



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Módulo de Comunicação para *Smart Meters*

David Marques Varandas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electromecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano
Coorientador: Prof. Doutor José Álvaro Nunes Pombo

Covilhã, fevereiro de 2019

Dedicatória

*Aos meus pais e aos meus irmãos
pelo apoio dado para a conclusão desta etapa.*

Agradecimentos

Ao longo desta longa e exaustiva caminhada, houve muitas complicações, mas tive muitas pessoas que me ajudaram a continuar e concluir esta etapa.

Nesse sentido quero agradecer:

Ao meu orientador, Professor Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano, por me permitir a realização deste projeto e me receber de braços abertos, dando todo o apoio necessário.

Ao Engenheiro José Álvaro Nunes Pombo, por todo o apoio dado e tempo disponível para ajudar em situações mais complicadas. Sem ele teria sido muito mais difícil concluir esta dissertação.

A todos os elementos do laboratório, pelo apoio dado, disponibilidade e pelo bom ambiente criado no espaço de trabalho.

Aos meus pais, por todo o esforço e apoio, apesar de todos os obstáculos que foram aparecendo.

Aos meus irmãos, pela paciência e apoio que foram dando ao longo desta etapa.

À Carolina, por todo o amor, preocupação e paciência.

Aos meus amigos da Covilhã, por me aturarem quando as dificuldades apareciam e me darem sugestões para resolver a situação.

Resumo

Atualmente, existe uma enorme preocupação em colmatar a necessidade crescente de energia elétrica a nível mundial e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental provocado pela inevitabilidade do uso de combustíveis fósseis na sua produção. Este tipo de produção de energia elétrica tem vindo a decrescer, devido a uma grande aposta nas energias renováveis.

Cada vez mais, são desenvolvidas estratégias para reduzir os custos relacionados com o consumo da energia elétrica, que passa inevitavelmente por uma maior consciencialização dos consumidores para uma utilização mais sensata e eficiente da energia elétrica. Com a evolução tecnológica foram introduzidas múltiplas opções para realizar uma partilha de informação com o consumidor, rápida e simples, aos seus consumos e a implicação dos seus hábitos na sua fatura mensal.

Por outro lado, é do interesse dos Operadores de Rede de Distribuição (ORDs) desenvolver estratégias que permitam determinar o perfil de consumo dos seus clientes, promovendo uma maior eficiência energética, qualidade no serviço prestado e aumento da posição competitiva.

Os ORDs são os responsáveis pela implementação de sistemas de medida , *smart meters* (contadores inteligentes), responsáveis pelas leituras da energia consumida e partilha de informação com capacidade de transmissão através das tecnologias sem fios.

É nesse sentido, de proporcionar uma participação mais ativa dos consumidores e, ao mesmo tempo, promover a eficiência energética que surge esta dissertação. Esta dissertação apresenta um módulo de comunicação para *smart meters*, que possibilita ao consumidor interagir com o seu contador inteligente, através da tecnologia de comunicação Wi-Fi, permitindo o acesso a todos os seus consumos energéticos. Além disso, este módulo de comunicação permite aos ORDs um acesso remoto aos contadores inteligentes, por intermédio da tecnologia de comunicação *Internet of Things* (IoT).

Palavras-chave: *Sistemas de medida; Smart meters; Protocolos de Comunicação sem fios; Smart Cities; IoT; Wi-fi;*

Abstract

Actually, there is a great concern to fill the growing need for electricity worldwide, such as reducing the environmental impact caused by the unavoidable use of fossil fuels for the generation of this same energy. However, this type of electric energy production has been decreasing, due to a strong bet on renewable energies.

Increasingly, strategies are being developed to reduce costs related to the consumption of electricity, which inevitably leads to greater consumer awareness for a more sensible and efficient use of electricity. With the technological evolution were introduced multiple options to make a quick and simple information sharing with consumers, of their consumption and the implication of their habits in their monthly bill.

On the other hand, it is in the interest of Distribution Network Operators (ORDs) to develop strategies to determine the consumption profile of its customers, promoting greater energy efficiency, quality of service and increased competitive position.

The ORDs are responsible for the implementation of measurement systems, smart meters, responsible for reading the energy consumed and sharing information with the ability to transmit through wireless technologies.

It is in that meaning, to provide a more active participation of consumers and, at the same time, to promote the energy efficiency that emerges this dissertation. This dissertation presents a communication module for smart meters, which allows consumers to interact with their smart meter through Wi-Fi communication technology, allowing access to all their energy consumption. In addition, this communication module allows ORDs to remotely access smart meters through Internet of Things (IoT) communication technology.

Keywords: Measuring Systems; *Smart meters*; *Communication Protocols*; *Smart Cities*; *IoT*; *Wi-fi*;

Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras.....	xvii
Lista de Acrónimos.....	xix
Capítulo 1	1
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Aplicações relacionadas com a Engenharia	4
1.2.1. Smart cities.....	4
1.2.2. Smart grid.....	5
1.2.3. Smart Agriculture.....	5
1.2.4. Smart transportation.....	6
1.2.5. Smart homes.....	6
1.2.6. Smart parking	6
1.2.7. Healthcare	7
1.2.8. Indústria 4.0	7
1.3. Motivação e Objetivos	8
1.4. Organização da Dissertação.....	9
Capítulo 2	11
2. Topologias de rede e Protocolos de Comunicação sem fios	11
2.1. Topologias de rede	11
2.1.1. Estrela (Star)	12
2.1.2. Malha (Mesh)	12
2.1.3. Árvore (Cluster Tree)	12

2.2.	RFID	13
2.3.	Bluetooth	13
2.4.	Zigbee	14
2.5.	Z-Wave	14
2.6.	Wi-fi.....	14
2.7.	Internet of Things	15
2.8.	LoRaWAN.....	17
2.8.1.	Classes de dispositivos LoRaWAN	17
2.9.	Sigfox	18
Capítulo 3	23
3.	Energia Elétrica.....	23
3.1.	Contadores.....	27
3.1.1.	Contadores Eletromecânicos	27
3.1.2.	Híbridos	29
3.1.3.	Estáticos	30
3.1.4.	<i>Smart meter</i>	30
3.2.	Projecto Inovgrid	35
Capítulo 4	39
4.	Descrição do Protótipo	39
4.1.	Descrição do <i>Hardware</i>	39
4.1.1.	Unidade de Alimentação	41
4.1.2.	Unidade Central de Processamento	42
4.1.3.	Unidade de Comunicação com o <i>smart meter</i>	43
4.1.4.	Unidade de Comunicação NAN	44
4.1.5.	Unidade de Comunicação HAN	44
4.2.	Descrição do <i>Software</i>	45
4.2.1.	Exemplos de Tramas	47
Capítulo 5	49
5.	Conclusão.....	49

5.1. Considerações Finais	49
5.2. Trabalhos Futuros	50
Referências Bibliográficas	51
Anexo	55

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Tecnologias e principais aplicações da LPWAN.	3
Tabela 2.1: Principais características da tecnologia Sigfox (adaptado de [23]).	19
Tabela 3.1: Fatores impulsionadores das smart grids (adaptado de [28]).	23
Tabela 3.2: Constituição das redes de distribuição (adaptado de [29]).	24
Tabela 3.3: Tipos de contadores, Características e Funcionalidades da EDP-D (adaptado de [30])	25
Tabela 3.4: Tipos de contadores, Características e Funcionalidades da EEM (adaptado de [30]). .	25
Tabela 3.5: Comparação de características de <i>smart meters</i> (adaptado de [37]).	32
Tabela 3.6: Principais benefícios no setor elétrico.	36
Tabela 4.1: Consumos das diversas unidades nos diferentes estados de operação.	42

