrada e de saída, como demonstrado na figura 2.6b.

Rede totalmente conectada cada neurónio é ligado a todos os neurónios da rede, como demonstrado na figura 2.6c.

Para este tipo de rede conseguir efetuar um processamento com sentido, tem que se implementar um sistema de aprendizagem. Este sistema irá modificar o peso das ligações sinápticas, alterando assim os resultados finais conseguidos por elas. Podemos classificar o tipo de aprendizagem em três métodos fundamentais:

Aprendizagem supervisionada A rede produz uma resposta (a), sendo posteriormente apresentada uma resposta correta pelo supervisor (b). Se as respostas forem diferentes ($a \neq b$) serão modificados os pesos das ligações neuronais pela diferença entre os dois valores ($a-b$)

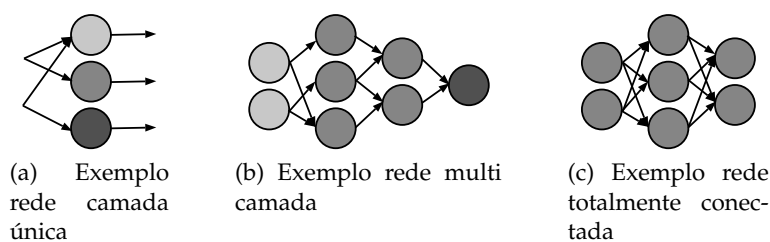


Figura 2.6: Exemplos dos vários tipos de conexões neuronais

Aprendizagem não supervisionada Nestas redes a aprendizagem é realizada sem se conhecerem as respostas corretas. A aprendizagem é feita pela deteção de regularidades e relações nos valores de entrada.

Aprendizagem por reforço Neste caso não são fornecidas as saídas corretas para as entradas, são atribuídos prémios ou castigos de acordo com as saídas serem corretas ou não.

2.3 Soluções existentes

O uso de algoritmos de prospeção de dados é bastante comum em áreas como o marketing há algum tempo. O seu uso em questões de gestão de energia e eficiência energética ainda não foi muito utilizado mas está em claro crescimento. Essa falta de conectividade destas áreas, prospeção de dados e eficiência energética, deve-se à relativa juventude das mesmas. Apesar de a extração manual de relações a partir de dados datar dos anos 1700 com teorema de Bayes, a análise de largos volumes de dados com recursos a redes neuronais e algoritmos genéticos só apareceu perto de 1950. Isto devido à inexistência de largos volumes de dados nos anos anteriores a essa data, logo a inexistência de necessidade em tirar outro tipo de padrões e conhecimento dos mesmos [40]. O conceito de eficiência energética é também relativamente recente. Este, apesar de questões relacionadas com este assunto terem sido discutidas anteriormente, o termo eficiência energética surge após a crise do petróleo de 1973. As primeiras medidas de eficiência energética datam da metade da década de 70. Em 1987 foi escrito um documento onde pela primeira vez se fala de “um programa para a mudança” “*A global agenda for change*”, referindo-se aos usos da energéticos praticados nesses tempos. Este documento tornou-se famoso devido à mudança de mentalidades que ia trazer ao mundo [41, 42].

Alguns trabalhos foram desenvolvidos recentemente, sendo relevante o trabalho de Andrew Kusiak, Mingyang Li, Haiyang Zheng que em 2009 escreveram o artigo *Virtual models of indoor-air-quality sensors*. No trabalho desenvolvido para este artigo, foram recolhidos dados da instalação de AVAC da *Iowa Association of Municipal Utilities*. Esta instituição é composta por 1160 m² de espaço de escritório, manutenção e espaço comercial. Os dados armazenados pela própria instalação de AVAC, e não recorrendo a sensores externos à mesma, foram registados com um espaçamento médio de 1 min e complementados com dados meteorológicos de 2 meses daquela zona. Foi recolhida informação de concentração de dióxido de carbono, humidade relativa e temperatura. Após ter sido recolhida toda a informação do

sistema de AVAC foram testados e escolhidos os melhores algoritmos de prospeção de dados para construir o modelo mais robusto para estes sensores. Os algoritmos testados para a construção desse modelo foram:

- NN
- *Multi-Layer Perception* (MPL) NN
- *Radial-Basis-Function* (RBF) NN
- *Support Vector Machine Regression* (SVM)
- *Pace Regression* (Pacereg)

Nesta investigação 35 MPL NN e 35 RBF NN modelos com diferentes núcleos e estruturas foram construídos. O mais preciso era escolhido mediante da soma dos erros quadráticos entre os valores previstos e observados. Na primeira análise foi usado um conjunto de dados de dois dias. O algoritmo com melhor prestação foi o MPL devido ao menor desvio médio absoluto e ao menor desvio padrão para todos parâmetros recolhidos, CO₂, humidade relativa e temperatura. O RBF foi o pior tendo o maior desvio padrão e maior desvio médio. O Pacereg e SVM foram idênticos na previsão de valores para todos os parâmetros ficando atrás do MPL. Sendo o MPL o melhor algoritmo, foi usado num teste mais intensivo com um conjunto de dados de duas semanas [43].

No conjunto de dados relativo a duas semanas o algoritmo MPL continuou com uma prestação robusta e precisa. No entanto é referido em aplicações reais existe a necessidade atualizar o modelo com novos dados para processos que são temporais. Quando observados largos valores de desvio médio absoluto e desvio padrão indica que o modelo criado a partir de dos históricos tem de sofrer uma atualização, sendo que o tempo de atualização pode variar com vários fatores, por exemplo a mudança rápida climatérica [43].

As conclusões apresentadas neste artigo apontam que a criação de modelos de sensores a partir de métodos matemáticos podem ser usados para calibração, monitorização e deteção de falhas e mesmo substituição virtual de um sensor danificado. A utilização dos valores esperados para a substituição de um sensor teriam um resultado prático melhor que a continuação em operação de um sensor danificado, mantendo a qualidade do ar e a poupança de energia. A aplicação de um modelo orientado a dados é aplicado a uma vasta gama de processos de outros domínios e outros tipos de algoritmos e conceitos poderiam ser aplicados para melhorar os modelos de sensores de qualidade de ar interior. É também referido que mais investigação deve ser feita neste campo para implementar este sistema em diagnósticos de sistemas de AVAC em condições reais [43].

Parte II

Solução Proposta

Capítulo 3

Arquitetura Conceptual

Neste capítulo é feita uma descrição do protótipo desenvolvido. É apresentada a arquitetura concetual da solução proposta, onde é explicada a interação entre os vários elementos.

O sistema desenvolvido é composto em 3 partes como pode ser observado na figura 3.1:

- Recolha de dados;
- Tratamento de dados;
- Visualização dos dados recolhidos e tratados, atuação mediante dos mesmos;

3.1 Recolha de dados

Sendo o objetivo fazer um estudo em sistemas já instalados, é imperativo obter dados sobre o funcionamento dos mesmos. Por dados entenda-se uma grandeza física mensurável, por exemplo temperatura, caudal, humidade, etc. As medições retiradas do sistema já implementado devem conseguir retratar o mesmo, isto é, se se tratar de um sistema de aquecimento é importante medir a temperatura a que opera, se for caso de uma central de produção de energia hidroelétrica será importante medir o caudal da água, a energia produzida pelo mesmo e o nível de água armazenada.

As medições destas grandezas têm de ser feitas num intervalo de tempo adequado. Se o sistema se mantiver constante durante um longo período de tempo não será necessário fazer medições com um intervalo de minutos, caso seja um sistema mais dinâmico, com maior alteração do seu estado as medições devem ser afastadas de um menor período de tempo. O tempo entre medições é de elevada importância quando se analisa um sistema. Se as medições forem feitas com uma frequência demasiado alta, gerar-se-á um volume de dados demasiado elevado, com valores muito próximos ou iguais uns aos outros. Se for feito com uma frequência demasiado baixa, é impossível retratar um sistema visto que existe uma variação no período de tempo entre medições que não foi capturado pelas medições efetuadas.

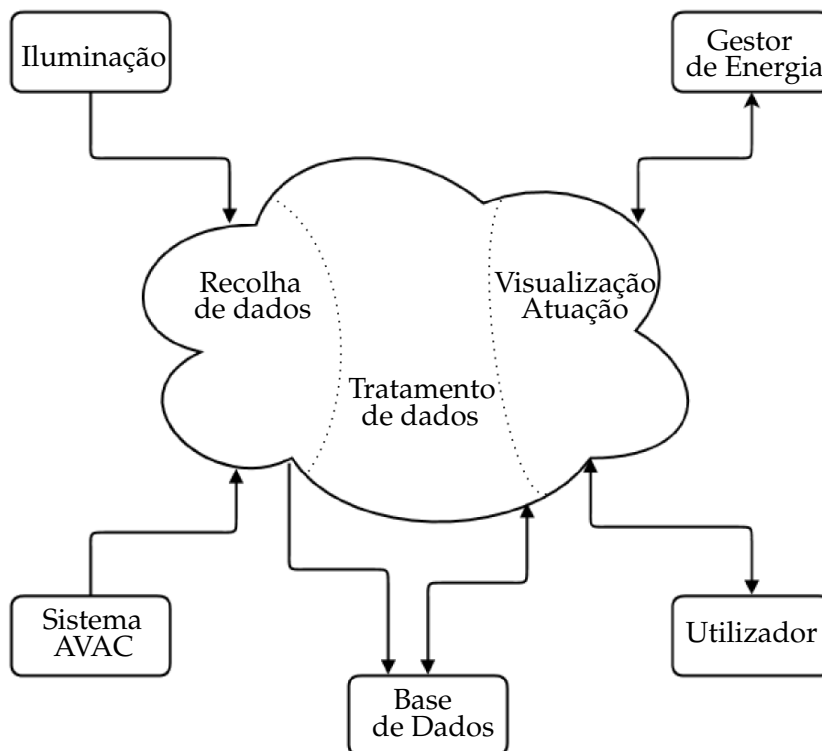


Figura 3.1: Diagrama arquitetura conceptual

O sistema de recolha de dados deve ser o mais autónoma e o menos invasiva possível. Sendo que as medições podem ser efetuadas durante dias, semanas ou mesmo meses, deve ser criada uma plataforma que necessite de intervenção humana o mínimo possível. A plataforma de recolha de dados deve ser também fácil de implementar, com o mínimo de manutenção necessária no tempo de medição, assim como pouco invasiva para os sistemas já implementados, podendo assim ser implementada em diversos cenários.

O sistema aquisição e armazenamento de dados servirá para recolher informação sobre os sistemas já implementados que não permitam monitorização dos mesmos. Na eventualidade de ser possível a recolha desta informação usando os sistemas já implementados a mesma deve ser usada ao invés da implementação de uma plataforma de monitorização. Esta recolha de dados irá servir para fornecer a plataforma de tratamento de dados permitindo assim encontrar novas relações e conhecimentos sobre os sistemas monitorizados. Todos os valores obtidos nesta recolha são armazenados num local físico que possa ser acessível pelos próximos passos deste processo, fazendo assim a ponte entre cada fase.

3.2 Tratamento de dados

No seguimento de serem efetuadas as medições das grandezas físicas que retratam o sistema implementado, são fornecidos os dados recolhidos à plataforma de tratamento de

dados. Nesta fase é feito o tratamento dos dados obtidos. O objetivo de tratar os dados obtidos serve para conseguir um novo conhecimento do equipamento monitorizado. Poderia ter-se a ideia que observando as medições recolhidas pela plataforma de recolha de dados se poderia reconhecer padrões de consumo do equipamento monitorizado, este pensamento é errado. Tendo em conta que a plataforma de recolha de dados produz um volume muito largo de dados é impossível para o olho humano detetar padrões nos mesmos. É então usado o recurso aos métodos matemáticos para conseguir fazer esses reconhecimentos.

Por padrões entenda-se um conhecimento alargado e uma previsão do sistema a monitorizar, isto é, ser possível prever o comportamento normal do sistema identificando assim comportamentos fora da norma. É assim possível saber se o sistema está a consumir atualmente mais do que seria esperado pela previsão. Com este conhecimento pode assim ser identificado o elemento causador desse consumo anómalo. É também possível com este estudo verificar se todos os sensores estão a funcionar dentro do comportamento previsto, identificando assim anomalias nos mesmos sem a necessidade de os testar individualmente. Sendo que um sensor anómalo pode levar a um grande consumo de energia ou até à disfuncionalidade de um sistema, torna-se de elevado valor elevada importância verificar o comportamento correto dos mesmos. Criar previsões do comportamento de um sistema vai também possibilitar a identificação das zonas ou secções de elevado consumo dentro do sistema. Tendo este conhecimento será mais fácil otimizar o mesmo melhorando assim a causa dos consumos elevados.

Nesta fase é também importante testar quais os métodos matemáticos que fornecem uma melhor aproximação, previsão do sistema a monitorizar antes de serem aplicados. É importante também identificar qual o grau de erro da previsão feito por cada método matemático usado, sabendo assim qual o grau de confiança do mesmo.

Pode também ser utilizado o tratamento de dados para tentar entender as preferências das pessoas que interagem com os equipamentos a monitorizar, evidenciando assim uma utilização menos poupada dos mesmos.

3.3 Visualização dos dados recolhidos

Efetuar medições e tratar os dados obtidos dessas medições não teria qualquer significado se não permitisse a melhoria do sistema monitorizado. É então importante uma plataforma de visualização de dados. Nesta plataforma os dados serão apresentados de forma clara e objetiva para consulta do gestor de energia ou do sistema ou pelo utilizador. Sendo importante também a consulta dos dados antes dos mesmos serem tratados. Desta forma é possível identificar alguns erros da plataforma de recolha de dados, caso seja visível valores muito superiores ao esperado.

A informação está alojada num servidor remoto. Desta forma a mesma pode ser visualizada não apenas no local onde se está a monitorizar um sistema, mas sim por várias pessoas em qualquer outro lugar. De elevada importância é também a forma como é apresentada a informação. A mesma é apresentada de forma clara e simples. Deve ser dada preferência à visualização por gráficos e alertas e não por longas tabelas de valores. Os dados recolhidos

ainda em bruto, isto é, previamente a serem tratados estão disponíveis em tabelas que os mostrem por ordem temporal.

Este sistema foi criado com o propósito de melhorar a eficiência energética de sistemas já implementados. É aqui que após a visualização dos dados obtidos e tratados aparece uma nova interpretação do sistema impossível sem o recurso a estes métodos. É possível encontrar pontos onde o consumo foi excessivo, visualizar onde mais se gasta entre outros. Com esta informação o gestor de rede pode optar por uma nova gestão de recursos mais poupada. É por isso a fase de atuação que vai permitir um aumento de eficiência energética do sistema monitorizado.

Parte III

Implementação e Análise de Resultados

Capítulo 4

Recolha de dados

Neste capítulo é feita uma descrição do protótipo desenvolvido. Após ter sido apresentada a arquitetura da solução proposta, é apresentado o hardware desenvolvido, onde são discutidos aspetos relacionados com a escolha dos dispositivos que o compõem e o seu funcionamento, assim como os métodos de programação.

4.1 Funcionamento

Na elaboração do sistema para a recolha de dados, foram tomados em consideração certos aspectos importantes para o seu funcionamento adequado:

- Compacto, de fácil instalação;
- Pouco invasivo;
- Capacidade de leitura de recolha de diversas grandezas;
- Intervalos de recolha variáveis;
- Funcionamento autónomo;

Tendo em atenção estas considerações optou-se por um sistema modular. Vários módulos fazem as medições através de sensores que estão ligados a um microcontrolador. O microcontrolador comunica com um módulo sem fios, que reencaminha os dados recolhidos para um módulo sem fios coordenador de rede. Esse coordenador reencaminha a informação que chega de todos os módulos da rede para a unidade de processamento, neste caso um computador. Esse computador fica responsável através de um *software* de gravar todos os dados recolhidos em disco, como apresentado na figura 4.1. Visto tratarem-se de módulos com comunicação sem fios, foram feitos todos os esforços para o consumo energético dos módulos de recolha ser o mais reduzido possível, visto os módulos serem alimentados por baterias.