Lista de Figuras

Figura 1.1: Tecnologias integrantes da LPWAN.....	3
Figura 1.2: Aplicações da IoT.....	5
Figura 2.1: Arquitetura de topologia em estrela.....	12
Figura 2.2: Arquitetura de topologia em malha.....	12
Figura 2.3: Arquitetura de topologia em árvore.....	13
Figura 2.4: Definição da IoT (adaptado de [20]).....	15
Figura 2.5: Tecnologias Wireless (adaptado de[22]).....	16
Figura 2.6: Comparação das classes LoRaWAN (adaptado de [24]).....	17
Figura 2.7: Exemplo de topologia em estrela de uma rede LoRaWAN (retirado de [25]).....	18
Figura 2.8: Funcionamento de uma rede Sigfox.....	21
Figura 2.9: Pilha protocolar Sigfox.....	22
Figura 3.1: Número de clientes e consumo anual por escalão de potência contratada em BTN(adaptado de [30]).....	26
Figura 3.2: Esquema de um aparelho eletromecânico.....	28
Figura 3.3: Interação entre as correntes de Foucault e os campos magnéticos durante quatro períodos de tempo no caso de uma carga resistiva.....	29
Figura 3.4: Arquitetura de medição de um contador convencional(adaptado de [36]).....	30
Figura 3.5: Arquitetura de medição de um smart meter(adaptado de [36]).....	31
Figura 4.1: Representação das diversas unidades que constituem o protótipo.....	40
Figura 4.2: Imagem representativa da parte superior do protótipo.....	40
Figura 4.3: Imagem representativa da parte inferior do protótipo.....	41
Figura 4.4: Esquemático da unidade de alimentação.....	41
Figura 4.5: Esquemático da unidade central de processamento.....	43
Figura 4.6: Esquemático da unidade de comunicação com o smart meter.....	44
Figura 4.7: Esquemático da unidade de comunicação NAN.....	44
Figura 4.8: Esquemático da unidade de comunicação HAN.....	45
Figura 4.9: Sub-rotinas do <i>Software</i>	46
Figura 4.10: Formato de uma trama uplink Sigfox.....	47
Figura 4.11: Formato de uma trama downlink Sigfox.....	47
Figura 4.12: Formato de uma trama Modbus.....	48
Figura 4.13: Formato de uma trama Wi-Fi.....	48

Lista de Acrónimos

AIDC - Automatic Identification and Data Capture

AP - Access Point

API - Application Programming Interface

ARIB - Association of Radio Industries and Businesses

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BLE - Bluetooth Low Energy

BTN - Baixa Tensão Normal

BTE - Baixa Tensão Especial

CRC - Cyclic Redundancy Check

D-BPSK - Differential Binary Phase-Shift Keying

EB - Estação Base

EDA - Eletricidade dos Açores

EDP-D - Energias de Portugal Distribuição

EEM - Empresa de Electricidade da Madeira

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

FCC - Federal Communications Commission

GFSK - Gaussian Frequency Shift Keying

GPRS - General Packet Radio Service

HAN - Home Area Network

I²C - Inter Integrated Circuit

IoT - Internet of Things

ISM - Industrial, Scientific and Medical

ITU - União Internacional de Telecomunicações

LoRaWAN - Long Range Wide Area Network

LPWAN - Low Power Wide Area Network

M2M - Machine-to-Machine

MAC - Media Access Control

MIT - Instituto de Tecnologia de Massachusetts

NAN - Neighborhood Area Network

NFC - Near Field Communication

ORD - Operador da Rede de Distribuição

PA - Agricultura de Precisão

PLC - Power Line Communication

RAM - Random Access Memory

RFTDMA - Random Frequency and Time Division Multiple Access

ROM - Read-Only Memory

RS232 - Recommended Standard 232

SPI - Serial Peripheral Interface

TI - Texas Instrument

UHF - Ultra High Frequency

UNB - Ultra-Narrow Band

Wi-Fi - Wireless Fidelity

WLAN - Wireless Local Area Network

WNAN - Wireless Neighborhood Area Network

WPAN - Wireless Personal Area Network

WSN - Wireless Sensor Network

WWAN - Wireless Wide Area Network

Capítulo 1

Neste capítulo é apresentado o enquadramento do tema da dissertação, a motivação que levou à escolha do tema, os objetivos da dissertação e a organização desta dissertação.

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Um dos grandes desafios deste século consiste na transição para um futuro de energia elétrica sustentável, proveniente de fontes renováveis. Essa sustentabilidade exigirá mudanças, não apenas no modo como a energia elétrica é produzida e distribuída, mas também no modo como é utilizada.

A solução para este paradigma passa, inevitavelmente, por uma maior consciencialização do consumidor e das implicações dos seus hábitos de consumo. Para tal, é fundamental desenvolver soluções que permitam ao consumidor o acesso imediato e de forma simplificada, aos seus consumos e ao impacto dos seus hábitos na fatura mensal. Nesse sentido, os avanços tecnológicos abriram um leque de opções para uma partilha de informação e um contacto com o consumidor mais eficiente e rápido. Assim, cabe às empresas distribuidoras de energia elétrica promover soluções eficientes, cómodas e menos dispendiosas permitindo, com isto, incentivar um consumidor consciente e responsável.

Por outro lado, é do interesse das empresas distribuidoras de energia elétrica desenvolver mecanismos que permitam caracterizar o perfil energético dos seus consumidores, permitindo alcançar um conjunto alargado de benefícios na qualidade do serviço prestado. Além disso, a implementação de sistemas inteligentes de medida permite um aumento da posição competitiva, promover a eficiência energética e uma redução dos custos operacionais (por exemplo, custos de leitura dos contadores). Adicionalmente, sob outra perspetiva, contribui decisivamente para transformação da situação atual para redes elétricas inteligentes (*smartgrid*) e para uma maior e mais eficiente descentralização da produção de eletricidade, designadamente a partir de fontes renováveis.

Portanto, o desenvolvimento de mecanismos que permitam dotar os contadores de energia com capacidade de transmissão de informação através das tecnologias sem fios contribui, por um lado,

para uma participação mais ativa dos consumidores e, por outro lado, para uma maior eficiência, exploração e planejamento do sistema elétrico nacional.

Atualmente, a comunicação remota com os *smart meters* é feita através das tecnologias PLC (*Power Line Communication*) e GPRS (*General Packet Radio Service*) que oferecem um desempenho limitado e um custo elevado particularmente a tecnologia GPRS. Contudo, o surgimento e desenvolvimento da tecnologia de comunicação "*Internet of Things*" (IoT) vai impor um novo paradigma, proporcionando oportunidades de criar novos produtos e serviços. Os *smart meters* são dispositivos avançados de medição de energia elétrica que registam o consumo em determinados intervalos.

A tecnologia de comunicação IoT é uma tecnologia relativamente recente, que permite a comunicação sem fios, de mensagens curtas, a longas distâncias, podendo atingir entre 30 a 50 km. Em Portugal, existe uma rede de comunicação IoT já instalada e em operação, com a tecnologia *Sigfox*. Esta tecnologia usa uma modulação *Ultra-Narrow Band* (UNB), cuja gama de frequência de transmissão é entre 868 MHz e 915MHz. Apesar de operar nesta gama de frequências, apresenta consumos muito reduzidos comparativamente com as outras tecnologias de comunicação sem fios.

É neste contexto que surge esta dissertação que visa, por um lado, uma maior consciencialização dos consumidores na utilização da energia elétrica, permitindo a interação entre o *smart meter* e o consumidor, através da tecnologia de comunicação Wi-Fi. Por outro lado, alcançar uma maior eficiência no sistema elétrico nacional possibilitando o acesso remoto ao *smart meter*, através da tecnologia de comunicação IoT, pelo operador da rede de distribuição (ORD).

As tecnologias *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) surgem da necessidade de obter dados transmitidos por dispositivos que estão a uma determinada distância que apenas tecnologias como as redes móveis poderiam alcançar. No entanto, este serviço dependerá da disponibilidade de cobertura de uma operadora móvel, onde a economia de energia não é um ponto forte nas tecnologias de terminais móveis. Atualmente, algumas tecnologias emergem, oferecendo uma opção ao uso de redes móveis, sempre dentro de algum contexto, considerando a frequência de operação, taxa de dados, alcance final efetivo, economia de energia, entre outros.

Com a integração de meios de comunicação neste tipo de dispositivos é obrigatório garantir segurança para que nenhuma das informações sejam desviadas, alteradas ou perdidas. Existem diversos protocolos de comunicação que trazem segurança necessária para prevenir tudo isso, dependendo do alcance pretendido e da largura de banda. Nesta dissertação iremos direcionar mais para as LPWAN, que como o nome indica são dispositivos com um consumo reduzido que permitem a troca de informação.

Na figura 1.1 é possível observar todas as tecnologias de comunicação integradas nas LPWAN.

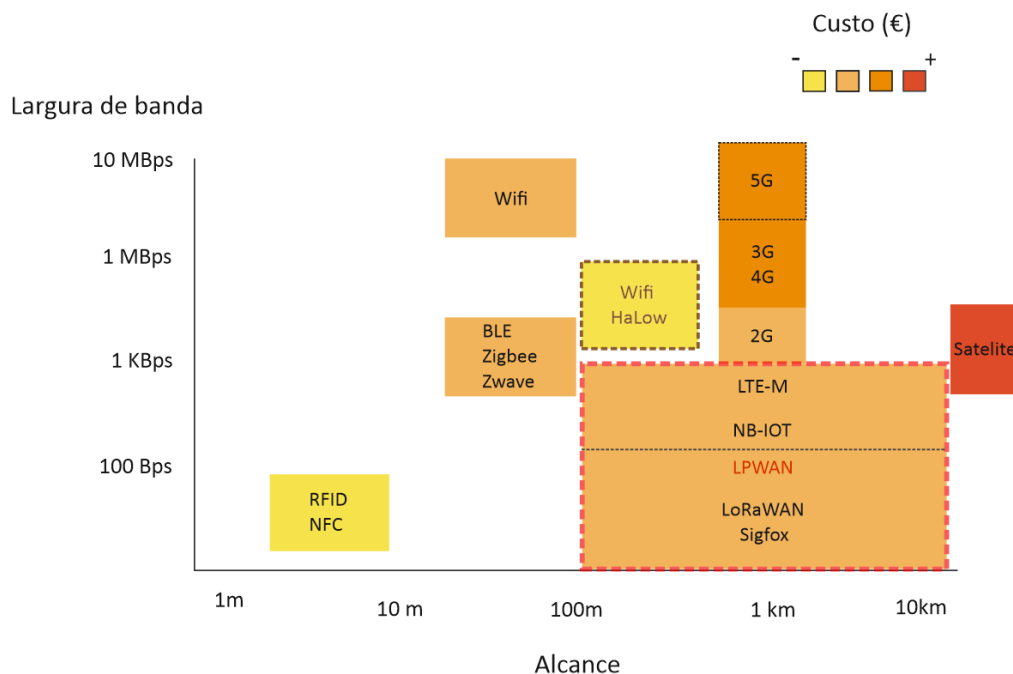


Figura 1.1: Tecnologias integrantes da LPWAN.

Através da análise da figura 1.1, são comparadas as diversas tecnologias que pertencem à LPWAN, tendo em conta o seu alcance, largura de banda e o seu custo. A tecnologia Wi-Fi *HaLow*, lançada em 2017, é uma versão melhorada da rede Wi-Fi trabalhando numa banda de 900 MHz com um consumo energético mais reduzido e um alcance mais elevado. Tem-se em destaque a comunicação via satélite, que apesar do seu longo alcance se torna a mais dispendiosa de todas. *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-Wave*, *2G*, *NB-IoT*, *LoRaWAN* e *Wi-Fi* são muito parecidas em termos de custo, permitindo assim diversas soluções dependendo do alcance e largura de banda pretendido. Estes protocolos serão apresentados mais detalhadamente no capítulo seguinte.

Na Tabela 1.1 são apresentadas as principais aplicações das tecnologias pertencentes à LPWAN.

Tabela 1.1: Tecnologias e principais aplicações da LPWAN.

Tecnologias	Principais aplicações
3G e 4G	Transmissão de dados e equipamentos
RFID e NFC	Aplicações industriais com alcance reduzido
Wi-Fi e <i>Bluetooth</i>	Aplicações para os consumidores
Satélite	Aplicações remotas

Após a análise da tabela 1.1, verifica-se que para a indústria são usadas tecnologias como o RFID ou NFC, sendo o 3G e 4G aplicados na transmissão de dados e em equipamentos.

O Wi-Fi e o *Bluetooth*, são as tecnologias mais utilizadas devido ao seu fácil acesso através das aplicações para o consumidor, por exemplo, smartphones e computadores. Ficando o satélite para aplicações mais remotas.

1.2. Aplicações relacionadas com a Engenharia

A IoT, tem estado em grande destaque sendo proclamada como a tecnologia do futuro, consegue ser integrada em inúmeras áreas e dispositivos visando interligar tudo numa só rede.

O desenvolvimento desta tecnologia permanece em constante ascensão, fazendo com que inúmeros dispositivos já tenham adaptado a IoT e que o envolvimento na área de engenharia dê origem a diversas soluções em termos de comunicação. Com o auxílio desta junção de tecnologia e conhecimento, por parte da engenharia, foram introduzidos novos dispositivos e cidades inteligentes (*smart cities*).

A seguir serão brevemente descritas e apresentadas algumas áreas onde, o envolvimento desta tecnologia associadas à engenharia, foram postas em prática.

1.2.1. Smart cities

A IoT é uma tecnologia que irá influenciar muito no desenvolvimento das *smart cities*, pois dispositivos como sensores e atuadores poderão possuir um meio de comunicação para enviar ou receber ordens, dados e alertas, tornando as tarefas mais fáceis e viáveis de realizar. Os sensores são usados para deteção em tempo real e monitorização das operações, em diversos cenários. Está previsto que, num futuro próximo, dispositivos, máquinas e objetos terão a capacidade de detetar, comunicar e processar informações de forma autónoma. No entanto, é um desafio projetar uma estrutura totalmente otimizada devido às soluções não serem suficientemente eficientes em termos energéticos e favoráveis do ponto de vista ambiental.

Como já foi sublinhado, os rápidos avanços tecnológicos estão a impulsionar a implementação generalizada de dispositivos de IoT em várias áreas de aplicação, incluindo meio ambiente, saúde, transporte, edifícios inteligentes e redes inteligentes. Alguns exemplos de dispositivos inteligentes são considerados na Figura 1.2.

Internet of Things Uses By Industry



Figura 1.2: Aplicações da IoT.

Este conceito não é apenas uma conexão entre vizinhos, mas também a extensão e o desenvolvimento de uma cidade inteligente que possa monitorizar e controlar todas as atividades desta cidade.

1.2.2. Smart grid

Com o propósito de diminuir o consumo de energia foram criadas redes inteligentes (*smart grids*) que se referem a um sistema que engloba dispositivos inteligentes de distribuição de eletricidade, comunicação bidirecional, sensores avançados, medição automatizada e sistemas especializados de computador para melhorar o desempenho, aumentar a consciência do cliente e as suas escolhas, incentivar uma maior eficiência nas decisões do cliente e do provedor de serviços públicos [1]. Estas oferecem um sistema de energia mais eficiente, seguro e favorável ao ambiente.

Estas redes inteligentes têm a capacidade de analisar, reagir e identificar mais rapidamente as principais falhas de uma maneira mais inteligente. Além disso, condições defeituosas e situações de *blackout* podem ser facilmente identificadas e mais rapidamente resolvidas graças a este tipo de rede.