Tendo em conta que há vários componentes em interação é importante definir as mesmas temporalmente. Podem-se dividir em 3 grandes blocos as interações criadas na implementação deste sistema de recolha de dados:

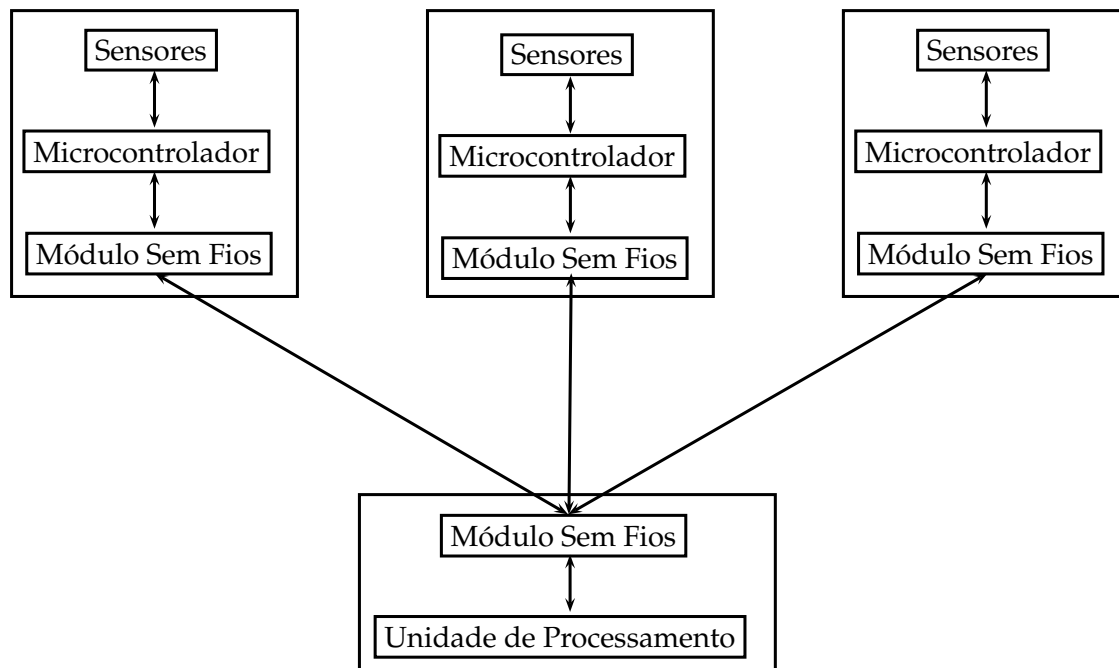


Figura 4.1: Diagrama sequencial UML de interações de rede

- a identificação de cada módulo pela interface de armazenamento de dados
- a recolha de resultados dos sensores por parte do microcontrolador, até a sua memória RAM estar totalmente escrita
- o envio dos dados recolhidos para a interface de armazenamento de dados

Estes 3 conjuntos podem ser identificados na figura 4.2 pelos 3 quadrados assinalados na mesma, estando pela ordem aqui referida.

Identificação dos módulos O primeiro bloco demonstrado na figura 4.2 é efetuado pela parte da aplicação de recolha de dados. Nesta fase a aplicação espera pela mensagem de identificação de cada módulo. É enviado por cada módulo ao ser ligado uma mensagem predefinida ao coordenador para a aplicação de recolha de dados fazer o reconhecimento de cada módulo ligado à rede. São guardados os endereços de cada módulo permitindo desta forma a comunicação e a identificação das mensagens enviadas por cada um. Após esta mensagem ser recebida pela aplicação de recolha de dados é enviada uma resposta colocando o módulo identificado em espera. Sendo um processo cíclico são identificados todos os módulos. Após todos os módulos estarem identificados, é enviada uma mensagem a todos os módulos da rede para passarem à operação de recolha de dados através dos seus sensores. Esta operação é feita apenas uma vez quando são instalados os módulos sendo que as duas que se seguem são cíclicas durante a recolha de dados.

Recolha de resultados Esta parte do processo ocorre no processamento do microcontrolador usado. É um processo cíclico e foi criado de forma a reduzir os consumos totais dos módulos. É feita a leitura dos sensores presentes em cada módulo e os

mesmos armazenados na memória RAM, alternado com um período de *sleep* que vai determinar a frequência com que são feitas as recolhas. Quando a memória glsram se encontra totalmente escrita é ligado o rádio e enviado os dados de cada módulo para o coordenador. Este sistema é melhor ao invés de ser encaminhada para o coordenador cada leitura singular que é feita. Desta forma podemos conservar o dispositivo de transmissão de dados num modo de poupança de bateria, denominado *sleep* como explicado em 4.3.

Envio de dados Apenas quando a memória RAM do microcontrolador se encontra totalmente escrita é que este entra no modo de envio de dados. É escrita uma mensagem contendo todos os dados lidos dos sensores, que vai ser enviada para o coordenador. Após esta mensagem ser recebida por todos os módulos ligados na rede, o coordenador envia uma mensagem a todos os módulos para os mesmos voltarem para o modo de recolha de dados. É assim garantida uma recolha síncrona por todos os módulos de recolha de dados presentes na rede.

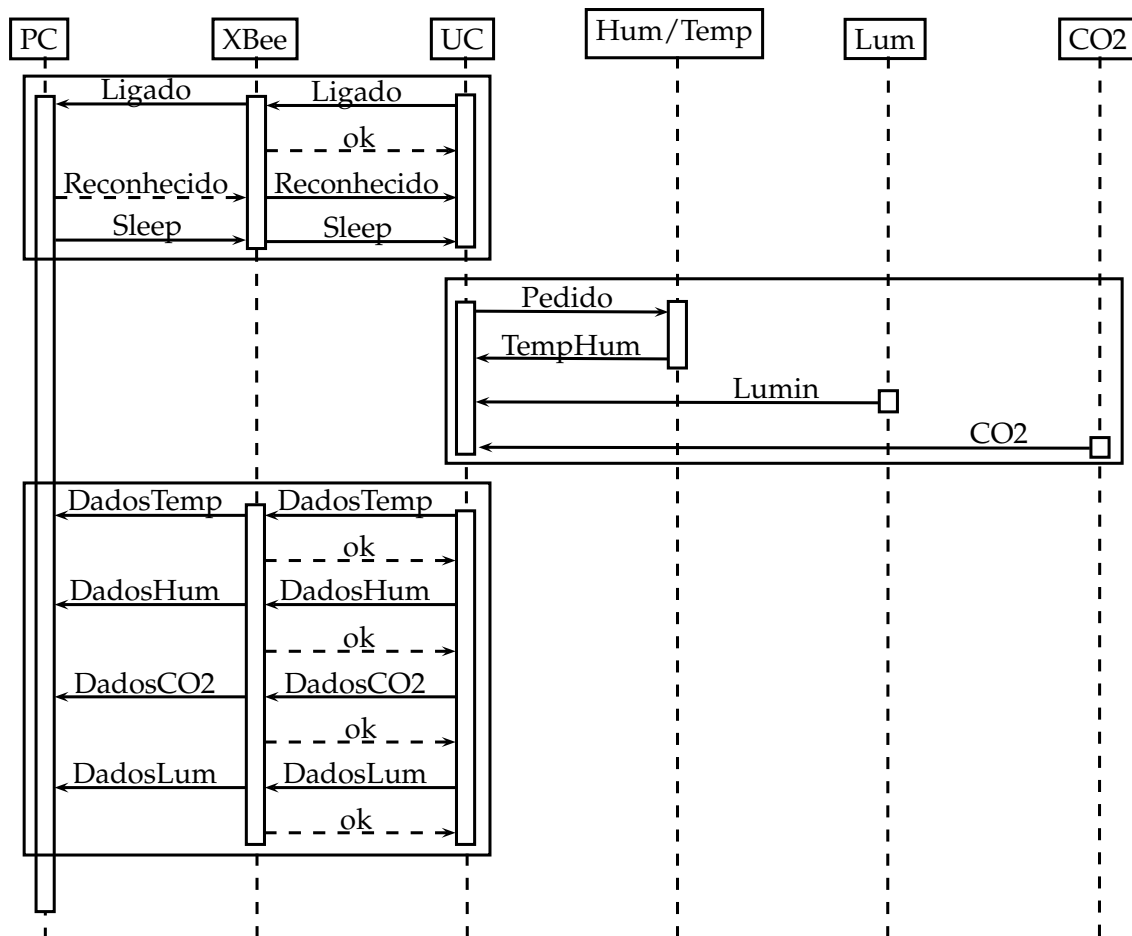


Figura 4.2: Diagrama temporal de interações - mensagens de rede

4.2 Microcontrolador

O uso de um microcontrolador nos módulos de recolha de dados é uma escolha óbvia. Sendo necessário que o mesmo faça leituras analógicas ou digitais dos sensores, armazene dados na sua memória interna, execute uma comunicação série com o módulo de comunicação sem fios e faça tudo isto sem perder o sincronismo temporal, só se poderia pensar em usar um microcontrolador.

Os primeiros testes foram conduzidos num microcontrolador de 8 bits produzido pela MICROCHIP®, mais concretamente um *PIC16f877A*. Neste microcontrolador temos disponíveis 8 ADC de 10 bits cada, uma porta série *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), 3 *timers*, e até 33 saídas/entradas digitais. Este microcontrolador tem um espaço de memória ram de 368 bits, chamada *data memory* [8].

Foi usada a porta série para comunicação com o transmissor sem fios. A velocidade escolhida foi 9600 bps, sendo esta uma das velocidades padrão é suportada pelo transmissor e permite a uma taxa de transferência suficiente uma baixa percentagem de erro usando o cristal de 20 Mhz implementado, como visível na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Taxa de transferência (*Baud Rate*) para comunicação em modo assíncrono [8]

Baud Rate (Kbps)	Kbaud	Error (%)	SPBRG
9.6	9.615	0.16	129
19.2	19.231	0.16	64
28.8	29.070	0.94	42
33.6	33.784	0.55	36
57.6	59.524	3.34	20

Para medir o tempo de forma independente do processamento feito pelo CPU do microcontrolador usam-se módulos paralelos ao CPU denominados de *timers*. Foram usados 2 *timers* deste microcontrolador, o *timer 1* e o *timer 0*. O *timer 0* foi usado para medir os tempos de envio do sinal TTL do sensor de humidade e temperatura, o mesmo será abordado com maior pormenor na secção 4.4.2. O *timer 1* foi usado para controlar os tempos de *sleep* do microcontrolador [8].

Em operações cíclicas como as de um microcontrolador, nem sempre todos os tempos são preenchidos com processamento por parte do CPU, nesse momento pode-se optar por colocar o microcontrolador no estado de baixo possível de consumo. A este período denomina-se por *sleep*. Quando o microcontrolador se encontra em *sleep* o oscilador principal é desligado interrompendo assim a capacidade de processamento do CPU, mas as saídas digitais mantêm o seu estado. Sem processamento é difícil então fazer sair o microcontrolador deste estado. O modo de *sleep* é interrompido lançando uma interrupção. Neste caso usou-se o *timer 1* para gerar essa interrupção. Como o oscilador principal está desligado é usado um oscilador externo, cristal, de baixo consumo que funciona a uma frequência de 32768 Hz para gerar os impulsos para este *timer*. É usado um cristal de 32768 Hz pois o *timer 1* é um registo de 16 bits que vai ser incrementado $1/32768$ por segundo. Se temos um registo de 16 bits $2^{15} = 32768$, logo demora um segundo a preencher este registo o que torna muito fá-

cil medir porções de tempo. É com recurso ao *timer* 1 que se altera o período de amostragem dos sensores [8].

Para medição de sinais analógicos recorreremos às ADC's presentes no microcontrolador. Temos presentes oito pinos com possibilidades de ADC. As ADC's presentes neste microcontrolador são de 10 bits. Podem ser configuradas como comparadores para fazer uma medição relativa a um nível de tensão escolhido pelo utilizador. Neste caso optou-se por usar a tensão de alimentação da pic 5 volts como referência. Desta forma vamos ter um valor de 10 bits para cada leitura com referencia em 5 volts, isto é 0 para zero volts e 111111111 em base binária, 1023 em decimal para uma entrada de 5 volts na ADC, tornando assim muito fácil os cálculos para a tensão lida, usando a equação 4.1 [8].

$$tensão\ entrada = \frac{Valor\ ADC \times tensão\ alimentação}{1023} \quad (4.1)$$

Ao usar as ADC's de um microcontrolador o mesmo mede a tensão no pino escolhido medindo a carga acumulada num condensador. Quando a resistência de entrada é muito alta pode causar erros de medição. Existe um parâmetro na configuração das ADC's que determina qual o tempo em que é feita a carga no condensador. Foi escolhido o tempo máximo e verificou-se uma boa medição por parte da ADC do microcontrolador. Para uma melhoria nos resultados são feitas 10 medições e calculada a média entre as 10 medições obtendo assim o valor mais provável medido pelo sensor [8].

Temos também disponíveis nos microcontroladores entradas e saídas digitais. Foram usadas as saídas digitais como forma de debug durante a fase de criação de todo este sistema e para colocar o módulo de transmissão sem fios em *sleep*. Usa-se uma entrada digital para comunicar por sinais TTL com o sensor de humidade e temperatura visto que o mesmo usa este tipo de sinal para receber a ordem para envio de medição e para envio da medição efetuada. Esta forma de comunicação será tratada de forma mais pormenorizada na secção 4.4.2.

Quanto ao seu funcionamento é explicado na figura 4.3, na forma de fluxograma. Este fluxograma explica o pensamento que foi usado na programação do microcontrolador, as interações entre os vários componentes deste módulo. Foi usada a coloração cinzenta para distinguir os estados em que é enviada ou recebida uma mensagem, distinguindo-se assim dos estados em que há comunicação com periféricos ou apenas de processamento e escrita interna. Esta figura vem complementar o conhecimento da figura 4.2

Relativamente ao seu consumo, este componente depende bastante da operação que o mesmo está a executar assim como do oscilador usado. Foi usado um oscilador de 20 Mhz, sendo este considerado pelo fabricante um *High Speed* (HS) *oscilator* sabemos que não será energeticamente dos mais poupados. Depende também do seu consumo todos os componentes alimentados pelo microcontrolador LED's, entre outros. Como medida de poupança energética deve-se ter sempre os pinos não usados como entradas e usar sempre que possível os períodos de *sleep*. No tempo entre medições é sempre colocado o microcontrolador em *sleep*, passados todos os pinos do mesmo para entradas digitais desligando assim quaisquer consumos para os seus periféricos. Neste estado, onde o microcontrolador passa o maior

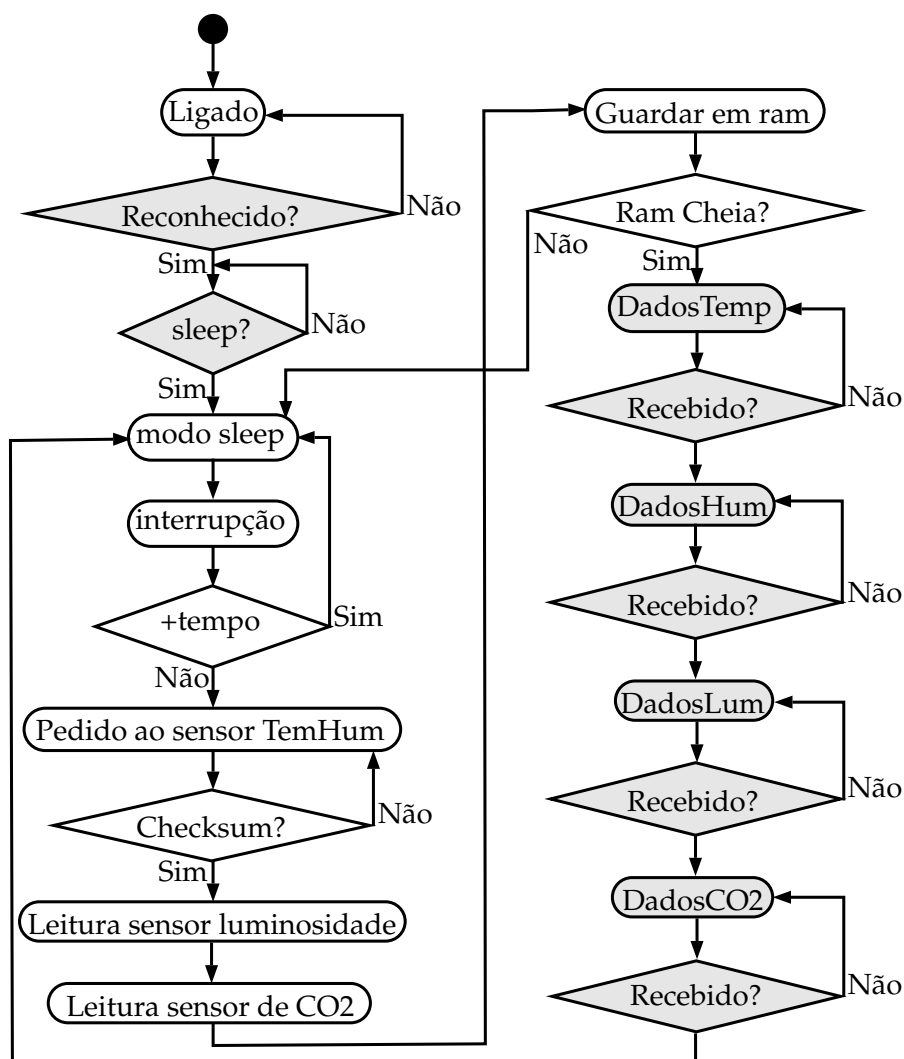


Figura 4.3: Fluxograma de estados simplificado do funcionamento do microcontrolador

tempo da sua operação, podemos descrever o consumo do mesmo na ordem dos μA [8].