1.2.3. Smart Agriculture

As WSN (*Wireless Sensor Network*) tradicionais evoluíram e adotaram padrões mais genéricos em termos de comunicação, permitindo acesso remoto à Internet e implementando algoritmos inteligentes para um processamento dos dados recolhidos, com o objetivo de melhorar a monitorização e/ou controlo. Dispositivos versáteis, com alta capacidade computacional, fator de forma muito conveniente e baixo custo, podem hoje em dia ser usados em baterias e operam por longos períodos [2].

Os avanços na tecnologia de sensores, juntamente com a miniaturização da eletrónica e a diminuição dos seus preços, contribuíram muito para a evolução. Esta tecnologia nos domínios da

Agricultura e a recente tendência da Agricultura de Precisão (PA) faz com estes sejam cada vez mais comuns. Para desempenhar estas funções são usados sensores climáticos, sensores de solo, sensores de radiação, estações meteorológicas (feitas de sensores) que fornecem um fluxo de dados, que são armazenados e usados para monitorização, conhecimento, raciocínio e controlo dos terrenos agrícolas. Além disso, nos últimos anos, há uma demanda crescente por produtos agrícolas de alta qualidade e seguros.

1.2.4. Smart transportation

A informação sobre o tráfego é a fonte mais importante, através deste tipo de fonte de dados e com a útil análise em tempo real, o cidadão e o governo podem obter vários benefícios [3]. Os cidadãos podem obter o destino com base na intensidade atual do tráfego e na velocidade média dos veículos. O tráfego pode ser diverso em todas as cidades e reduzirá o consumo de combustível, bem como diminuirá a poluição que ocorre devido aos engarrafamentos.

Tudo isto é obtido através de sensores que permitirão obter valores como número de veículos na estrada, localização de veículos e caso aconteça algum acidente, o sensor enviará um alerta para as autoridades.

A Audi tornou-se a primeira empresa a conseguir uma licença para condução autónoma no Nevada, sendo que a Google também seja um pioneiro nesta área. Além disso, em dezembro de 2013, a Volvo anunciou um carro autónomo que conseguiu circular cerca de 30 quilómetros em estradas movimentadas em Gotemburgo, na Suécia [4].

1.2.5. Smart homes

A tecnologia IoT faz com que existam casas e aparelhos inteligentes, incluindo televisões inteligentes, sistema de segurança residencial, controlo de iluminação e de temperatura e deteção de incêndio. Os sensores deste aparelho monitorizam as condições e enviam dados de vigilância para um controlador central em casa, que permite, continuamente, controlar a casa, mesmo de fora, e tomar a melhor decisão sob todas as circunstâncias. Da mesma forma, esses dados de vigilância ajudam a prever eventos futuros e a serem preparados com antecedência, tomando uma medida eficiente para evitar perda de conveniência, segurança, conforto e alto padrão de vida [5].

Além disso, as casas inteligentes do mesmo bairro podem ser conectadas através da *Neighborhood Area Network* (NAN) para formar uma comunidade inteligente, neste caso as casas podem compartilhar alguns dados de vigilância como a câmara externa para encontrar um acidente ou relatar eventos para a polícia.

1.2.6. Smart parking

É habitual na nossa vida que haja um dia em que somos confrontados com o problema do estacionamento e o stress que por ele é causado desnecessariamente, foi por isso que foram

também desenvolvidos estes *smart parkings* (Estacionamentos inteligentes). Alguns benefícios deste serviço são encontrar um estacionamento mais rápido, o que significa menos emissões de CO₂ dos automóveis, menor congestionamento de veículos e habitantes mais felizes [5]. Pode ser integrado em infraestruturas urbanas de IoT, assim, os dados dos estacionamentos inteligentes são capazes de gerar lucros para o dia a dia dos clientes e comerciantes nas cidades inteligentes.

Este serviço funciona com base em sensores de estrada e monitores inteligentes que levam os motoristas pelo melhor caminho para um estacionamento na cidade.

1.2.7. Healthcare

Neural Sensors

A IoT pode ser realmente benéfico para aplicações de saúde, hoje em dia, é possível entender sinais neuronais do cérebro, deduzir o seu estado e treiná-lo para uma melhor atenção e foco, isso é conhecido como *neurofeedback*. Os neurónios dentro do cérebro comunicam eletronicamente e criam um campo elétrico, que pode ser medido externamente através de frequências. As ondas cerebrais podem ser categorizadas em ondas alfa, beta, gama, teta e delta, dependendo da frequência. Com base no tipo de onda, pode se concluir se o cérebro está calmo ou distraído com pensamentos. Este tipo de *neurofeedback* pode ser obtido em tempo real e pode ser usado para treinar o cérebro a concentrar-se, prestar mais atenção às coisas, gerir o stress e ter um bem-estar mental [6].

Medical Sensors

Podemos usar sensores, que podem medir e monitorizar vários parâmetros médicos no corpo humano. Essas aplicações podem ter como objetivo monitorizar a saúde de um paciente quando não estão no hospital ou quando estão sozinhos, posteriormente, eles podem fornecer *feedback* em tempo real ao médico, familiares e/ou paciente. Existem muitos dispositivos disponíveis no mercado, estes são equipados com sensores que são capazes de medir parâmetros diferentes, como a frequência cardíaca, pulso, pressão arterial, temperatura corporal, taxa de respiração e níveis de glicose no sangue. Esses dispositivos incluem relógios inteligentes, pulseiras, adesivos e tecidos inteligentes [6].

1.2.8. Indústria 4.0

As empresas investem cada vez mais em ferramentas e soluções que permitem que os seus processos, máquinas, funcionários e até os próprios produtos sejam integrados numa única rede para a recolha e análise de dados, avaliação do desenvolvimento da empresa e melhoria do seu desempenho.

Para manter a competitividade, as empresas precisam de evoluir constantemente os seus sistemas de produção e adaptar-se à constante mudança dos mercados.

A quarta revolução industrial é baseada em dados e o seu principal objetivo é alcançar melhorias em termos de automação e eficiência operacional. Computadores, automação e robôs já existiam nas décadas anteriores, mas as oportunidades oferecidas pela Internet revolucionaram a sua utilização e as oportunidades por ela oferecida. As soluções são cada vez mais baratas e permitem monitorizar as atividades, operações e processos de máquinas, materiais, trabalhadores e até os próprios produtos, e recolher, analisar e utilizar dados em tomadas de decisões em tempo real [7].

O modo como podem ser reunidos, analisados e usados os dados para se desenvolver e tomar as decisões certas tornou-se um fator competitivo, por exemplo, no caso de uma falha, a própria máquina poderá indicar qual peça necessita de ser substituída, ou seja, como as empresas filtram as informações relevantes dos dados gerados para dar suporte à tomada de decisões.

A adaptação a estas tecnologias é essencial para o desenvolvimento de processos de fabricação mais inteligentes, que incluem dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos capazes de trocar informações de forma independente, desencadear ações e controlar uns aos outros.

1.3. Motivação e Objetivos

A elaboração desta dissertação tem dois argumentos como principal motivação. O primeiro argumento consiste no desenvolvimento de um módulo de comunicação através de redes sem fios utilizando uma tecnologia que irá ser predominante num futuro próximo, sendo esta a IoT. Nos próximos anos, espera-se a tecnologia imposta pela IoT seja aplicada não apenas no mercado consumidor, mas também nos setores produtivos, mudando drasticamente as indústrias, energia, automação, agricultura e outras aplicações industriais.

O segundo argumento baseia-se na participação no desafio da EDP “Communications module NB-IoT + Wi-Fi for smart meter”, que infelizmente não foi o projeto vencedor, mas uma das ideias finalistas como se pode ver no diploma afixado em anexo.

Tendo em conta que os contadores são dispositivos que fornecem informação relativa aos consumos dos seus utilizadores, foi pensado numa solução mais comoda e fácil, de fornecer todas as informações recolhidas. Esta solução passa na criação de um módulo de comunicação para contadores inteligentes, integrando diversos tipos de comunicação, tendo entre eles Wi-Fi e IoT que tornam disponível a troca de informação tanto a curto como a longo alcance.