Estes microcontroladores foram usados para testes montados numa placa branca usando o encapsulamento *Dual In-Line Package* (DIP), ficando o mesmo com um integrado quadrado com 52.26 mm de comprimento e 13.84 mm de largura com os pinos com uma separação de 0.1 in para conexão em placa branca. Para as *Printed Circuit Board* (PCB)'s finais optou-se por um encapsulamento *Thin Quad Flat Pack* (TQFP) com as dimensões de um 10 mm em todos os lados do integrado [8].

4.3 Transmissor sem fios

Para eliminar a necessidade de fios entre cada módulo de medição, optou-se pela utilização de transmissores sem fios. Os transmissores sem fios utilizados foram os módulos *XBee*

da DIGI[®]. A escolha deste módulo prende-se com o facto de ter uma taxa de transferência suficiente para o pretendido, ser de baixo consumo, ter um alcance razoável para o uso previsto e visto ser possível usar vários tipos de protocolos de comunicação entre os quais o *ZigBee*. A utilização desta rede pode de futuro fazer interação com outros equipamentos domésticos.

A transferência dos dados recebidos pela antena para o microcontrolador são feitos por usando a porta série a uma taxa de 9600bps como descrito em 4.2. Os módulos suportam dois modos distintos de operação, API e *Transparent* (AT). Sendo o modo AT mais simples e compatível com qualquer dispositivo que suporte linguagem série o mesmo pode se tornar algo complicado. Neste modo, AT, todos os dados que cheguem ao dispositivo pela porta série ele transmite para a rede, todos os módulos nessa rede recebem a mensagem pelo ar e reencaminham pela sua porta série para o dispositivo a eles ligados. Para uma utilização simples, por exemplo substituição de um cabo de cobre por tecnologia sem fios, uma rede em que todos os dispositivos executem as mesmas tarefas este modo seria o ideal. Numa rede em que queremos obter informação de cada módulo individualmente e controlar individualmente cada módulo este modo pode ser bastante complicado de implementar. Teria que se proceder a uma programação de cada microcontrolador individualmente para ele incluir em cada mensagem enviada um caractere que identificasse o microcontrolador ou o módulo que o enviou, para uma implementação de várias dezenas de dispositivos tornar-se-ia um trabalho muito difícil. Teria também de ser criado um algoritmo que permitisse a confirmação da receção correta de cada mensagem. Na imagem 4.4 mostra-se um exemplo de comunicação no modo AT, a mensagem é "msg", esta a cinzento e está descrita na sua versão em hexadecimal [44].

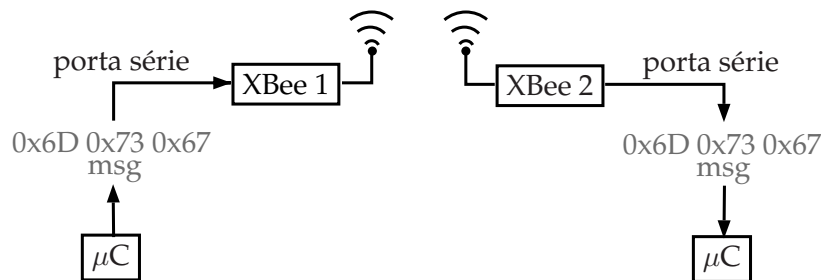


Figura 4.4: Exemplo de mensagem enviada entre módulos XBee em modo AT

Foi usado o modo API destes módulos sem fios. Nesta operação é implementado um protocolo que facilita a comunicação entre módulos. Para além da informação enviada, são enviados caracteres que identificam o módulo que envia em cada rede, assim como é usado um caractere de *Checksum* que confirma todas as mensagens enviadas. Caso a mensagem esteja escrita de acordo com o protocolo à chegada do módulo sem fios ele envia a mesma pela rede, para o módulo designado na mensagem, ou para todos caso seja o caso. Posteriormente ao envio da mensagem, quando o módulo para onde se endereçou a mensagem responde ao módulo remetente dizendo que ela foi entregue nas melhores condições ou para o mesmo repetir o envio. Caso chegue uma mensagem à porta série do módulo que não esta correta de acordo com o protocolo ele não faz o envio da mensagem e responde pela porta série dizendo que a mensagem não é válida. Este método requer um cuidado

adicional quando é feita a programação do *software* que faz a gestão dos módulos sem fios, tanto da parte dos microcontroladores como do computador, mas traz grandes benefícios a esta implementação. na figura 4.5 é demonstrado o que acontece quando um módulo configurado em API envia uma mensagem que não cumpre o protocolo estabelecido, a cinzento mais claro representa-se a mensagem enviada, a cinzento mais escuro a resposta do módulo. Resposta esta respeitando o protocolo implementado pelo modo API. É de denotar que nenhuma mensagem é enviada entre módulos quando isto acontece. No parágrafo seguinte é explicado o protocolo implementado [45].

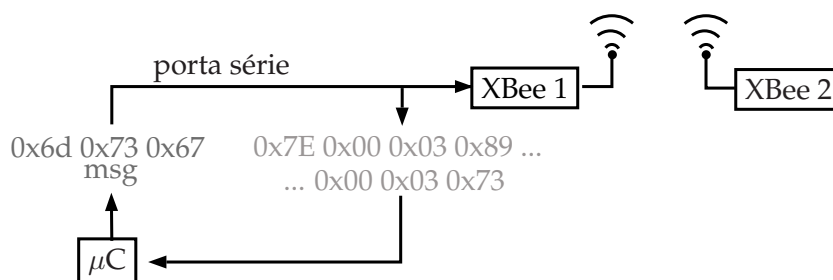


Figura 4.5: Exemplo de mensagem enviada entre módulos *XBee* em modo API não cumprindo o protocolo

O protocolo implementado pela DIGI[®] no modo API é formado por mensagens formadas por vários campos. Foi usada a mensagem anterior da figura 4.5 para fazer referência a esses campos na figura 4.6 [46].

Identificador É composto apenas por um caractere. Indica o início de todas as mensagens usando este protocolo sendo sempre 0x7E.

Tamanho Este campo identifica o tamanho da mensagem a enviar. Tem 2 caracteres, o primeiro é sempre 0x00 o segundo é a soma dos caracteres enviados depois dele sem contar com o ultimo.

Comando Neste campo usa-se um caractere para indicar que ação se vai realizar. Neste caso 0x89 indica que é enviado o estado de uma transmissão.

Frame ID É composto apenas por um caractere pode ter vários significados dentro de cada comando, tendo um papel secundário de indicar mais uma característica de cada comando. Neste caso está presente mas não assume qualquer significado

Estado Neste campo é transmitida a informação relativa ao comando enviado. Neste caso sendo o estado de uma transmissão o valor 0x03 indica *Packet was purged without being transmitted*, o pacote não foi removido sem ser transferido. Neste caso aconteceu devido ao facto de o protocolo de envio não ser respeitado.

Checksum Neste campo é transmitido o *Checksum* desta mensagem. É usado apenas um caractere.

No envio de uma mensagem entre módulos é ainda incluído o endereço do módulo para onde enviar como exemplificado na figura 4.7. Neste comando existem novos campos nas mensagens enviadas [46].

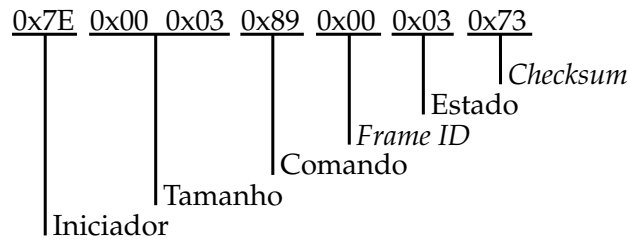


Figura 4.6: Decomposição em campos da mensagem apresentada em 4.5

Comando Neste caso foi enviado o comando 0x10 significa pedido para enviar dados.

Endereço Módulo É composto por cinco caracteres indicando o endereço físico do módulo para quem se envia a mensagem. Este endereço é fixo e está escrito num autocolante por baixo de cada módulo.

Endereço de Rede Neste campo é enviado o Endereço de Rede. Com dois caracteres, este endereço é atribuído pelo coordenador a cada módulo quando ele se liga a uma rede.

Raio Neste campo usa-se um caractere para definir o número máximo de passagens por módulos, usando uma arquitetura de rede em estrela, que a mensagem pode fazer. Se zero, o número máximo é usado.

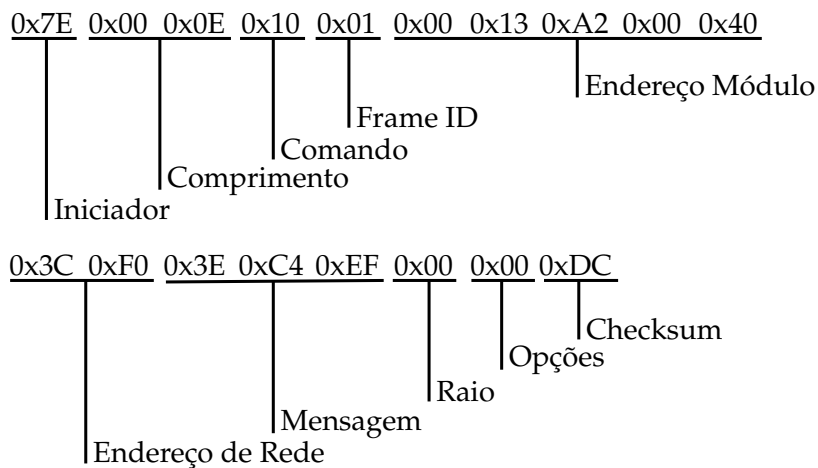


Figura 4.7: Exemplo de mensagem enviada entre módulos XBee em modo API para envio de uma mensagem.

Após a receção desta mensagem seria enviado pelo módulo XBee 0x90 no comando, o endereço de rede e do módulo remetente.

Os módulos Xbee são não só um transmissor sem fios mas também possibilitam a leitura de sinais analógicos e digitais integradas. Esta capacidade não foi utilizada pois com o uso do microcontrolador podemos ter maior controlo sobre todos os periféricos a ele ligados assim como ter a facilidade de programar o mesmo consoante as necessidades. Por

exemplo seria praticamente impossível fazer a leitura do sensor de humidade e temperatura escolhido e como não podíamos ter este dispositivo tanto tempo em *sleep* o consumo energético seria maior. Assim usamos apenas este dispositivo apenas para enviar e receber dados deixando a cargo do microcontrolador toda a gestão de periféricos e leitura. Com o uso do microcontrolador podemos também fazer atuação de outros componentes externos que seria muito difícil usando apenas este transmissor [44].

Quanto ao seu desempenho são dispositivos bastante poupados e com bom alcance. A modalidade básica destes dispositivos, havendo ainda uma "pro", tem 30 metros de alcance. Foi implementada uma arquitetura de rede em estrela que permite aumentar esses 30 metros largas vezes, os módulos têm que estar a 30 metros de pelo menos um nó dessa rede mas podem estar a largas centenas de metros do coordenador, sendo a mensagem reencaminhada pelos módulos disponíveis [44].

Para o alcance conseguido consomem apenas entre 45 mA e 50 mA a 3.3 volts dependendo se estão a enviar ou a receber dados pelo ar. Para reduzir o consumo energético nos mesmos são controlado a partir do microcontrolador os tempos de *sleep* destes módulos. Funcionam por levar um nível de tensão alto no pino 9 destes módulos. Neste estado de *sleep* o seu consumo torna-se inferior a 50 μ A [44].

Estes módulos são vendidos em unidades de 24.38 mm por 27.61 mm tornando estes módulos relativamente pequenos. Possuem 20 pinos os quais estão distribuídos com um espaçamento 2mm mm entre cada um, em vez de 2.54 mm ou 0.1 in como é habitual em placas brancas. Este facto levou a que fossem criadas placas que convertessem a diferença de espaçamento entre pinos [44].

4.4 Sensores

Nesta dissertação foram usados sensores para medir a qualidade do ar interior e de luminosidade. Qualidade do ar interior é um parâmetro de elevada importância numa instalação de AVAC. A qualidade do ar interior foi medida com recurso a sensores que medem a concentração de dióxido de carbono, humidade e temperatura. Foram escolhidos estes parâmetros visto haver o conhecimento que são os mesmos retirados por uma unidade de AVAC para alterar o fornecimento de ar de um edifício. É assim possível prever a aplicabilidade deste sistema numa instalação desse género, se é possível detetar um sensor defeituoso numa instalação destas e calcular a poupança energética no mesmo.

Para complementar o uso de sensores de qualidade do ar, foi implementado também um sensor de luminosidade pois é do ponto de vista energético também bastante importante monitorizar as instalações de iluminação de um edifício.

4.4.1 Intensidade de luminosidade

Para medir a intensidade de luminosidade foi utilizado um sensor de luminosidade produzido pela ©SHARP, o GA1A2S100SS. O mesmo foi escolhido por produzir uma resposta

linear com a variação de luminosidade e ter um alcance ideal para medições interiores.

Usa 3 fotodíodos para efetuar a medição de luminosidade. O sinal proveniente dos fotodíodos é amplificado por amplificadores operacionais que permitem a sua resposta linear na escala logarítmica demonstrada na figura 4.8 [47].

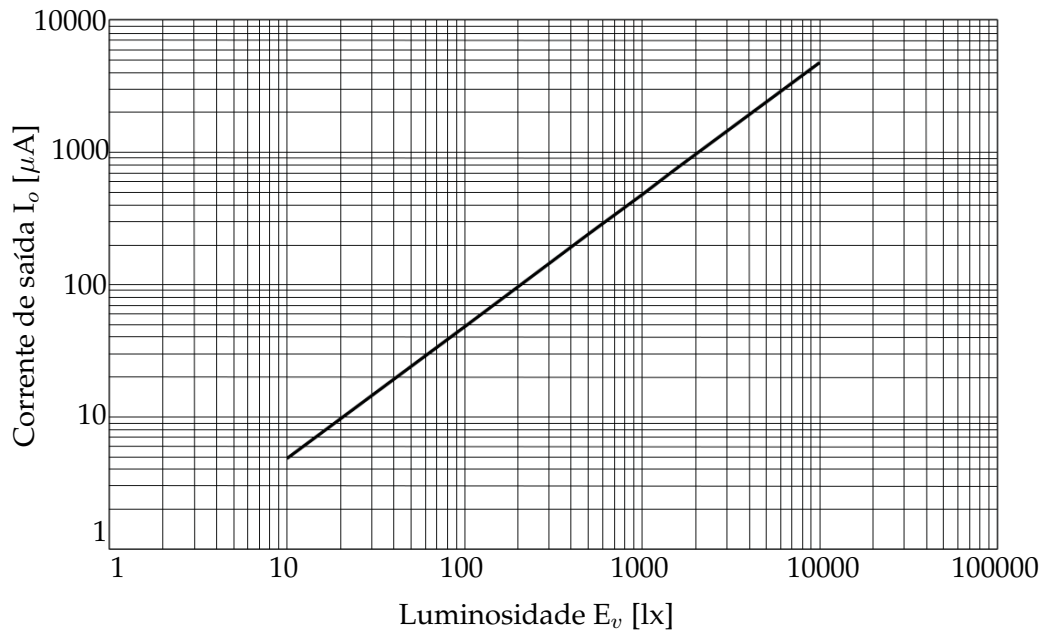


Figura 4.8: Gráfico saída - variação de luminosidade para o sensor de luminosidade

As ADC do microcontrolador não medem valores de intensidade de corrente mas apenas de tensão, é então feita a sua conversão colocando uma resistência ligada à massa do circuito e ao pino de saída, ligando os dois à entrada da ADC do microcontrolador como na figura 4.9.

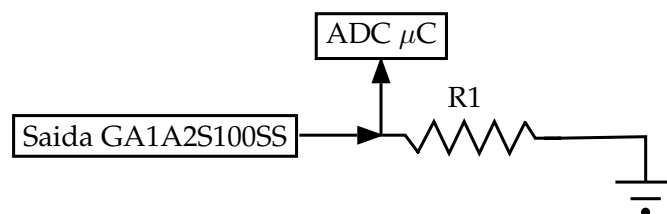


Figura 4.9: Montagem da resistência para leitura da saída em intensidade de corrente

A forma de sabermos que intensidade está a ser fornecida pelo sensor de luminosidade é usando a lei de *ohm*. Sabemos a resistência, medimos pela ADC a queda de tensão sobre a mesma, inserindo esses valores na equação da lei de *ohm* 4.2, obtemos a intensidade de

corrente.

$$I = V/R \quad (4.2)$$

Um dos amplificadores incorporado no sensor tem uma função de compensação da temperatura ambiente, obtendo assim a mesma resposta à luminosidade em condições de temperatura diferentes. Sendo este resultado dificilmente obtido com os LDR presentes atualmente no mercado [47].

Com dimensões semelhantes às de um led comum, é perfeito para a implementação numa placa de circuitos que se pretende de tamanho pequeno [47].

O seu consumo tem um máximo de $675 \mu\text{A}$ alimentado a 3.3 volts [47].