1.4. Organização da Dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos, estando no presente capítulo 1 elaborada a introdução geral e apresentado o propósito. O capítulo 2 apresenta algumas topologias de rede e uma visão geral de protocolos de comunicação, sendo todos estes sem fios. O capítulo 3 faz uma abordagem ao setor da energia elétrica, apresentando uma pequena ideia dos contadores de energia e *smart meters* que são possíveis de encontrar atualmente, explicando o seu funcionamento. O capítulo 4 apresenta o módulo de comunicação desenvolvido exibindo e elucidando o *hardware* e o *software* que constituem o mesmo. O capítulo 5 conclui a dissertação. Em seguida é apresentada uma descrição mais detalhada de cada capítulo.

Capítulo 2

Neste capítulo serão apresentadas e explicadas algumas topologias de rede, assim como diversos protocolos de comunicação integrados nas redes sem fios. As topologias de rede terão relevância em relação aos protocolos referidos de seguida. Todos estes protocolos estão relacionados com a Figura 1.1 apresentada no capítulo anterior, em que foi feita uma pequena análise tendo em conta o seu custo, alcance e largura de banda. Por último, é realizada uma comparação entre duas das tecnologias apresentadas e em seguida feita uma escolha tendo em conta diversos critérios.

2. Topologias de rede e Protocolos de Comunicação sem fios

2.1. Topologias de rede

Uma topologia de rede é uma descrição geralmente esquemática do arranjo de uma rede, incluindo os seus nós e as suas linhas de conexão [8]. Existem diversos tipos de topologias de rede, mas serão apenas destacadas três sendo estas: estrela, malha e árvore. Todas são diferentes e compostas por nós, havendo apenas três tipos de nós:

Os nós *Coordinators* são responsáveis por iniciar a rede, escolher um canal apropriado e conectar todos os outros dispositivos à rede. Os *End Devices* e os *Routers* podem ser conectados diretamente com este dispositivo [9].

Os *Routers* fornecem a interface entre o *Coordinator* e os *End Devices*, mantendo sempre o registo das rotas usadas e retransmitindo a mensagem entre os outros dispositivos [9].

Os *End Devices* estão sempre localizados nas extremidades de uma rede. As suas principais tarefas são enviar e receber de mensagens. De destacar que estes não podem retransmitir mensagens nem podem permitir que outros nós se conectem à rede através do próprio *End Device* [9].

Todos estes serão apresentados nas figuras seguintes descrevendo cada tipo de topologia.

2.1.1. Estrela (Star)

O controlador central irá controlar tudo o que integrar esta rede, realizando comunicação direta com os outros dispositivos *Endpoint*. Toda a informação presente na rede terá obrigatoriamente de passar pelo nó *Coordinator* [8], estando demonstrado de forma simples na Figura 2.1.

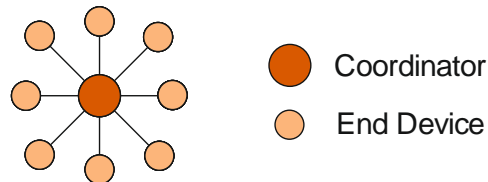


Figura 2.1: Arquitetura de topologia em estrela.

2.1.2. Malha (Mesh)

Numa topologia em malha os dispositivos (*Coordinator/Routers*) são livres de comunicar com outro dispositivo. Isto permite, quando necessária, a expansão física da rede (maior alcance) [10]. O *Coordinator* regista toda a entrada e saída de dispositivos, mas não assume um papel tão preponderante em termos de fluxo de informação como na configuração anterior como ilustrado na Figura 2.2.

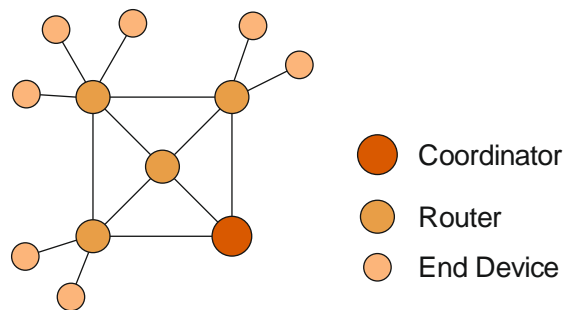


Figura 2.2: Arquitetura de topologia em malha.

2.1.3. Árvore (Cluster Tree)

Apesar de ter semelhanças com a topologia em malha, onde também são usados *Routers*. Esta topologia efetua a distribuição de dados e mensagens de controlo numa estrutura hierárquica, sendo o *Coordinator* o nó mais importante da rede [11]. Na Figura 2.3 é possível ver as diferenças referidas em relação à topologia anterior.

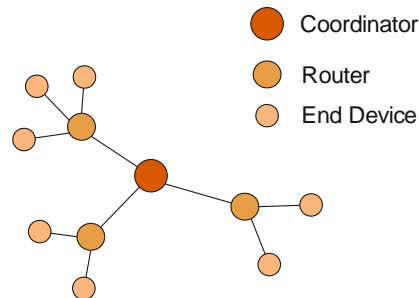


Figura 2.3: Arquitetura de topologia em árvore.

2.2. RFID

RFID é um dos métodos para identificação automática e captura de dados AIDC (*Automatic Identification and Data Capture*) [12]. As tecnologias tipicamente consideradas como parte do AIDC incluem códigos de barras, reconhecimento facial e de íris, faixas magnéticas, cartões inteligentes e reconhecimento de voz. Esta tecnologia é amplamente utilizada em produção, logística, defesa nacional, transporte e outros campos, possuindo vantagens como: tamanho reduzido, transporte fácil, baixo custo, longo tempo de vida, etc. Num sistema de RFID, as etiquetas RFID são afixadas nos objetos a serem identificados e monitorizados [13]. Os leitores de RFID comunicam com essas etiquetas e com o sistema de informações que utiliza as informações recebidas para o propósito desejado. Os leitores estão localizados em locais específicos para capturar os dados armazenados nas etiquetas ou são dispositivos móveis ou portáteis.

Esta tecnologia pode ser usada em diversas áreas como: transportes, identificação de animais, desporto, comércio, passaportes, etc.

2.3. Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia sem fio para troca de dados em curtas distâncias e usa ondas de rádio UHF (*Ultra High Frequency*) na faixa ISM de 2,4 a 2,485 GHz.

O seu alcance efetivo de operação entre dois dispositivos Bluetooth está compreendido entre 10 e 100 metros. No entanto, esse intervalo pode ser aumentado usando uma antena direcional e um amplificador de sinal [14].

Existem basicamente dois tipos de dispositivos *Bluetooth*: O primeiro é um dispositivo *Bluetooth* Clássico e o segundo é um dispositivo Bluetooth de Baixa Energia (BLE - *Bluetooth Low Energy*). Estes dois tipos de dispositivos têm arquiteturas diferentes e não podem comunicar entre si, para superar esse problema foi introduzido um modo dual que permite a comunicação entre os dois tipos de dispositivos Bluetooth.

2.4. Zigbee

O *Zigbee* suporta diferentes configurações de rede, permitindo comunicações de mestre para mestre ou mestre para escravo(*slave*). Pode ser operado diversos modos diferentes, originando assim uma poupança de energia da bateria. As redes *Zigbee* são extensíveis com o uso de routers e permitindo aos nós criar uma ligação entre si para tornar a rede mais ampla em termos de área.

A rede *ZigBee* pode ter até 653356 dispositivos ligados e usa a frequência de rádio industriais, científicas e médicas (ISM), a 868 MHz na Europa, a 915 MHz nos EUA e Austrália, e de 2,4 GHz mundialmente [15].

As suas áreas de aplicação são diversas e geralmente são usadas em: Domótica, iluminação inteligente, controlo de temperatura e segurança.