4.4.2 Humidade relativa e temperatura

Para efetuar a medição de humidade e temperatura foi escolhido um sensor que faz as duas medições no mesmo encapsulamento. Foi escolhido este sensor por conseguir uma precisão e escala aceitável para as duas grandezas a medir, é um sensor pré-calibrado, com saída num sinal TTL. Sendo assim usando o mesmo sensor para duas grandezas poupa-se bastante trabalho de programação do microcontrolador, não é preciso calibrar o mesmo e a saída em sinal TTL torna ainda mais fácil e precisa a sua leitura por parte do microcontrolador. Este sensor é o RHT03 produzido pela MAXDETECT [6].

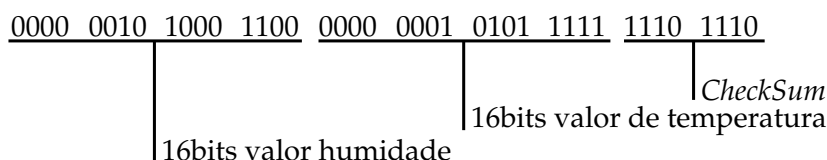
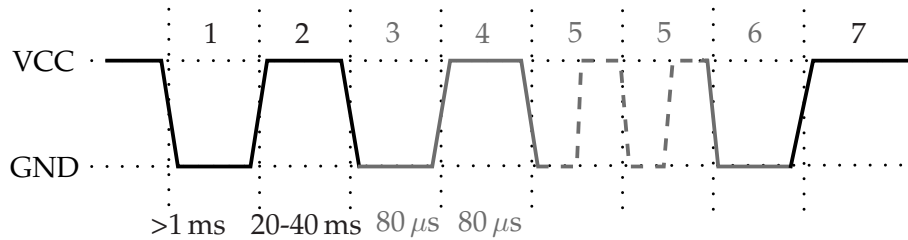


Figura 4.10: Protocolo usado pelo sensor RHT03 [6]

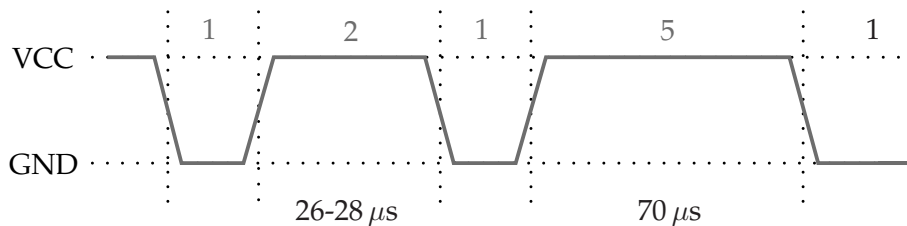
Quando efetua medições de humidade é possível fazer medições de 0 a 100% com uma precisão de $\pm 2\%$, uma resolução de 0.01% e uma repetibilidade de $\pm 1\%$. É usado um condensador polimérico para efetuar a medição de humidade relativa do ar ambiente. A medição de temperatura pode ser feita de -40°C a 80°C com uma precisão de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, uma resolução de 0.1°C e uma repetibilidade de $\pm 0.2^\circ\text{C}$ [6].

Tendo em conta que se trata de uma saída digital em sinal TTL tem que ser entendido o protocolo usado. Os primeiros 8 bits são o valor inteiro da medição da humidade, os segundo 8 bits são o valor decimal da mesma medição, de seguida 8 bits de valor inteiro da medição de temperatura, 8 bits do valor decimal da medição de temperatura. Por fim são enviados 8 bits de *Checksum* que confirmam se o valor foi bem enviado como demonstra a figura 4.10. Os 8 bits enviados de *Sumcheck* são simplesmente a soma das 4 parcelas de 8 bits anteriores [6].



- 1 - μC envia sinal de início.
- 2 - μC eleva a saída para 5 volts e espera a resposta do sensor.
- 3 - Sensor inicia a transmissão com sinal a 0 volts.
- 4 - Sensor eleva o sinal para 5 volts.
- 5 - Envio da mensagem composta por 40 bits.
- 6 - Sensor termina a transmissão de dados enviando sinal de 0 volts.
- 7 - μC coloca de novo o sinal a 5 volts.

Figura 4.11: Início de comunicação com o sensor RHT03 [6]



- 1 - Início de envio de 1 bit.
- 2 - Tempo inferior a $28 \mu s$ significa bit 0.
- 3 - Tempo superior a $28 \mu s$ significa bit 1.

Figura 4.12: Distinção entre bit 0 e 1 sensor RHT03 [6]

A saída do sensor é feita por um sinal digital, este usa apenas um pino do sensor sendo assim o mesmo bidireccional. Numa fase inicial o microcontrolador leva a tensão de sinal a 0 volts, posteriormente para 5 volts. Neste momento é atribuída a função de leitura digital ao pino do microcontrolador a que está ligado este sensor. O sensor leva a tensão de sinal a 0 volts, posteriormente a 5 volts e aí começa o envio dos 40 bits que compõem a mensagem. Uma representação gráfica deste processo pode ser visto na figura 4.11 onde a preto estão demonstrados os passos efetuados pelo microcontrolador e a cinzento pelo sensor. Todo este processo terá de decorrer em menos de dois segundos [6].

Dentro da mensagem entre cada bit o sensor leva a tensão de sinal sempre a 0 volts indicando que vai enviar novo bit, posteriormente varia o nível de tensão para 5 volts. Se o sinal apenas se mantiver no nível de tensão 5 volts de $26 \mu s$ a $28 \mu s$ o bit a ser transmitido é um bit 0, se esse período de tempo estiver entre $28 \mu s$ e $70 \mu s$, como visto na figura 4.12, trata-se então de um bit 1 [6].

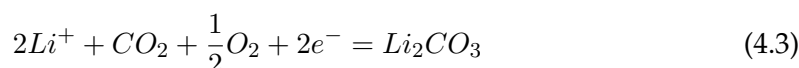
A sua alimentação é feita de 3.3 volts a 6 volts, consome 1.5 mA quando efetua uma medição e $50 \mu A$ em espera. Tem 25.1 mm de altura e 15.1 mm de largura. Possui três pinos, dois de alimentação e um de transferência de dados, com um espaçamento de 0.1 in [6].

4.4.3 Concentração de dióxido de carbono

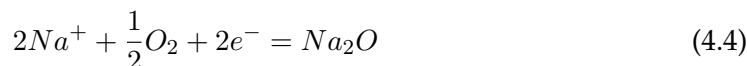
Como descrito em 2.1.3, a medição da concentração de CO_2 em concentrações encontradas em ambiente doméstico e comercial é difícil devido ao tamanho e preço dos sensores necessários. Para seguir as considerações propostas para esta implementação teria que ser encontrado um sensor de dimensões reduzidas, e com capacidade de medir baixas concentrações de CO_2 e que de preferência não fosse muito consumidor a nível energético no seu funcionamento. Foi usado o sensor MG811 produzido pela HANWEI ELECTRONICS.

Sendo um sensor portátil utiliza uma célula eletroquímica como referido em 2.1.3. Utiliza uma célula composta por ouro (Au), carbonato CO_3^{2-} e *Sodium Super-Ionic Conductor* (NASICON). Quando a célula é exposta a CO_2 ocorrem reações de dois tipos [48]:

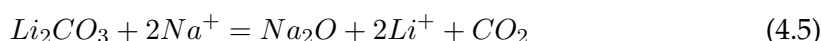
Reação catódica



Reação anódica



Reação total



Resultante desta reação irá surgir uma força eletromotriz de acordo com a equação de Nernst's [49]:

$$EMF = \frac{Ec - (R \times T)}{2F \times \ln(P(CO_2))} \quad (4.6)$$

EMF Força eletromotriz [mV]

EC Valor Constante

R Constante do gás ideal - $8.3144621 J.K^{-1}.mol^{-1}$

T Temperatura [K]

F Constante de Faraday - $96485.3399 C.mol^{-1}$

P(CO₂) Pressão parcial de CO_2 [Pa]

Para o correto funcionamento deste sensor é necessário fornecer calor à célula eletroquímica. Para que tal aconteça o sensor possui uma resistência de 30Ω que deve ser alimentada

a 6 volts. A mesma consome 200 mA.

É gerada uma diferença de potencial, força eletromotriz nos terminais deste sensor após o mesmo estabilizar que demora cerca de 10 min. Após ser medido o sinal nos terminais deste sensor é usada uma tabela para conversão da medição de tensão para concentração de CO₂ em PPM.

A tensão de saída para este sensor ser muito baixa, a medição direta pelo microcontrolador seria pouco precisa para este tipo de valores. Visto a ADC ter 10 bits como referido em 4.2, tem-se $\frac{5\text{volts}}{1024} = 0.00488$, logo cerca de 5 mV por divisão. A resolução da ADC do microcontrolador usado não permite grande precisão para sinais analógicos com tensões muito baixas. Tendo este sensor uma saída com tensões entre 325 mV a 265 mV seria apenas possível medir 12 variações em todo o curso de saída do sensor. Foi usado um AMPLIFICADOR OPERACIONAL (AMPOP) para amplificar a tensão de saída do sensor para valores, o LM6035 da TEXAS INSTRUMENTS. Sendo um AMPOP com tecnologia *Rail-to-Rail Output* (RRO) é possível alimentar o mesmo com 5 volts e atribuindo um ganho de 10x vai-se ter uma resolução muito maior na medição deste sensor. Foram dois AMPOP's na configuração de amplificador de instrumentação fazendo a diferença entre os dois sinais analógicos, amplificando a mesma e cumprindo com o requisito do fornecedor deste sensor de ter uma resistência muito alta, na ordem dos GΩ's entre os dois terminais. Um esquemático da montagem usada pode ser vista no apêndice. C.

O encapsulamento escolhido para para este componente foi o *Small-Outline Package* (SOP) medindo apenas 8.5 mm 5.7 mm [50].

Este sensor é distribuído num encapsulamento radial com 9.5 mm de diâmetro e 9.2 mm de altura, com 6 pinos distribuídos a 45 graus.

4.5 Alimentação dos módulos

Tanto os módulos de recolha de dados como o conversor *Universal Serial Bus* (USB)-*xbee* necessitam de alimentação. O conversor USB-*xbee* é alimentado através do cabo USB ligado ao computador, que alimenta o circuito integrado FTI que faz a conversão de protocolo. Esse circuito integrado por sua vez tem uma saída regulada de 3.3 volts que é usada para alimentar o rádio *xbee*.

A alimentação de cada módulo de recolha de dados requer 3 níveis de alimentação:

- 6 volts para o sensor de concentração de dióxido de carbono;
- 5 volts para os AMPOP, sensor de temperatura e humidade relativa e para o microcontrolador.
- 3.3 volts para o rádio *xbee* e o sensor de intensidade de luminosidade;

A grande preocupação foi a criação de um sistema de alimentação que fornecesse estes 3 níveis e que fosse também o mais eficiente possível no uso de baterias. Foi usado um chip *Step-Up DC-DC Converter* da MICROSHIP, o lm2626. Este *DC-DC converter* aumenta a voltagem produzida por duas baterias em série AA de 3 volts para 6 volts. A esta linha são

ligados dois redutores *low drop out* que servem para reduzir a tensão para os níveis de 5 volts e 3.3 volts, assim como estabilizar a oscilação do *DC-DC converter*. Desta forma é possível ligar baterias duas a duas em série e em paralelo com mais pares, dando aos módulos o tempo de vida necessário. É também possível usar as baterias até estas estarem totalmente esgotadas cerca de 0.8 volts cada visto o lm2626 ter a capacidade de aumentar a tensão para 6 volts com uma entrada de 1.8 volts. Assim foi conseguido um sistema de alimentação orientado para baterias, aumentando a eficiência energética deste sistema.

4.6 Armazenamento dos dados recolhidos

Para completar toda a recolha de dados, os mesmo são recolhidos por um computador e armazenados em ficheiro, para posteriormente serem tratados e poderem ser visualizados. Os dados chegam pelo módulo sem fios coordenador até a um computador. Foi criado um programa para o mesmo em c-c++. A escolha destas linguagens de programação prende-se com a necessidade de um programa para recolha e armazenamento de dados multiplataforma e multiquitetura. É possível usar o programa criado em virtualmente todos as arquiteturas de processadores e todos os sistemas operativos tanto WINDOWS como UNIX, MacOS Linux.

Inicialmente a programação foi feita apenas em c levantando o problema de ser de difícil criação vetores que permitam alocar espaço em memória de forma dinâmico. Entenda-se por vetores que permitam alocar espaço em memória de forma dinâmico, vetores que possam ocupar mais ou menos campos em memória e não com uma secção de memória fixa na definição dos mesmos. Estes vetores são usados tanto para armazenar os endereços de rede e de módulo, como os dados enviados pelos módulos. Para esta dissertação isto era de elevada relevância porque foi programado com intenções de obter um software o mais abrangente possível, podendo comportar a conexão de um número muito elevado de módulos. Desta forma havia duas opções, ou eram alocados vetores de grandes dimensões que estivessem preparados para um largo número de módulos, ocupando muito espaço desnecessário, da memória RAM do computador a ser usado. Deste modo, corria-se o risco de ao se ligar mais um módulo do que aquilo que era esperado pelo programa ele parar a sua operação com um erro de falta de segmentação. Outra forma de abordar este problema era usar vetores que alocassem espaço dinamicamente à medida que o mesmo era necessário. Foi dada preferência a alocar o espaço de forma dinâmica permitindo assim que o programa se torne mais leve para o sistema e também mais eficiente.

Este programa é responsável por descodificar as mensagens que chegam da rede *Zigbee* com o protocolo explicado em 4.3. A partir do protocolo usado é possível saber de que módulo está a ser o envio de dados e quantos módulos foram ligados, assim os dados recebidos nunca são confundidos de módulo para módulo. Para fazer a distinção entre cada tipo de dados foi ainda usado um caractere no início de cada mensagem, este caractere é simplesmente a representação em hexadecimal da primeira letra de cada grandeza medida. Um exemplo dos ficheiros dos dados recolhidos pode ser consultado no apêndice A

- C - 0x43 CO₂
- H - 0x48 Humidade
- L - 0x4C Luminosidade
- T - 0x54 Temperatura

O programa foi desenhado de forma a ser o mais simples possível de forma a aumentar a sua estabilidade. Inicialmente o programa espera que um número determinado de módulos se conectem. Esta operação é efetuada apenas uma vez até toda a rede estar ligada e comunicante, é feito o registo de todos os módulos sabendo assim quais estão ligados e podendo assim fazer a indexação dos dados recebidos de cada um para cada ficheiro de texto. De seguida inicia-se a recolha de dados. É enviada uma mensagem para todos os módulos que iniciam o ciclo de recolha, visto em 4.3. Ao serem recebidos os dados de cada módulo são guardados no ficheiro correspondente. O nome do ficheiro identifica o módulo que enviou os dados. A sintaxe destes ficheiros é o mais simples possível e permite uma fácil importação para o programa que irá fazer a prospeção dos dados recolhidos. Em cada linha de cada ficheiro são guardado os dados que foram recolhidos em simultâneo separados por uma tabulação. No fim de cada linha inclui-se um marcador temporal que informa do ano, mês, dia, hora, minuto e segundo no qual foi feita a recolha. No apêndice A podemos ver um exemplo do ficheiro gerado pelo programa de recolha de dados. Após este processo é enviado um sinal para o módulo voltar a iniciar o ciclo de recolha. Esta operação é repetida pelo tempo necessário até a recolha se dar por completa. Um fluxograma explicando o funcionamento do programa criado para a recolha de dados pode ser visto na figura 4.13 onde é explicado de forma gráfica o funcionamento simplificado deste programa.

Não foi criada uma *Graphical User Interface* (GUI) para esta aplicação visto não ser o processo de recolha e armazenamento de dados ser todo feito autonomamente através do seu *software* em conjunto com o dos microcontroladores. Optou-se então por uma *Command-Line Interface* (CLI) permitindo ao utilizador saber apenas quando os dados foram enviados e que número de módulos estão ligados naquele momento. A opção por uma CLI ao invés de uma GUI prende-se também pelo aumento de robustez da aplicação. Sendo que uma aplicação com GUI torna-se mais suscetível interrupções de operação causadas pelo sistema.

Para fazer a interface entre a rede sem fios usada e o computador foi construída uma pequena placa que faz a conversão de protocolo. Nesta placa está simplesmente presente um rádio *Xbee* que faz a transmissão por tecnologia sem fios. Esse módulo encaminha por UART o que recebe da rede. Para comunicar pela porta USB foi implementado um conversor UART-USB. Assim o programa envia as mensagens pela porta USB, são convertidas para UART pelo conversor, recebidas pelo módulo *Xbee* e enviadas para outros módulos remotos. Podem ser vistos os esquemáticos e os *layout's* das PCB deste dispositivo no apêndice B

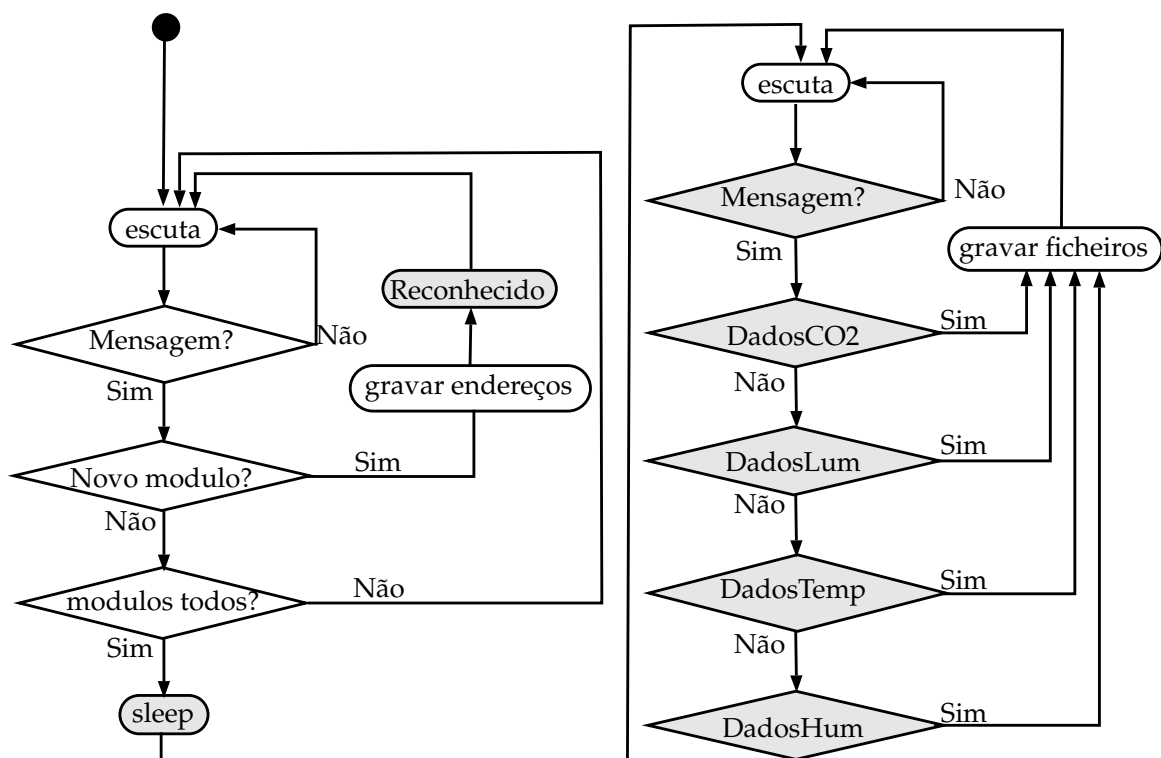


Figura 4.13: Fluxograma de estados simplificado do funcionamento do programa de armazenamento de dados

4.7 Visualização de dados

Para visualizar os dados foi criada uma página na internet. Esta opção em detrimento de um programa com GUI foi tomada em prol da robustez do programa de recolha de dados mas também porque desta forma os dados podem ser consultados em qualquer lugar com ligação à internet.

Apesar de não ser um dos objetivos principais desta dissertação, foi criado uma página de internet em *Hypertext Preprocessor* (PHP) que permite a visualização dos dados recolhidos em tempo real. Nesta página podem ser consultados todos os dados recolhidos de cada módulo de uma forma clara, objetiva e de fácil consulta. É possível visualizar assim como está a decorrer a recolha e se há algum erro com a mesma.

Na imagem 4.14 é possível ver o site com os marcadores para cada módulo podendo assim escolher que dados a visualizar. A informação é mostrada por ordem cronológica.

Dados extraídos as 23:33

◀ **Modulo 1** Modulo 2 Modulo 3 Modulo 4 ▶

TEMPERATURA	HUMIDADE	CO 2	LUMINOSIDADE
23.5	38	400	500
23.5	38	401	502
10.3	5.6	403	500
10.4	7.8	410	501
10.5	9.16	406	499
10.6	17.18	407	489
10.7	19.2	399	493
10.8	21.22	393	505
23.5	38	400	500
23.5	38	401	502
10.3	5.6	403	500
10.4	7.8	410	501
10.5	9.16	406	499
10.6	17.18	407	489

Figura 4.14: Imagem da página de internet criada

Capítulo 5

Tratamento de dados

Após ter sido apresentado o sistema usado para a recolha de dados, neste capítulo é feita a descrição dos métodos matemáticos testados. É descrita a preparação dos dados recolhidos, a modelação usada para tratar os dados e a análise e validação para cada grandeza medida.

Foram testados dois programas para efetuar o tratamento dos dados obtidos, o MATLAB e o RAPIDMINER. Apesar ser distribuído sob em licença *Affero General Public License* (AGPL), isto é, de forma livre e da sua interface gráfica mais atraente o RAPIDMINER é um programa com maiores limitações. Sendo o RAPIDMINER um programa apenas de aprendizagem de máquina, *data mining*, *text mining* e análises de outro tipo de dados, não permitia uma preparação, visualização e modelação da mesma forma como o MATLAB. Visto os dados serem recolhidos por sensores digitais seria necessário uma maior preparação dos mesmos o que poderia requerer serem tratados previamente antes de serem introduzidos no RAPIDMINER. O MATLAB sendo uma plataforma de análise numérica e de cálculo com matrizes, permitiu uma maior facilidade na preparação e no tratamento dos dados recolhidos, assim como bastante flexibilidade na sua visualização e obtenção a partir dos ficheiros criados.

5.1 Preparação dos dados

A preparação dos dados é a primeira fase do método de prospeção de dados. Após a sua recolha é efetuado o tratamento dos dados obtidos. Este passo melhora bastante a eficácia da fase de modelação.

Nas fases iniciais foram imediatamente identificados dois erros sistemáticos produzidos pelos sensores implementados. Sendo os dados recolhidos por métodos digitais pode ser observado ruído no mesmo isto deve-se a estar a ser medido um valor intermédio aos valores permitidos pela resolução do sensor ou da sua ADC. Nesta ocasião o valor vai variar aleatoriamente entre os dois patamares possíveis de leitura digital, é sabido que o valor real naquele instante estaria entre estes dois patamares e seguiria a tendência dos valores anteriores, de subida ou descida, como visto na figura 5.1.

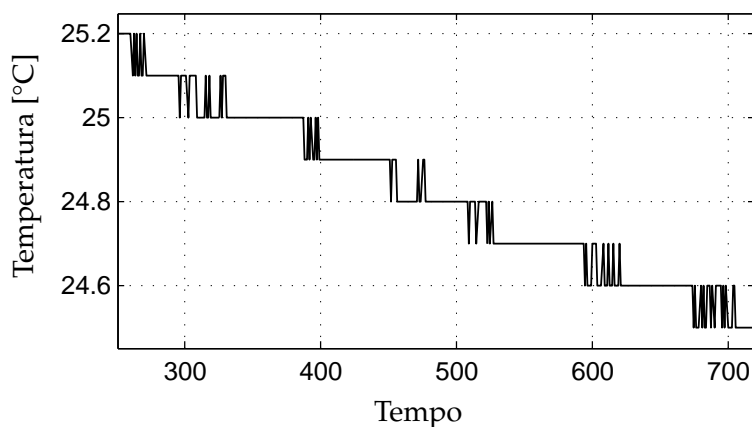


Figura 5.1: Gráfico de exemplo de erro causado pela leitura da ADC

Outro tipo de erros encontrados nas medições é o aparecimento de valores aleatórios. Neste caso existe a medição de apenas um, ou um grupo pequeno, de valores muito superiores ou inferiores aos valores registados anteriormente e após estes registos. É sabido que num curto espaço de tempo as grandezas mesuradas não teriam este comportamento sem uma interação externa ou um erro do sensor. Este resultado é causado pela acumulação de um grande número de pequenos efeitos provocando este efeito no sensor. Na figura 5.2 pode ser visto um exemplo deste tipo de erros.

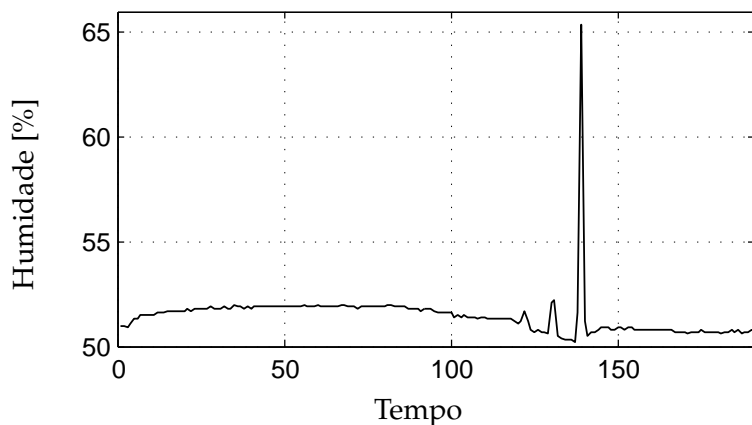


Figura 5.2: Gráfico de exemplo de erros aleatórios

Para encontrar a melhor forma de eliminação deste tipo de erros foram testados os seguintes métodos matemáticos:

- Filtro Savitzky-Golay;
- *LOcally WEighted Scatterplot Smoothing* (LOWESS);
- *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA);

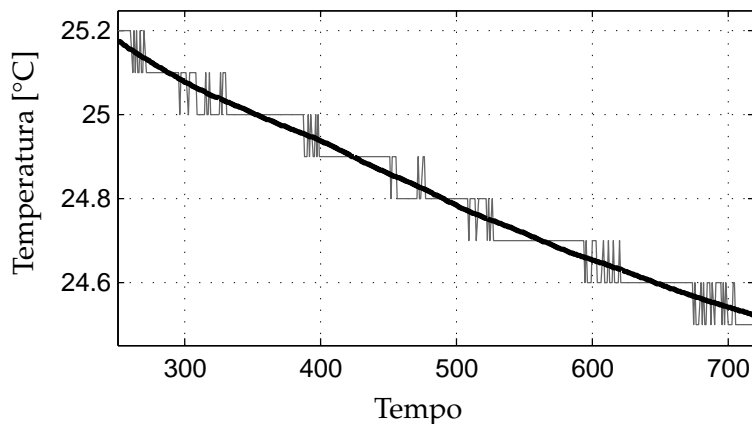


Figura 5.3: Grafico de exemplo de tratamento dos dados obtidos em 5.1

Pode-se constatar que o único método matemático capaz de lidar com os dois tipos de erros sistemáticos encontrados no conjunto de dados recolhidos é o filtro LOWESS. Apesar de o filtro Savitzky-Golay ser de uso frequente na remoção de ruído em leituras digitais e ter conseguido corrigir o resultado em 5.1, não conseguiu lidar com a existência de erros aleatórios de magnitude semelhante ao erro visto em 5.2. O mesmo aconteceu com o EWMA. Na figura 5.3 podemos observar o resultado do filtro LOWESS, na curva representada a preto, usado no mesmo conjunto de dados representado em 5.1.

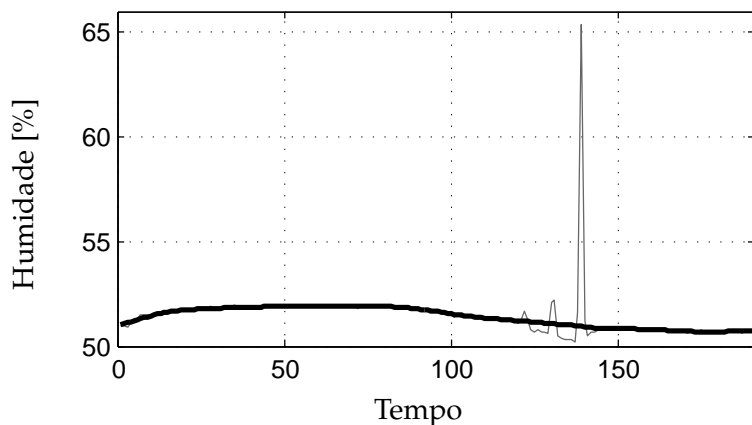


Figura 5.4: Grafico de exemplo de tratamento dos dados obtidos em 5.2

Na figura 5.4 é possível ver o resultado da aplicação do filtro LOWESS no conjunto de dados representado em 5.2. O resultado, apresentado na curva a preto é uma boa correção do erro produzido pelo sensor.

Apesar de serem apresentados conjuntos de dados de temperatura para exemplificar um erro causado pela leitura da ADC e de humidade para exemplificar um erro aleatório, ambos os erros ocorreram na leitura de qualquer tipo de dados. Este tipo de erros sistemáticos

estão relacionados com o facto de serem feitas leituras usando componentes digitais e não se relacionam de nenhuma forma com o tipo de grandeza medida.

5.2 Modelação dos dados recolhidos

Após ter sido efetuada a recolha de dados e a sua preparação, é iniciada a sua modelação. Nesta fase é feito o teste aos algoritmos matemáticos conhecidos na tentativa de encontrar o melhor para definir o sistema em estudo.

5.2.1 Escolha da rede neuronal

Para se proceder à escolha de uma rede neuronal é necessário categorizar os dados que queremos analisar. É denominada série temporal quando são recolhidos dados ao longo de um período de tempo em espaçamentos de tempo iguais. Os dados recolhidos inserem-se nesta categoria. Logo a rede neuronal escolhida teria de ser capaz de tratar dados deste tipo.

Simple Recurrent Networks (SNR) são redes que estão incluídas na classe de redes neurais recorrentes, elas são essencialmente redes FF na sua estrutura, mas têm também algumas realimentações a nível global ou local na sua arquitetura. Mesmo redes do tipo FF MPL podem rapidamente ser adaptadas para processar séries temporais fornecendo as mesmas uma linha de atraso, estas redes são também conhecidas como *Time Delay Neural Network* (TDNN) [51]. Podem facilmente dar origem a redes de Elman e Jordan [52], redes SNR introduzindo uma realimentação entre as camadas de saída e as camadas escondidas. Para um previsão a longo tempo uma rede FF TDNN irá se comportar como uma *Simple Recurrent Networks* (SNR), visto ser necessário uma realimentação global que introduza o valor estimado de volta na camada de saída.

As arquiteturas anteriormente referidas são geralmente treinadas usando variações baseadas num gradiente temporal do algoritmo de retro propagação [53] no entanto usar este tipo de algoritmos de aprendizagem pode ser bastante difícil quando existe a necessidade de processar dados relativos a um longo período de tempo [54]. Em [55] é descrito que a aprendizagem de séries que se prolongam por um longo período de tempo é mais eficazmente feita com algoritmos do tipo NARx.

Os algoritmos do tipo NARx são mais simples que algoritmos baseados em redes realimentadas MPL, sendo construídos inteligentemente usando dois atrasos intercetados, um no sinal de entrada e outro na saída da rede. São estes atrasos que vão conferir memória à rede dando assim uma conhecimento temporal à mesma [56]. É também importante a continuação do estudo de redes MPL visto que em [43] foi concluído que as redes MPL foram as que obtiveram resultados com menor erro. Portanto clamente é importante definir qual a rede com melhor comportamento dentro deste grupo. Os dados recolhidos foram testados em dois tipos de redes, redes NAR e NARx.

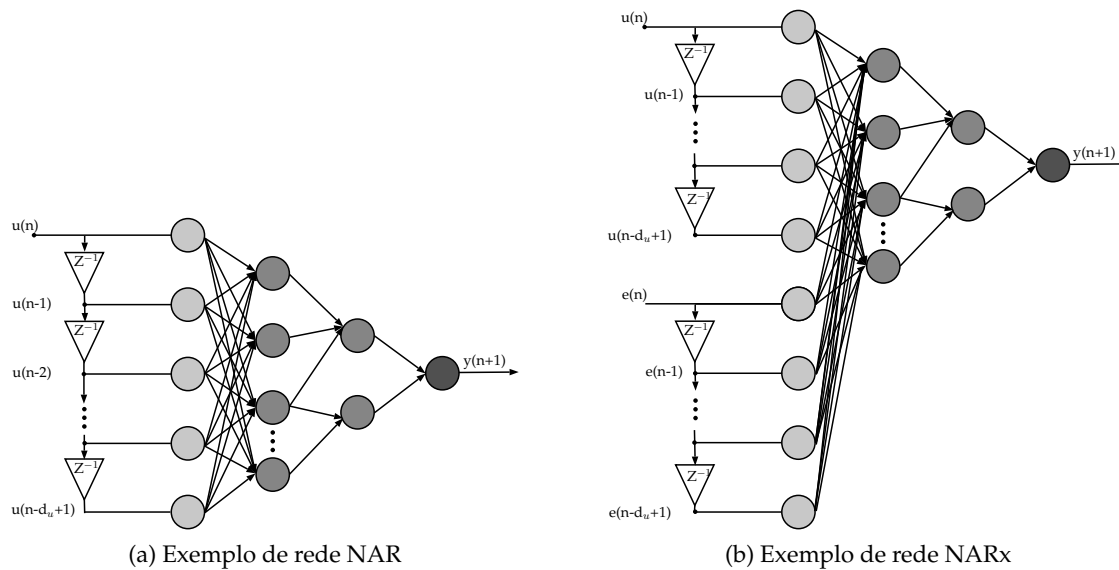


Figura 5.5: Exemplo de rede diferentes arquiteturas de rede

5.2.2 Função de treino

A função de treino usada para na rede *Nonlinear Autoregressive* (NAR) foi a função de Levenberg-Marquardt. A função de treino da rede atualiza os pesos da rede e os vies também denominados de *bias*. Ela minimiza a combinação de erros e pesos e determina qual a combinação correta de forma a produzir uma rede que generalize de uma forma correta. Geralmente, em problemas deste género para redes que contenham até por volta de uma centena de pesos, a função de Levenberg-Marquardt irá ter a mais rápida convergência [57, 58]. Esta é uma vantagem quando é necessário ter um treino bastante preciso. No entanto, quando aumentamos bastante o número de pesos esta função tende a perder esta vantagem. Em [57], foram analisadas mais funções de treino sendo que a função de Levenberg-Marquardt foi a que melhores prestações teve neste tipo de rede.