Modo de operação da rede

No modo *beaconing*, os nós *Routers* transmitem *beacons* (sinalização periódica) a confirmar a sua presença aos outros nós da mesma rede, sendo que os restantes nós só necessitam de estar ativos nesse mesmo momento. Isto permite mantê-los no modo *sleep* entre sinalizações, tendo como enorme vantagem o menor de consumo energético (diminuem o seu *duty cycle* e, conseqüentemente, prolongam a autonomia da bateria a que possam estar ligados. No entanto, há que ter em conta que a operação com *duty cycle* reduzido (associada a intervalos prolongados entre *beacons*) requer uma temporização de elevada precisão, o que pode colidir com o interesse em produzir um dispositivo de baixo custo [16].

No modo *non-beaconing*, a maioria dos dispositivos mantém os seus recetores permanentemente ativos, sendo o consumo energético mais significativo [16].

2.5. Z-Wave

O *Z-Wave* é um protocolo sem fio, em malha, desenvolvido pela *Zensys* e confirmado pela *Z-Wave Alliance* para aparelhos de automação para casas e ambientes comerciais, pode executar diversos dispositivos elétricos da casa, como ligar / desligar luzes, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), televisões e sistemas de segurança [17]. *Z-Wave* distingue-se uma vez que permite uma transmissão segura de curtas mensagens da unidade de controlo, para um ou mais dispositivos da rede, com o mínimo de ruído possível.

2.6. Wi-fi

Wireless Fidelity (Wi-Fi) é o nome popular pelo qual é chamado o padrão Ethernet 802.11b sem fios para WLANs (*Wireless Local Area Network*) [18]. É amplamente utilizado em telefones móveis, casas inteligentes, automação e redes. É semelhante à rede Ethernet, tendo como diferença este não necessitar de fios para ser utilizado. A rede Wi-Fi opera normalmente com uma

frequência de 2,4 GHz ou 5 GHz, livre de licenças em todo o mundo. Comparado com o *Zigbee*, as principais vantagens do Wi-Fi são a sua velocidade rápida e alta flexibilidade. Por outro lado, ainda existem alguns desafios no uso do Wi-Fi em determinadas aplicações para as cidades inteligentes e a sua instalação é dispendiosa [19]. O Wi-Fi consome mais potência para facilitar a transmissão de alta taxa de dados. Além disso, o Wi-Fi usa a topologia em estrela.

2.7. Internet of Things

Não pode ser definido como uma única tecnologia, protocolo de comunicação, aplicação ou serviço. Sendo esta a principal razão da imprecisão em torno deste termo, uma consequência do próprio nome "*Internet of Things*", que sintaticamente é composto de dois termos. O primeiro empurra para uma visão da IoT voltada para a rede, enquanto o segundo move o foco para objetos genéricos a serem integrados numa estrutura em comum.

O termo *Internet of Things* (IoT) é agora cada vez mais utilizado, no entanto não existe uma definição ou entendimento comum do que realmente engloba a IoT. As origens do termo datam de mais de 15 anos e têm sido atribuídas ao trabalho dos Laboratórios de Auto-ID no *Instituto de Tecnologia de Massachusetts* (MIT) em infraestruturas de RFID.

De um modo geral, a IoT refere-se à ligação entre uma rede e objetos do quotidiano, que são frequentemente equipados com inteligência omnipresente. A IoT aumentará a presença da Internet integrando todos os objetos para interação através de sistemas embutidos, o que leva a uma distribuição rede de dispositivos que se comunicam com seres humanos, bem como outros dispositivos.

A União Internacional de Telecomunicações (ITU), por exemplo, agora define a IoT como "uma infraestrutura global para a Sociedade da Informação, permitindo informações de serviços avançados por interconexão (física e virtual), interoperáveis e tecnologias de comunicação ". Na Figura 2.4 é demonstrado de uma forma ilustrativa, a "definição" da IoT.

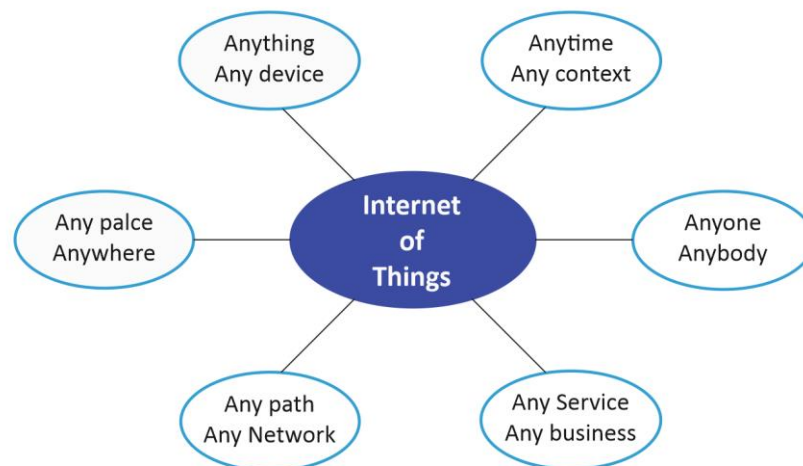


Figura 2.4: Definição da IoT (adaptado de [20]).

Os campos de aplicação das tecnologias IoT são tão numerosos como diversos, pois as soluções da IoT estão cada vez mais integradas em, praticamente, todas as áreas do dia a dia. As áreas de aplicação mais importantes incluem, por exemplo, a indústria, onde o desenvolvimento da produção inteligente, sistemas e locais de produção conectados é frequentemente discutido sob o título de Indústria 4.0. Na casa inteligente ou área de construção, termostatos inteligentes e sistemas de segurança estão a receber muita atenção, enquanto que as aplicações inteligentes de energia se concentram em medidores inteligentes de eletricidade, gás e água. Soluções de transporte inteligente inclui, por exemplo, rastreamento de veículos, enquanto que na área de saúde inteligente, tópicos como vigilância de pacientes e doenças crónicas estão a ser abordados. Projetos de cidades inteligentes, soluções como o monitorização em tempo real da disponibilidade de lugares de estacionamento e iluminação inteligente de ruas também estão a ser exploradas [21].

É ilustrado, na Figura 2.5, o alcance de todas as tecnologias *Wireless* disponíveis atualmente.

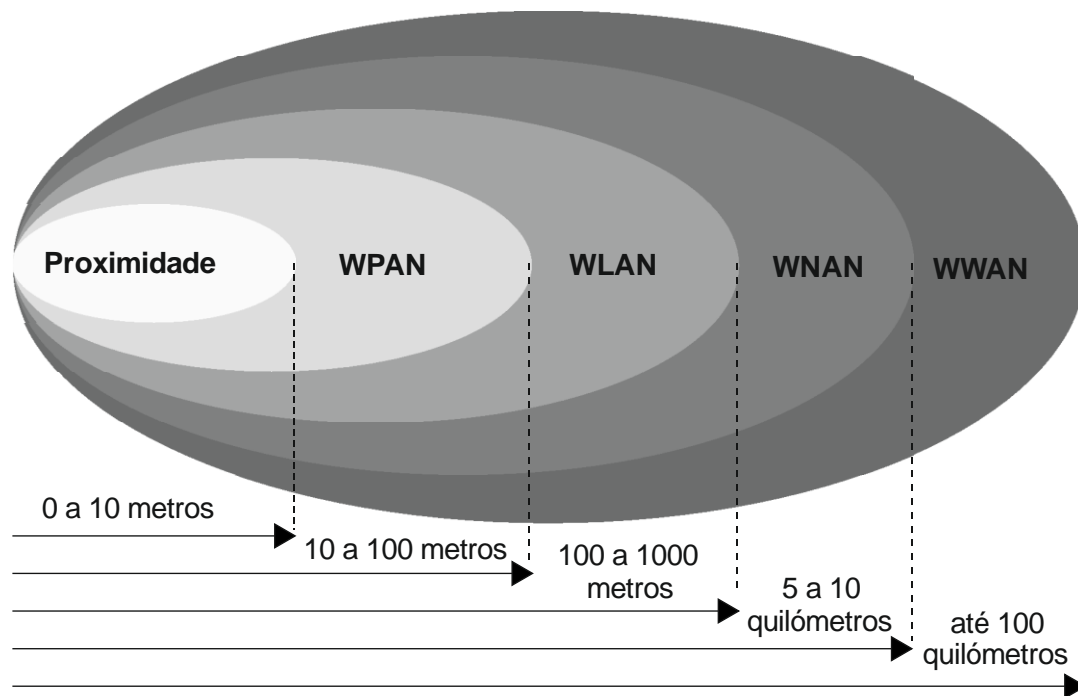


Figura 2.5: Tecnologias *Wireless* (adaptado de[22]).

Nas tecnologias de proximidade, ilustrado na Figura 2.5, entre 0 e os 10 metros, temos tecnologias como o RFID ou NFC devido ao seu alcance reduzido. Dos 10 aos 100 metros temos as *Wireless Personal Area Networks* (WPANs), onde se integra o *ZigBee*, BLE e *Z-Wave*, referidos anteriormente. Nas WLANs, de curto/médio alcance, podendo ir de 100 até 1000 metros está o protocolo de comunicação 802.11, mais conhecido como Wi-Fi. Com um alcance mais considerável (entre ,aproximadamente, 5 e 10 quilómetros), estão as *Wireless Neighborhood Area Networks*

(WNANs) que usam o novo protocolo de Internet IPv6. Para concluir, podendo ir até aos 100 quilómetros, estão as *Wireless Wide Area Networks* (WWANs) onde estão integradas as LPWANs, por exemplo, *SigFox* e *LoRaWAN*.

Como o futuro da *IoT* é promissor e as expectativas vão sendo cada vez maiores, existem desafios significativos que ainda precisam de ser resolvidos.

2.8. LoRaWAN

O Protocolo *LoRaWAN* (*Long Range Wide Area Network*) é uma tecnologia LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), promovida pela *LoRa Alliance* e composta por *IBM*, *Semtech* e *Actility*. Foi projetado para conectar "coisas" a redes sem fio (Internet) tendo um longo alcance e baixo consumo energético e para contribuir para o avanço das comunicações *IoT*, *M2M* (*Machine-to-Machine*) e ambientes inteligentes [23]. As comunicações *LoRaWAN* são organizadas como uma troca de mensagens entre dispositivos conectados à Internet, possuindo classes distintas para os dispositivos.

2.8.1. Classes de dispositivos LoRaWAN

A *LoRaWAN* diferencia três tipos de dispositivos finais para diferentes aplicações com requisitos distintos. Este protocolo prevê três classes de dispositivos para diferentes perfis de aplicação, oferecendo diversas soluções que variam a duração da bateria e latência no *downlink* como é demonstrado na Figura 2.6. As diferentes classes existentes são apresentadas e explicadas a seguir.

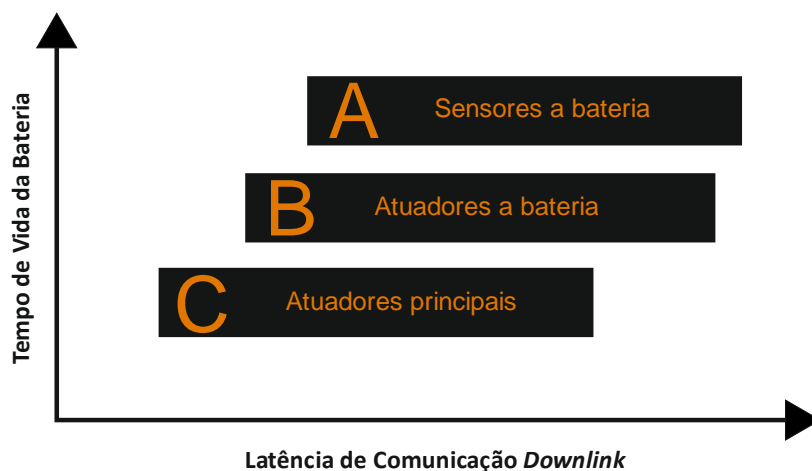


Figura 2.6: Comparação das classes LoRaWAN (adaptado de [24]).

Classe A - Os dispositivos pertencentes a esta classe permitem uma comunicação bidirecional, tendo no final duas janelas de recepção após a transmissão feita pelo dispositivo final estar finalizada. A transmissão dos dispositivos finais é agendada dependendo das necessidades de

cada aplicação, havendo uma pequena variação devido ao protocolo de *Media Access Control (MAC)* do tipo ALOHA. Esta classe apresenta a melhor eficiência energética devido ao dispositivo final permanecer inativo durante longos períodos de tempo.

Caso seja preciso receber dados do servidor é necessário esperar pela próxima transmissão agendada e gerir a latência de *downlink* proporcional ao período de transmissão da aplicação.

Classe B - Nestes dispositivos são agendadas mais janelas recepção, para além das já presentes nos dispositivos de Classe A, agendadas e sincronizadas através de um sinal emitido pelo *gateway (beacon)*. Desta forma o tempo de *downlink* pode ser reduzido, aumentando assim o seu consumo energético devido a aumentar o nível de atividade destes dispositivos.

Classe C - A janela de recepção é praticamente contínua, quando estes dispositivos estão a transmitir. A latência no *downlink* é muito reduzida, tornando estes dispositivos pouco eficientes energeticamente uma vez que permanece constantemente ativo.

As três classes podem estar presentes na mesma rede e os dispositivos podem mudar de uma classe para outra, porém não existe nenhuma mensagem específica definida por LoRaWAN para informar o *gateway* sobre a classe do dispositivo. Os dispositivos da classe C não podem implementar a classe B da LoRaWAN (Figura 2.7).

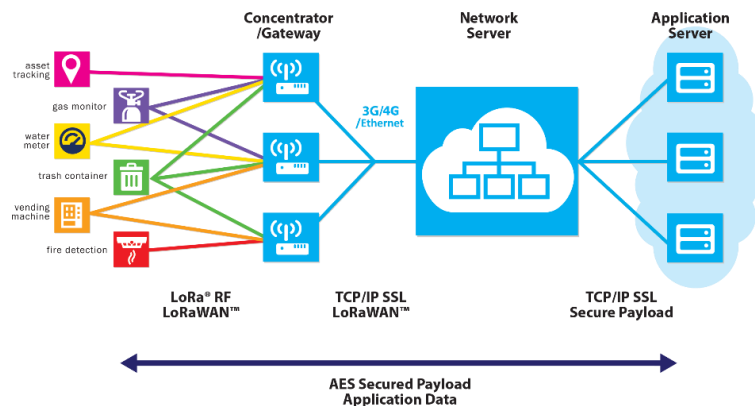


Figura 2.7: Exemplo de uma rede LoRaWAN (retirado de [25]).

2.9. Sigfox

A *Sigfox* é um protocolo de Internet desenvolvido por uma empresa francesa com o mesmo nome, especialmente para aplicações em IoT, fundada em 2010 por *Ludovic Le Moan* e *Christophe Fourtet*. A empresa funciona como, operadora de telecomunicações, responsável por desenvolver redes sem fios que ligam equipamentos de muito baixo consumo, como por exemplo contadores de eletricidade, água e gás, eletrodomésticos ou plataformas meteorológicas amadoras à Internet. A

rede *Sigfox* está em processo de expansão, operando em 29 países com cobertura total (maioritariamente na Europa) e opera com cobertura parcial ou pontual nos restantes 26 países.