5.2.3 Função de desempenho

Como as redes neurais são modelos puramente empíricos, a validação é fundamental para o seu sucesso. O desempenho de uma rede neuronal treinada pode ser medida de diversas maneiras. Nesta dissertação são usados 2 métodos para avaliar o desempenho ao treino efetuado:

- Coeficiente de correlação
- MSE
- Autocorrelação do erro
- Funcionamento em malha fechada

Um dos parâmetros a ser avaliado para avaliar o desempenho das redes treinadas é o coeficiente de correlação. O coeficiente de correlação, também conhecido como "R de Pearson" mede a intensidade e a direção da relação linear entre duas variáveis. Neste trabalho vai ser avaliado o coeficiente de correlação R entre a saída da rede neuronal e os valores esperados. Isto é, foi medida a variação entre os valores gerados pela rede e os valores esperados. O coeficiente de correlação pode variar entre -1 e 1. Se o coeficiente de correlação for igual a 1, então há uma correlação perfeita positiva entre as variáveis avaliadas, neste caso as saídas da rede e os valores esperados. Caso o coeficiente de correlação seja igual a -1 há uma correlação perfeita negativa entre as variáveis avaliadas. Quanto mais próximo for o valor de 1 ou menos 1 mais forte é a correlação. Valores próximos de zero demonstram inexistência de relacionamento, isto é o não funcionamento da rede.

Apesar do coeficiente de correlação ser um bom avaliador do desempenho de rede, não chega para avaliar a mesma. Foi também calculado o erro quadrático médio, ou *Mean Squared Error* (MSE) entre as saídas da rede e os valores esperados. Em estatística, o MSE é uma forma de estimar a precisão de uma previsão, isto é, a diferença entre uma previsão e o valor esperado. Um MSE de zero significa que as saídas da rede neuronal são totalmente coincidentes com os valores esperados, conseguindo estimar com total precisão. Isso nunca é possível sendo que se tenta sempre obter valores o mais baixo possível de MSE. O MSE pode também ser utilizado de forma comparativa. Podendo assim indicar entre dois modelos de previsão qual o mais preciso na sua estimativa. O erro quadrático médio é determinado somando os erros de previsão ao quadrado e dividindo pelo número de erros usados no cálculo. O erro quadrático médio pode ser expresso pela seguinte equação:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_i^n}{n} \quad (5.1)$$

Em estatística a autocorrelação de um processo aleatório descreve a correlação entre os pontos do processo e o tempo em função de dois pontos no tempo ou de uma diferença temporal. Se X for um processo repetitivo e t um ponto no tempo após o início do processo. Então X_t é o valor produzido pelo processo no instante temporal t. Sabendo que o processo tem uma média de μ_t e um desvio padrão de σ_t^2 em todos os instantes t. Então pode ser definida a autocorrelação entre o instante s e t por:

$$R(s, t) = \frac{E[(X_t - \mu_t)(X_s - \mu_s)]}{\sigma_t \sigma_s} \quad (5.2)$$

Onde E é o valor esperado. A função de autocorrelação do erro descreve a predição de erros no tempo. Para um modelo perfeito deve haver um apenas um valor positivo que ocorre no atraso zero. Este valor corresponde ao MSE. Caso isto acontecesse representaria que todos os erros eram totalmente independentes do tempo correspondendo aquilo que se chama de *white noise* em estatística. Se houver uma correlação significativa entre os erros e o tempo a simulação pode ser melhorada, por exemplo aumentando o número de atrasos de rede até o modelo ser adequado [59].

5.3 Redes NAR

As redes NAR são redes dinâmicas que usam atrasos de rede e uma entrada de dados. Isto é elas vão tentar obter uma função que se aproxime do comportamento registado pelas grandezas mesuradas usando apenas os dados de entrada e interceptando o processamento da camada escondida que vai ser introduzido na entrada como atraso aos dados a serem atualmente introduzidos na rede.

Esta rede pode ser descrita pela função:

$$y(n+1) = f[u(n), u(n-1), \dots, u(n-d_u+1)] \quad (5.3)$$

Onde $u(n) \in \mathbb{R}$ e $y(n) \in \mathbb{R}$, sendo estes respetivamente a entrada e a saída do modelo a um instante de tempo n em que $d_u \geq 1$ sendo que representa o atraso que trará memória temporal à rede. Foram então treinadas redes para os dados recolhidos nesta dissertação: humidade, temperatura e luminosidade.

Em todos os testes foram usadas 1000 e 75% dos pontos recolhidos foram usados para treinar a rede 15% para validar e 15% para testes de generalização da rede.

5.3.1 Entrada de rede dados de temperatura

Começou-se por treinar redes com dados de temperatura. Após alguns testes concluiu-se que a rede efetuava melhores previsões com 38 neurónios na camada escondida e com 3 atrasos de rede. Foram feitas 1000 iterações mas a rede estabilizou, isto é, já não conseguia uma melhoria significativa do MSE perto da 20^a iteração.

Foi observado que a autocorrelação vista em 5.6a corresponde ao esperado. Existindo poucos valores não zero e não muito altos. No atraso, *lag*, zero onde encontra-se o valor mais alto que corresponde ao MSE. Foi assim atingido um MSE de 5.746×10^{-8} .

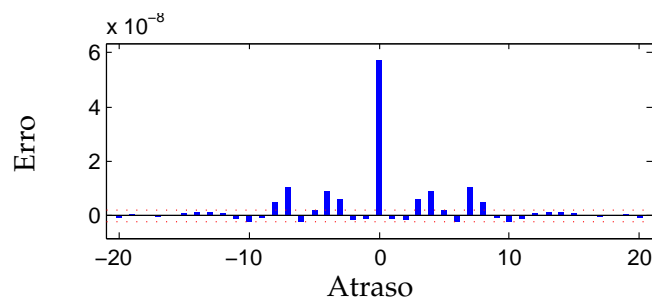
Na figura 5.6b pode ser visto uma previsão feita pela rede. Neste modo de operação é usada a rede treinada e testada, a saída é reencaminhada para a entrada tendo assim um comportamento em malha fechada. A rede passa assim a poder prever quais os próximos valores de temperatura. Pode ser considerado um método de validação mais visual devido a não ser fornecido à rede o período de dados que vai ser calculado pela rede. Assim é possível ter uma comparação entre os dados calculados pela rede e os dados reais.

5.3.2 Testes efetuados com dados de humidade

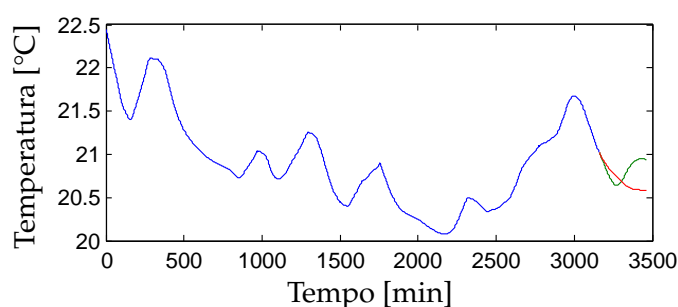
Foi também testadas as NAR para previsões com os dados recolhidos de humidade. Neste caso a rede teve um melhor desempenho com 30 neurónios na camada escondida e com 5 atrasos de rede. Como em 5.3.1 foram feitas 1000 iterações. Mais uma vez a rede convergiu rapidamente, perto da 50^a iteração.

Foi observado que a autocorrelação vista na figura 5.6a corresponde ao esperado tendo o mesmo um MSE 2.548×10^{-6} e valores perto de zero para os outros atrasos.

Na figura 5.7b pode ser vista uma previsão feita pela rede. Foi efetuada da mesma forma que no subcapítulo 5.3.2. Pode-se verificar que a rede não conseguiu uma previsão muito



(a) Gráfico autocorrelação do erro



(b) Gráfico Previsão de Rede

Figura 5.6: Rede NAR com entradas de rede com dados de temperatura

exata nem segue a mesma forma de crescimento. Pensa-se ainda assim que em caso de falha do sensor, o valor estimado seria mais próximo do valor real que o valor conseguido pelo sensor defeituoso. Esta falha na previsão deve-se à imprevisibilidade de comportamento da humidade devido à recolha de dados num edifício não climatizado. Enquanto que a temperatura e a luminosidade variam de forma cíclica ao longo do dia, a humidade está muito dependente de variações atmosféricas, o mesmo não acontece num edifício climatizado.

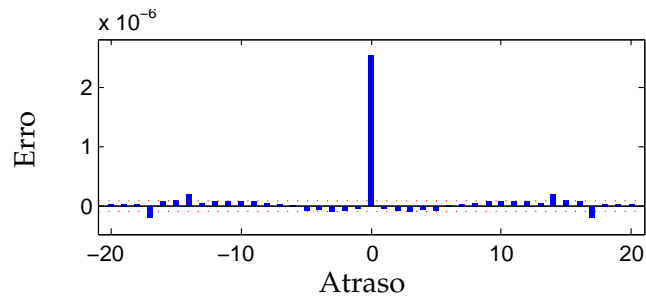
5.3.3 Testes efetuados com dados de Luminosidade

Foi ainda treinada uma rede NAR com os dados de Luminosidade. Neste caso a rede teve um melhor desempenho com 30 neurónios na camada escondida e com 5 atrasos de rede. Como na secção 5.3.2 e 5.3.1 subsec:nartemp foram feitas 1000 iterações. Mais uma vez a rede convergiu rapidamente, perto da 50^a iteração.

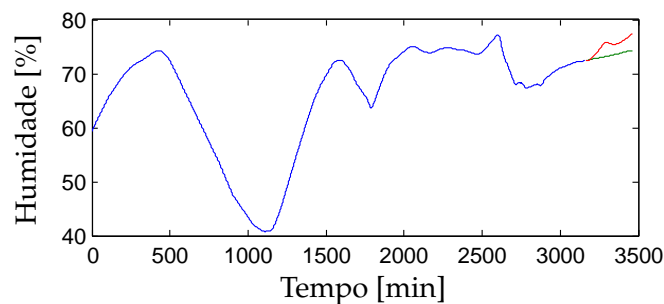
Foi observado que a autocorrelação vista em 5.6a corresponde ao esperado sendo obtido um MSE 6.746×10^{-8} .

Na figura 5.6b pode ser visto uma previsão feita pela rede. Foi efetuada da mesma forma que no subcapítulo 5.3.2 e 5.4.1. Pode-se verificar que a rede não conseguiu uma previsão muito exata nem segue a mesma forma de crescimento. Pensa-se ainda assim que em caso de falha do sensor seria mais próximo do valor real que o valor conseguido pelo mesmo.

Na tabela 5.2 encontra-se um resumo da arquitetura usada nas redes neuronais assim como os dados que permitem a sua validação.



(a) Gráfico autocorrelação do erro



(b) Gráfico Previsão de Rede

Figura 5.7: Rede NAR com entradas de rede com dados de humidade

Tabela 5.1: Tabela de resumo dos resultados das redes neuronais NAR

Grandeza medida	Número de neurónios na camada escondida	Número de atrasos	MSE	Coefficiente de R
Temperatura	38	3	5.746×10^{-8}	0.999
Humidade	30	5	2.548×10^{-6}	0.999
Luminosidade	10	4	6.746×10^{-8}	0.999

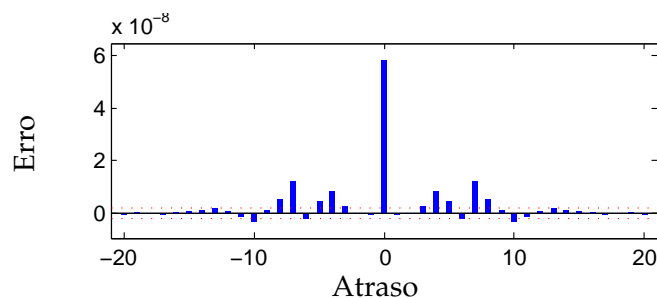
5.4 Redes NARx

As redes NARx são redes dinâmicas que usam atrasos de rede e uma entrada de dados, distinguem-se das redes NAR devido a usarem duas entradas. Isto é elas vão tentar obter uma função que se aproxime do comportamento registado pelas grandezas medidas usando duas entradas e intercetando o processamento da camada escondida que vai ser introduzido na entrada como atraso aos dados a serem atualmente introduzidos na rede.

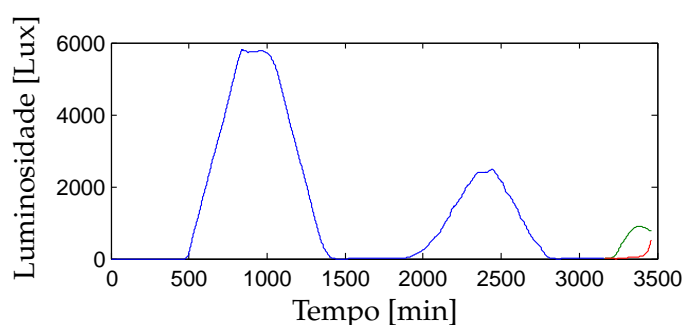
Esta rede pode ser descrita pela função:

$$y(t) = f[y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n_y), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n_u)] \quad (5.4)$$

Onde $u(n) \in \mathbb{R}$ e $y(n) \in \mathbb{R}$, sendo estes respetivamente a entrada e a saída do modelo a um instante de tempo n em que $d_u \geq 1$ sendo que representa o atraso que trará memória temporal à rede. Foram então treinadas redes para os dados recolhidos nesta dissertação: humidade temperatura e luminosidade.



(a) Gráfico autocorrelação do erro



(b) Gráfico Previsão de Rede

Figura 5.8: Rede NAR com entradas de rede com dados de luminosidade

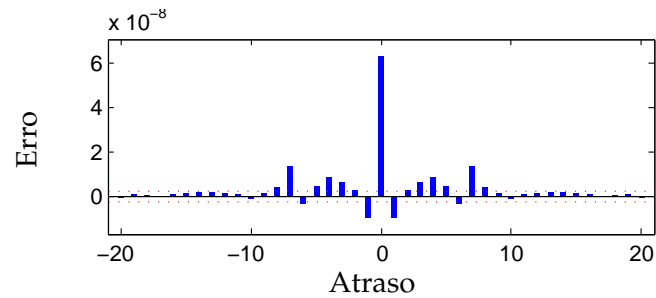
Semelhantemente ao que foi usado nas redes NAR na secção 5.3 foi também usada 1000 e 75% dos pontos recolhidos foram usados para treinar a rede 15% para validar e 15% para testes de generalização da rede.

5.4.1 Entradas de rede com dados de temperatura de dois módulos

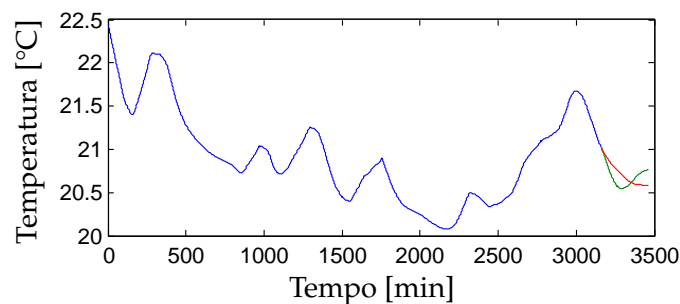
Como no capítulo 5.3, em primeiro lugar foi treinada a rede com dados de temperatura. Após alguns testes concluiu-se que a rede produzia saídas mais exatas com 15 neurónios na camada escondida e com 2 atrasos de rede. Foram feitas 1000 iterações mas a rede estabilizou, bastante cedo, perto da 10 iteração.

Foi observado que a autocorrelação vista em 5.9a corresponde ao esperado, com a maior parte dos valores próximos de zero. No atraso, *lag*, 0 é o valor mais alto correspondente a um MSE de 6.48×10^{-8} coeficiente de correlação R entre as entradas e as saídas para este teste foi de 0.9999.

Na figura 5.9b é apresentada uma previsão feita pela rede. Foi utilizado o mesmo funcionamento que nos testes anterior. Mais uma vez a vermelho podemos ver as saídas esperadas da rede a verde as aproximações da mesma. Apesar de visualmente não parecer uma melhor aproximação que em 5.3.1. A rede foi treinada muito mais facilmente obtendo um erro muito melhor em relação ao treino feito em 5.3.1. A mesma convergiu mais rapidamente, com recurso a menos neurónios de camada escondida e com menos atrasos, logo com menor processamento é conseguido um resultado ligeiramente melhor que em 5.3.1.



(a) Gráfico autocorrelação do erro



(b) Gráfico Previsão de Rede

Figura 5.9: Rede NARx com entradas de rede com dados de temperatura de dois módulos

5.4.2 Testes efetuados com dados de humidade de dois módulos

Os testes com dados de humidade em 5.3.2 apontavam para uma baixa precisão de rede usando as redes NAR. Foram então analisados os mesmos dados com o uso de uma rede NARx com a entrada dos mesmos dados de humidade de dois sensores. Após alguns testes concluiu-se que a rede tinha melhores resultados com 17 neurónios na camada escondida e com 2 atrasos de rede. Foram feitas 1000 iterações mas a rede estabilizou bastante cedo perto da 10 iteração.

Foi observado que a autocorrelação vista em corresponde ao esperado tendo o valor mais alto no atraso 0 com um valor de MSE de 12.8738×10^{-8} . Todos os outros valores de atraso estão muito perto de 0 como esperado como visto na figura 5.10a. O coeficiente de correlação R entre as entradas e as saídas para este teste foi de 0.9999.

Na figura 5.10b pode ser visto uma previsão feita pela rede. Foi utilizado o mesmo funcionamento que nos testes anterior. Mais uma vez a vermelho podemos ver as saídas esperadas da rede a verde as aproximações da mesma. Em relação ao relatado na secção 5.3.2 foram obtidos resultados muito superiores. Sendo que os dados não foram retirados em edifícios com tratamento de ar, a humidade pode ter uma variação muito aleatória dependendo muito de fatores meteorológicos não cíclicos. Logo as redes NAR não conseguem uma previsão precisa apenas com uma entrada. Usando uma rede NARx é possível relacionar a entrada de um sensor com a do outro conseguindo desta forma uma melhor previsão. É assim obtido um resultado claramente melhor que em com um menor peso computacional.

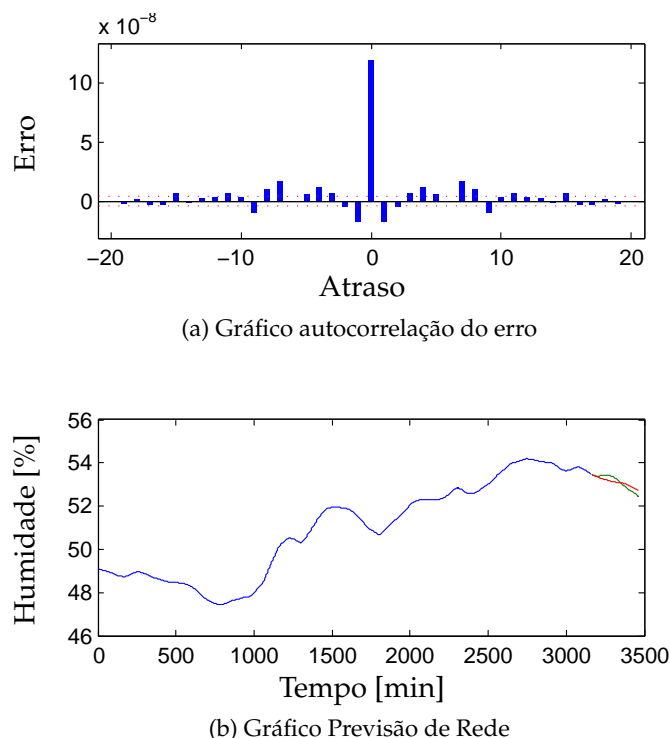


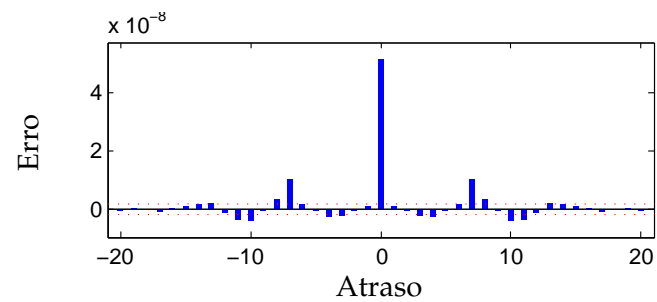
Figura 5.10: Rede NARx com entradas de rede com dados de humidade de dois módulos

5.4.3 Testes efetuados com dados de luminosidade de dois módulos

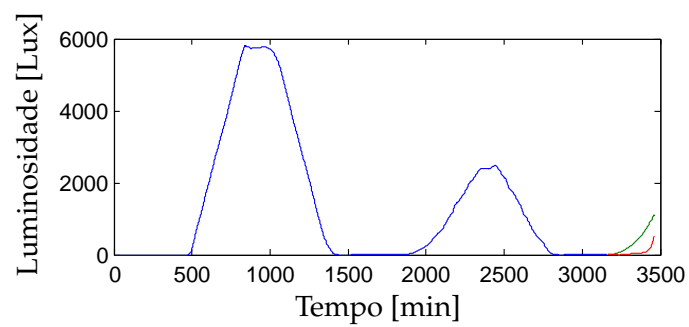
Assim como para os dados de temperatura e humidade foram também testados os mesmos dados de luminosidade usados em 5.3.3, com o uso de uma rede NARx. Após alguns testes concluiu-se que a rede tinha melhores resultados com 17 neurónios na camada escondida e com 2 atrasos de rede. Foram feitas 1000 iterações mas a rede estabilizou bastante cedo perto da 10 iteração.

Mais uma vez a correlação vista em corresponde ao esperado tendo o valor mais alto no atraso 0 com um valor de MSE de 9.8738×10^{-8} . Todos os outros valores de atraso estão muito próximos de zero como esperado e visto na figura 5.11a. O coeficiente de correlação R entre as entradas e as saídas para este teste foi de 0.9999.

Na figura 5.10b é apresentada uma previsão feita pela rede. Foi utilizado o mesmo funcionamento que nos testes anteriores. Mais uma vez a vermelho podemos ver as saídas esperadas da rede a verde as aproximações da mesma. Em relação ao observado na secção 5.3.3 foram obtidos resultados superiores, uma previsão mais exata com menor peso computacional como seria esperado.



(a) Gráfico autocorrelação do erro



(b) Gráfico Previsão de Rede

Figura 5.11: Rede NARx com entradas de rede com dados de luminosidade de dois módulos

Tabela 5.2: Tabela de resumo dos resultados das redes neuronais NARx

Grandeza medida	Número de neurónios na camada escondida	Número de atrasos	MSE	Coefficiente de R
Temperatura	15	2	6.843×10^{-8}	0.999
Humidade	17	2	12.87×10^{-8}	0.999
Luminosidade	17	2	9.873×10^{-8}	0.999

Parte IV

Conclusões

Capítulo 6

Conclusão

Neste capítulo são retiradas as conclusões com base nos dados experimentais e nos resultados de outras soluções apresentadas anteriormente. É também feito um comentário relativo à aplicabilidade da solução apresentada nesta dissertação, apresentadas as falhas deste estudo e proposto trabalho para futuros estudos nesta matéria.

Neste trabalho é apresentado o protótipo de um sistema de recolha de dados e um sistema para a visualização armazenamento e tratamento por métodos matemáticos dos mesmos. Foi ainda testada a sua aplicabilidade em métodos de previsão de prospeção de dados como redes neuronais. Foram escassos os documentos encontrados referindo a aplicação destes sistemas juntos, logo pode ser concluído que não há ainda muitos sistemas semelhantes a este em estudo. Isto apenas prova a inovação da ideia testada nesta dissertação. Após estudar e analisar o funcionamento de outros sistemas do género, foram tomadas decisões que na globalidade foram tomadas de forma correta.

A decisão de tentar testar este sistema para parâmetros de qualidade de ar e luminosidade, foi tomada com perspectiva do uso de um sistema deste género em sistemas de AVAC, ar condicionado e de iluminaria. Esta escolha deve-se a estes sistemas serem uns dos sistemas mais consumidores do setor comercial e residencial que por si só são os responsáveis por maior consumo globalmente. Logo um aumento de eficiência destes sistemas representaria um grande impacto na poupança de energia mundial.

Na execução desta dissertação foram encontrados algumas dificuldades. Um dos problemas foi encontrado na implementação do sensor de CO₂. Um dos propósitos desta dissertação seria medir e fazer prospeção dos dados de concentração de dióxido de carbono medido no ar. O mesmo foi impossibilitado devido aos sensores adquiridos. Sensores de concentração de CO₂ de baixa concentração, baixa voltagem e compactos são muito difíceis de encontrar e geralmente bastante dispendiosos. Foi apenas encontrado num fornecedor de material eletrónico um sensor com essas características e de baixo custo, cerca de 25€ o MG811 . Sendo que o valor dos sensores comprados é cerca de 5€ para o sensor de humidade e de 2€ para o sensor de luminosidade, a aquisição deste sensor iria aumentar bastante o preço por módulo. Este também seria o maior consumidor elétrico em cada módulo. Com um consumo de 1200 mW supera por uma escala de 100 o consumo somado de todos os com-

ponentes dos módulos de recolha de dados. Significaria assim aumentar bastante as baterias que alimentariam cada módulo. Apesar de todos estas condicionantes foi feita a tentativa de incorporar este sensor nos módulos de recolha de dados. O mesmo foi impossibilitado pois dos 4 sensores adquiridos nenhum foi capaz de ter um sinal de saída correspondente ao descrito *datasheet* dos mesmos. Foi também verificado que nenhum dos sensores era capaz de produzir uma saída semelhante, apesar de todas as tentativas, material adquirido, testes e horas desperdiçadas para tentar obter um funcionamento coerente dos mesmos. Considerou-se ainda a hipótese em adquirir outros sensores de concentração de CO₂ de outro fabricante mas os mesmos são vendidos a preços que se aproximam das centenas de euros, saído fora do orçamento previsto para esta dissertação. Fora este problema todas as recolhas de dados funcionaram de forma excepcional. Considerando que a plataforma de recolha de dados criados é uma mais valia para esta dissertação devido ao seu bom funcionamento, versatilidade, fácil implementação e baixo consumo energético atingindo várias semanas com umas simples pilhas AA decerto estará presente em mais projetos deste departamento.

Os testes executados à criação de redes neuronais foram algo surpreendentes. Não só foram capazes de prever os dados provenientes dos sensores mas com um elevado nível de precisão, em especial nas redes NARx. Os dados foram recolhidos num edifício sem sistema de climatização o que os torna mais inconstantes. Este facto provoca uma dificuldade acrescida na previsão das redes neuronais. Mesmo assim em ambas as arquiteturas de rede foi encontrado uma boa forma de aproximação às mesmas. As rede NARx conseguem resultados ligeiramente superiores às redes NAR e com menor peso computacional, como seria esperado devido às suas duas entradas comparando as entradas de dois módulos.

Pode então concluir-se que o estudo deste sistema deve ser continuado de forma a produzir um produto final que possa ser implementado em sistemas funcionantes. A redução dos consumos de sistemas já implementados sem ser necessário a substituição de componentes dos mesmos apresentaria uma solução inteligente para o problema do crescente consumo energético. Assim com poucos gastos da parte do cliente seria efetuado um consumo mais racional da energia, poupando-se onde mais se gasta sem prejuízo tanto financeiro do mesmo como do funcionamento global dos sistemas operantes.

6.1 Limitações do estudo

No que concerne às limitações do estudo, apresenta-se em primeiro lugar as que estão relacionadas com a recolha de dados. Esta recolha deveria ter sido feitos num edifício com sistema de AVAC. Desta forma os dados seriam mais previsíveis e menos suscetíveis a alterações meteorológicas. Apesar de consistir num acréscimo de dificuldade para as redes neuronais, pensa-se que a amostra deveria ter sido feita num edifício com estas condições para melhor validação. Devia também ter sido feita uma amostra de dados maior. Com uma amostra maior de dados seria mais fácil o treino das redes neuronais e maior a sua precisão, apesar da forma como foi efectuado o estudo se tornar uma teste mais difícil para as redes neuronais. Deveria também ter sido usados mais módulos recolhendo dados de várias divisões do mesmo edifício.

Relativamente ao estudo da concentração de CO₂ foi impossibilitada devido aos sensores escolhidos e ao preço dos mesmos como referido acima.

6.2 Sugestões para estudos futuros

Em estudos futuros, seria importante desenvolver trabalhos em que as limitações apresentadas anteriormente fossem eliminadas. Considera-se que seria benéfico recolher dados de um edifício climatizado por um sistema de AVAC, com mais módulos e num maior período de tempo. Deveriam ser considerados mais algoritmos de redes neuronais ou tentar o desenvolvimento de um específico para este tipo de dados.

Para estudos futuros seria interessante a implementação de um sensor de concentração de CO₂, usando sensores diferentes do testado ou com novas tecnologias que surjam.

Considera-se que seria determinante a continuação na investigação na junção de métodos matemáticos e gestão energética de forma a aumentar a eficiência energética de sistemas já implementados. Desta forma, seria dinamizada a evolução contínua de sistemas já implementados e não só na instalação de novos.

É também importante referir que a plataforma de recolha de dados, é um sistema com grande versatilidade, poderá não só contribuir na continuação deste estudo mas também no apoio de novos projetos de monitorização ou atuação desenvolvidos.

Concluindo, seria desejável que no futuro fosse dada continuidade à investigação nesta área. A melhoria da eficiência energética revela-se fundamental, dado que a relação eficiência-custo assume cada vez mais um papel decisivo para a maioria da população.

Bibliografia

- [1] BP. Bp energy outlook 2030. *Energy*, 1, 2011.
- [2] European Commission. Eurostat, Junho 2012.
- [3] Ad hoc Industrial Advisory Group. Energy-efficient buildings ppp multi-annual road-map and longer term strategy. *Energy*, EUR 24283:52, 2010.
- [4] ICP DAS. Zigbee introduction, Junho 2012.
- [5] Nokia. Bluetooth protocol, Junho 2012.
- [6] Maxdetect. Rht03. Datasheet.
- [7] D. THOMAZINI and P.U.B. DE ALBUQUERQUE. *SENSORES INDUSTRIAIS - FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES*. ERICA, 2005.
- [8] Microchip. Pic16f877a, Outubro, 2003. Datasheet.
- [9] Luis Pérez-Lombard, José Ortiz, and Christine Pout. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3):394 – 398, 2008.
- [10] Aníbal de Almeida, Paula Fonseca, Barbara Schlomann, and Nicolai Feilberg. Characterization of the household electricity consumption in the eu, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings*, 43(8):1884 – 1894, 2011.
- [11] Vallery Hall, E. Ross Deter, and Kent Smith. *Building energy efficiency*. DIANE Publishing, 1995.
- [12] D. Gislason. *ZigBee Wireless Networking*. IT Pro. Elsevier, 2008.
- [13] Zhenyu Zou, Ke-Jun Li, Ruzhen Li, and Shaofeng Wu. Smart home system based on ipv6 and zigbee technology. *Procedia Engineering*, 15:1529 – 1533, 2011.
- [14] Panayiotis Andreou, Demetrios Zeinalipour-Yazti, Andreas Pamboris, Panos K. Chrysanthis, and George Samaras. Optimized query routing trees for wireless sensor networks. *Inf. Syst.*, pages 267–291, 2011.
- [15] Luís Carlos Teixeira Vaz. Supervisão e controlo remoto na iluminação na via pública. Master’s thesis, Universidade de Aveiro, 2012.
- [16] Bluetooth SIG. Fast facts, Junho 2012.

- [17] H.H. Chen. *The Next Generation CDMA Technologies*. IEEE journal on selected areas in communications. John Wiley, 2007.
- [18] Bluetooth SIG. How technology works - radio, Junho 2012.
- [19] C.K. Toh. *Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems*. Prentice Hall PTR, 2002.
- [20] Bluetooth SIG. Core specifications, june 2012.
- [21] Wi-Fi Alliance. Discover and learn, Julho 2012.
- [22] Wi-Fi Alliance. Glossary, Junho 2012.
- [23] P. Chandra. *Wireless Security*. Know It All. Newnes/Elsevier, 2009.
- [24] Wi-Fi Alliance. Wi-fi certified wi-fi protected setup tm. 2010.
- [25] D.A.G.A.P. Godse. *Microcontrollers*. Technical Publications, 2009.
- [26] Aruk K. Ghosh. *Introduction to Measurements and Instrumentation*. Prentice-Hall Of India Pvt. Ltd.
- [27] O. Gonzalez and A.M. Stuart. *A First Course in Continuum Mechanics*. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2008.
- [28] A. Kent. *Experimental Low Temperature Physics*. MacMillan Physical Science. American Institute of Physics, 1993.
- [29] F. Nicol and M. Humphreys. *Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*. Chapman & Hall, 1995.
- [30] K. Krishnamurthy and K.K. S Vijayachitra. *Industrial Instrumentation*. New Age International (P) Limited, 2005.
- [31] Elektor, Janeiro 2008.
- [32] R. McDowall. *Fundamentals of HVAC Systems: SI Edition*. Elsevier Science & Technology, 2007.
- [33] W.T. Winberry. *Methods for Determination of Indoor Air Pollutants: Epa Methods*. Noyes Data Corporation, 1993.
- [34] K. Narisada and D. Schreuder. *Light Pollution Handbook*. Number vol. 322 in Astrophysics and Space Science Library. Springer, 2004.
- [35] K. Ramkumar. *Foundations Of Electronic Devices*. J. Wiley, 1990.
- [36] Usama M. Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth, and Ramasamy Uthurusamy. *Advances in knowledge discovery and data mining*. American Association for Artificial Intelligence, Menlo Park, CA, USA, 1996.
- [37] Ryszard S. Michalski, Ivan Bratko, and Avon Bratko. *Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1998.

- [38] S.S. Haykin. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall, 1999.
- [39] W.ĆodzisĆaw Duch and Norbert Jankowski. Survey of neural transfer functions. *Department of Computer Methods, Nicholas Copernicus University*, 2:163–197, 1999.
- [40] Arif Khan Pankaj Sahu. Data mining: Introduction, process, applications and survey report. *International Journal of Engineering Sciences*, 1:7, 2012.
- [41] World Commission on Environment and Development. Our common future. 1987.
- [42] J.C.I. Dooge, G.T. Goodman, J.W.M. Rivière, J. Marton-Lefèvre, and T. O’Riordan. *An Agenda of Science for Environment and Development into the 21st Century*. Cambridge University Press, 1992.
- [43] Andrew Kusiak Mingyang Li Haiyang Zheng. Virtual models of indoor-air-quality sensors. *Applied Energy*, 87:8, 2010.
- [44] MaxStream. Xbee - xbeepro oem modules, Outubro, 2005. Datasheet.
- [45] DIGI®. Digi® suport, Junho 2012.
- [46] DIGI®. Digi api frame maker, junho 2012.
- [47] ©Sharp. Ga1a2s100ss/ga1a2s100ly, Outubro, 2007. Datasheet.
- [48] LTD Hanwei Electronics CO. Mg-811. Datasheet.
- [49] N. Imanaka, M. Kamikawa, S. Tamura, and G. Adachi. Carbon dioxide gas sensing with the combination of trivalent sc_3^+ ion conducting $sc_2(wo_4)_3$ and o_2^- ion conducting stabilized zirconia solid electrolytes. *Solid State Ionics*, pages 280–285, 2000.
- [50] Texas Instruments. Lm6035, 2002. Datasheet.
- [51] José C. Príncipe, N.R. Euliano, and W.C. Lefebvre. *Neural and adaptive systems: fundamentals through simulations*. Wiley, 2000.
- [52] J.F. Kolen and S.C. Kremer. *A field guide to dynamical recurrent networks*. IEEE Press, 2001.
- [53] B. A. Pearlmutter. Gradient calculations for dynamic recurrent neural networks: A survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 6:1212–1228, 1995.
- [54] Y. Bengio, P. Simard, and P. Frasconi. Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2:157:166, 1994.
- [55] T. Lin, B. G. Horne, and C. L. Giles. How embedded memory in recurrent neural network architectures helps learning long-term temporal dependencies. *Neural Networks* 11, 4:860–870, 1998.
- [56] José Maria P. Júnior and Guilherme A. Barreto. Long-term time series prediction with the narx network: An empirical evaluation. *Elsevier Science*, 1:5–12, 2007.
- [57] EUGEN DIACONESCU. The use of narx neural networks to predict chaotic time series. *WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTER RESEARCH*, 3:182–191, 2008.

- [58] H. Yu and B. M. Wilamowski. Levenberg-marquardt training,. in *The Industrial Electronics Handbook*, 5:2011, 1-15.
- [59] Sumit Kumar Banchhor and Arif Khan. Musical instrument recognition using spectrogram and autocorrelation. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2:2231–2307, 2012.

Parte V

Apêndices

Apêndice A

Exemplo de dados recolhidos

Módulo 1

	Temp.	Hum.	Lum.	
1	16.2	51.9	0	Mon Oct 15 21:56:24 2012
2	16.0	52.2	0	Mon Oct 15 21:57:25 2012
3	15.8	53.2	0	Mon Oct 15 21:58:25 2012
4	15.7	53.9	0	Mon Oct 15 21:59:25 2012
5	15.6	54.2	0	Mon Oct 15 22:00:25 2012
6	15.4	54.6	0	Mon Oct 15 22:01:25 2012
7	15.3	55.1	0	Mon Oct 15 22:02:25 2012
8	15.2	55.5	0	Mon Oct 15 22:03:25 2012
9	15.1	56.0	0	Mon Oct 15 22:04:25 2012
10	15.0	56.1	0	Mon Oct 15 22:05:25 2012
11	14.9	56.4	0	Mon Oct 15 22:06:25 2012
12	14.8	56.9	0	Mon Oct 15 22:07:25 2012
13	14.7	57.3	0	Mon Oct 15 22:08:25 2012
14	14.6	57.6	0	Mon Oct 15 22:09:25 2012
15	14.5	58.0	0	Mon Oct 15 22:10:25 2012
16	14.4	58.2	0	Mon Oct 15 22:11:25 2012
17	14.4	58.4	0	Mon Oct 15 22:12:25 2012
18	14.3	58.6	0	Mon Oct 15 22:13:25 2012
19	14.3	59.1	0	Mon Oct 15 22:14:25 2012
20	14.2	59.2	0	Mon Oct 15 22:15:25 2012
21	14.2	59.2	0	Mon Oct 15 22:16:25 2012
22	14.2	59.2	0	Mon Oct 15 22:17:25 2012
23	14.1	59.3	0	Mon Oct 15 22:18:26 2012
24	14.1	59.5	0	Mon Oct 15 22:19:26 2012
25	14.0	59.6	0	Mon Oct 15 22:20:26 2012
26	14.0	59.9	0	Mon Oct 15 22:21:26 2012
27	13.9	60.1	0	Mon Oct 15 22:22:26 2012
28	13.9	60.1	0	Mon Oct 15 22:23:26 2012
29	13.9	60.2	0	Mon Oct 15 22:24:26 2012
30	13.9	60.2	0	Mon Oct 15 22:25:26 2012
31	13.9	60.3	0	Mon Oct 15 22:26:26 2012
32	13.8	60.7	0	Mon Oct 15 22:27:26 2012
33	13.7	61.0	0	Mon Oct 15 22:28:26 2012
34	13.7	61.2	0	Mon Oct 15 22:29:26 2012
35	13.6	61.2	0	Mon Oct 15 22:30:26 2012
36	13.6	61.7	0	Mon Oct 15 22:31:26 2012
37	13.6	61.8	0	Mon Oct 15 22:32:26 2012
38	13.6	62.0	0	Mon Oct 15 22:33:26 2012
39	13.5	62.0	0	Mon Oct 15 22:34:26 2012
40	13.5	62.1	0	Mon Oct 15 22:35:26 2012
41	13.4	62.1	0	Mon Oct 15 22:36:26 2012
42	13.4	62.2	0	Mon Oct 15 22:37:26 2012
43	13.3	62.5	0	Mon Oct 15 22:38:26 2012
44	13.3	62.7	0	Mon Oct 15 22:39:27 2012
45	13.3	62.8	0	Mon Oct 15 22:40:27 2012
46	13.2	62.8	0	Mon Oct 15 22:41:27 2012
47	13.2	63.0	0	Mon Oct 15 22:42:27 2012
48	13.1	63.2	0	Mon Oct 15 22:43:27 2012
49	13.1	63.6	0	Mon Oct 15 22:44:27 2012
50	13.1	63.7	0	Mon Oct 15 22:45:27 2012
51	13.1	63.6	0	Mon Oct 15 22:46:27 2012
52	13.1	63.5	0	Mon Oct 15 22:47:27 2012
53	13.1	63.5	0	Mon Oct 15 22:48:27 2012
54	13.0	63.4	0	Mon Oct 15 22:49:27 2012
55	13.0	63.5	0	Mon Oct 15 22:50:27 2012
56	13.0	63.6	0	Mon Oct 15 22:51:27 2012
57	13.1	63.6	0	Mon Oct 15 22:52:27 2012
58	13.0	63.5	0	Mon Oct 15 22:53:27 2012
59	13.1	63.5	0	Mon Oct 15 22:54:27 2012
60	13.0	63.4	0	Mon Oct 15 22:55:27 2012

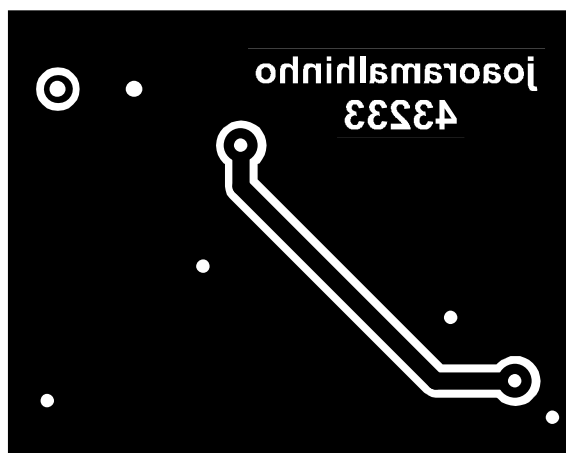
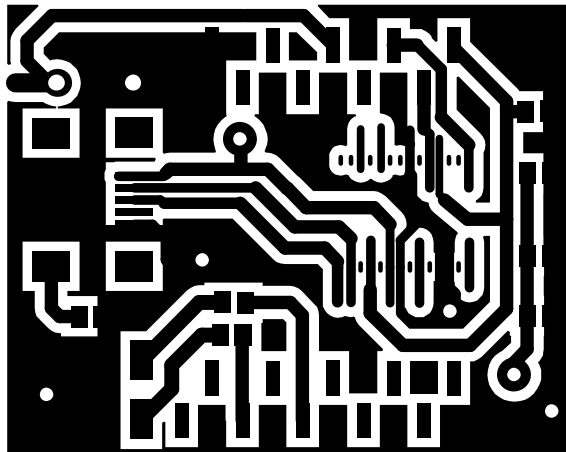
Módulo 2

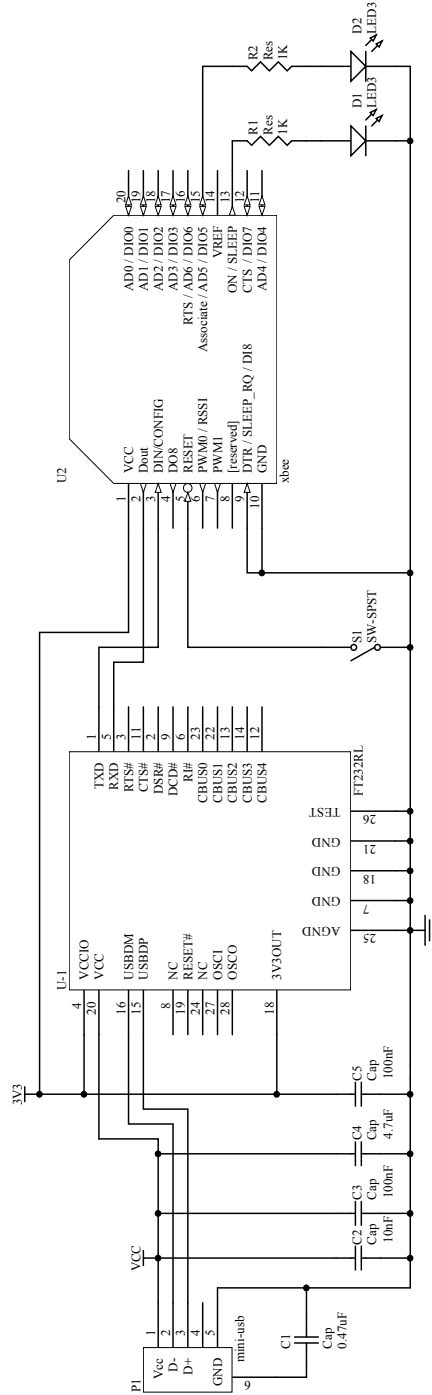
	Temp.	Hum.	Lum.	
1	22.40	48.10	0	Mon Oct 15 21:56:55 2012
2	22.40	48.10	0	Mon Oct 15 21:56:55 2012
3	22.40	48.20	0	Mon Oct 15 21:57:55 2012
4	22.40	48.20	0	Mon Oct 15 21:58:55 2012
5	22.50	48.20	0	Mon Oct 15 21:59:55 2012
6	22.50	48.10	0	Mon Oct 15 22:00:55 2012
7	22.40	48.10	0	Mon Oct 15 22:01:55 2012
8	22.40	48.40	0	Mon Oct 15 22:02:55 2012
9	22.40	48.50	0	Mon Oct 15 22:03:55 2012
10	22.30	48.60	0	Mon Oct 15 22:04:55 2012
11	22.30	48.80	0	Mon Oct 15 22:05:55 2012
12	22.40	48.70	0	Mon Oct 15 22:06:55 2012
13	22.30	48.70	0	Mon Oct 15 22:07:55 2012
14	22.40	48.80	0	Mon Oct 15 22:08:55 2012
15	22.30	48.80	0	Mon Oct 15 22:09:55 2012
16	22.30	48.90	0	Mon Oct 15 22:10:55 2012
17	22.30	49.00	0	Mon Oct 15 22:11:56 2012
18	22.30	49.10	0	Mon Oct 15 22:12:56 2012
19	22.30	49.10	0	Mon Oct 15 22:13:56 2012
20	22.40	48.80	0	Mon Oct 15 22:14:56 2012
21	22.40	48.90	0	Mon Oct 15 22:15:56 2012
22	22.40	48.90	0	Mon Oct 15 22:16:56 2012
23	22.40	49.00	0	Mon Oct 15 22:17:56 2012
24	22.40	49.00	0	Mon Oct 15 22:18:56 2012
25	22.40	49.10	0	Mon Oct 15 22:19:56 2012
26	22.40	49.10	0	Mon Oct 15 22:20:56 2012
27	22.30	49.20	0	Mon Oct 15 22:21:56 2012
28	22.30	49.30	0	Mon Oct 15 22:22:56 2012
29	22.30	49.50	0	Mon Oct 15 22:23:56 2012
30	22.30	49.50	0	Mon Oct 15 22:24:56 2012
31	22.30	49.30	0	Mon Oct 15 22:25:56 2012
32	22.30	49.10	0	Mon Oct 15 22:26:56 2012
33	22.30	48.90	0	Mon Oct 15 22:27:56 2012
34	22.30	49.00	0	Mon Oct 15 22:28:56 2012
35	22.30	49.20	0	Mon Oct 15 22:29:56 2012
36	22.30	48.90	0	Mon Oct 15 22:30:56 2012
37	22.20	48.80	0	Mon Oct 15 22:31:57 2012
38	22.20	48.80	0	Mon Oct 15 22:32:57 2012
39	22.20	48.70	0	Mon Oct 15 22:33:57 2012
40	22.10	48.80	0	Mon Oct 15 22:34:57 2012
41	22.00	48.90	0	Mon Oct 15 22:35:57 2012
42	22.00	48.90	0	Mon Oct 15 22:36:57 2012
43	22.00	49.00	0	Mon Oct 15 22:37:57 2012
44	21.90	49.00	0	Mon Oct 15 22:38:57 2012
45	21.90	49.10	0	Mon Oct 15 22:39:57 2012
46	21.80	49.00	0	Mon Oct 15 22:40:57 2012
47	21.80	49.00	0	Mon Oct 15 22:41:57 2012
48	21.80	49.10	0	Mon Oct 15 22:42:57 2012
49	21.80	49.10	0	Mon Oct 15 22:43:57 2012
50	21.80	49.20	0	Mon Oct 15 22:44:57 2012
51	21.70	49.20	0	Mon Oct 15 22:45:57 2012
52	21.70	49.20	0	Mon Oct 15 22:46:57 2012
53	21.70	49.20	0	Mon Oct 15 22:47:57 2012
54	21.70	49.30	0	Mon Oct 15 22:48:57 2012
55	21.70	49.40	0	Mon Oct 15 22:49:57 2012
56	21.70	49.40	0	Mon Oct 15 22:50:57 2012
57	21.60	49.30	0	Mon Oct 15 22:51:58 2012
58	21.60	49.40	0	Mon Oct 15 22:52:58 2012
59	21.60	49.40	0	Mon Oct 15 22:53:58 2012
60	21.60	49.40	0	Mon Oct 15 22:54:58 2012

Apêndice B

Layout e esquemático PCB Conversor USB-xbee

Layout PCB Conversor USB-xbee, ampliado a 2x.





Apêndice C

Layout e esquemático PCB módulos de recolha de dados

Layout PCB módulos de recolha de dados, escala real.