A topologia em estrela da *Sigfox* tem uma ampla implantação de estações base destinadas a cobrir países inteiros, empregando bandas ISM. Essa estrutura de estação base permite que os nós de carga carreguem os dados recolhidos diretamente para os servidores *Sigfox*, o que os torna acessíveis aos assinantes por meio de uma API (*Application Programming Interface*). O uso de bandas ISM juntamente com a estratégia de acesso ao meio *Sigfox*, ou seja, sem técnicas de prevenção de colisão, leva para uma limitação de ocupação de largura de banda onde apenas são permitidas 140 mensagens por dia.

Embora originalmente concebido como um sistema unidirecional, o *Sigfox* incluiu recentemente uma janela limitada de *downlink* (quatro mensagens de oito bytes por dia) semelhante à estratégia adotada pelos dispositivos Classe A da LoRaWAN.

Com relação aos problemas de segurança, o *Sigfox* implementa mecanismos de salto de frequência e anti reprodução nos seus servidores, mas nenhuma técnica de criptografia é usada entre os nós finais e as estações base. Além disso, o formato de carga útil é indefinido. Portanto, a estratégia de segurança da *Sigfox* depende do fato de que uma mensagem interceptada não pode ser interpretada, a menos que o atacante seja capaz de entender o sistema do assinante em particular [26].

As características das tecnologias estão resumidas na Tabela 2.1, onde são comparadas em relação à região onde atuam.

Tabela 2.1: Principais características da tecnologia *Sigfox* (adaptado de [23]).

Características	Regiões		
	FCC	ETSI	ARIB
Largura de banda	600 Hz		100 Hz
Frequência	902-928 MHz		863-870 MHz
Transmissão de dados	600 bps		100 bps
Potência máxima do terminal	22 dBm		14 dBm
Potência máxima de transmissão da EB	30 dBm		26 dBm
Sensibilidade da EB	- 136 dBm		- 142 dBm
Modulação	D-BPSK para <i>uplink</i> , GFSK para <i>downlink</i>		
Técnica de acesso	RFTDMA		

Analisando a Tabela 2.1, salienta-se que nas regiões *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) e *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB) são usadas características muito semelhantes pela tecnologia *Sigfox*. Na *Federal Communications Commission*

(FCC), são utilizadas frequências e uma largura de banda mais elevada que as outras regiões e uma velocidade seis vezes maior. A modulação e a técnica de acesso são comuns às três regiões expostas.

Em vez de usar canais de espectro de propagação bidirecionais, a *Sigfox* emprega modulação proprietária de banda UNB com conexão de *uplink* altamente limitada.

O protocolo *Sigfox* usa uma modulação D-BPSK por três razões:

1. Dificuldade reduzida de implementação;
2. Uma baixa taxa de bits permite o uso de componentes de baixo custo;
3. O recetor da estação base é altamente sensível, uma vez que pode desmodular os sinais mesmo com baixa relação sinal / ruído (SNR).

Nas técnicas de acesso é usado *Random Frequency and Time Division Multiple Access* (RFTDMA) que é basicamente, um protocolo baseado em Aloha sem deteção preliminar de ocupação de canal, o que significa que os nós se ligam ao meio sem fios, nos domínios de tempo e frequência, aleatoriamente, e sem nenhum método de contenção. As frequências portadoras são escolhidas num intervalo de tempo contínuo, em vez de um conjunto discreto predefinido.

Alguns benefícios são o consumo de energia para deteção no meio, sem necessidade de sincronização do tempo de rede, sem restrições na precisão do oscilador e baixo consumo de energia. A principal desvantagem é o acesso ao meio sem qualquer controlo que leve à interferência de pacotes ou colisões entre usuários ativos.

Um ponto forte do RFTDMA é a sua robustez em relação ao ruído de interferência e espectro porque oferece:

- i) diversidade de frequência ao repetir a transmissão *uplink* em três diferentes frequências aleatórias;
- ii) diversidade de tempo quando se repete cada mensagem de *uplink* em frequências e tempos diferentes;
- iii) diversidade espacial quando estas três mensagens de *uplink* podem ser recebidas por mais do que uma estação base.

Para se conseguir implementar a *Sigfox* no dispositivo desejado é necessário adquirir o módulo de comunicação e sempre validado pela empresa e uma base-station proprietária. A comunicação destes módulos é realizada da seguinte forma, uma base-station recebe uma mensagem de um dos dispositivos na área que esta cobre, envia essa mesma mensagem para a *cloud* da *Sigfox*, em seguida, a informação é enviada para a *cloud* individual do utilizador, onde este consegue visualizar e manipular a informação obtida.

A tecnologia UNB possibilita o envio de mensagens em canais com largura de banda geralmente inferiores a 200 Hz. O alcance deste tipo de sinais pode superar os 30 km em meios rurais. Outra das vantagens da tecnologia UNB é a forte imunidade a ruído: como o sinal tem uma largura de banda muito pequena, os recetores terão filtros também com uma largura de banda pequena,

removendo assim uma grande parte do ruído do sinal [27]. A figura 2.8 demonstra o percurso que uma mensagem faz desde que é produzida até que chega ao utilizador.

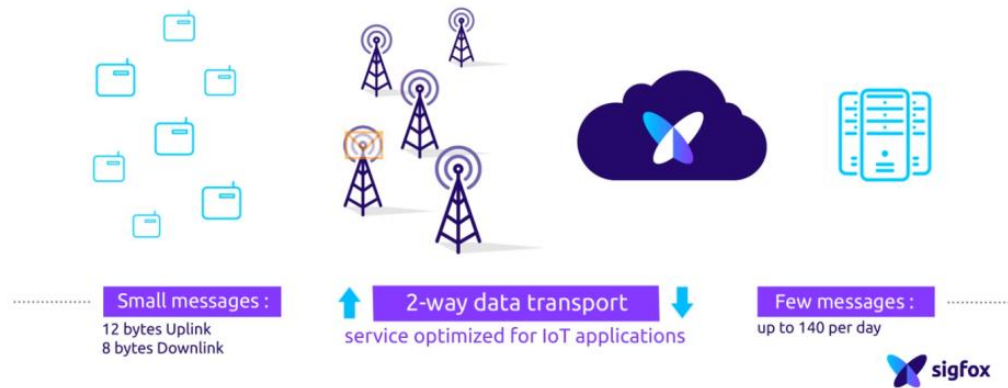


Figura 2.8: Funcionamento de uma rede *Sigfox*.

A figura 2.9 apresenta uma representação gráfica da pilha protocolar *Sigfox*. Verifica-se que é uma pilha de 3 camadas: *frame*, que incorpora as camadas de rede e transporte do modelo OSI, subcamada de acesso ao meio e física. Esta pilha, que é fornecida aos produtores de *modems* sem qualquer custo, está localizada entre o modem e a rede *Sigfox*. É utilizada pelos dispositivos para poder modular e transmitir a sua mensagem. Vai então analisar-se a função de cada camada. Começando pela *frame*, esta recebe o *payload* da camada de aplicação e gera a *frame* ao qual um número de sequência é adicionado. De seguida encontra-se a camada de ligação de dados. Esta adiciona campos ao *frame* para a identificação do dispositivo e parâmetros que permitem a deteção de erros. Visto não existir nenhum sinal de sincronismo, os dispositivos nunca estão sincronizados com a rede. Desta forma não ocupam o meio de forma aleatória. Por último, a camada física determina o formato físico dos sinais *Sigfox*. Para codificar as mensagens, o protocolo utiliza o método D-BSPK, mudando a fase do sinal da onda portadora de acordo com o valor lógico do bit, para mensagens *uplink*, e GFSK, que filtra o sinal com um filtro gaussiano para suavizar as transições, reduzindo a potência necessária e interferência com outros canais, para a mensagem de downlink. Estas são frequências da banda ISM, bandas reservadas a nível internacional para uso de comunicações por radio frequências em aplicações industriais, científicas ou médicas. Como tal, o *duty-cycle* e o tempo de ocupação da banda por dispositivo deve ser o mais baixo possível [27].

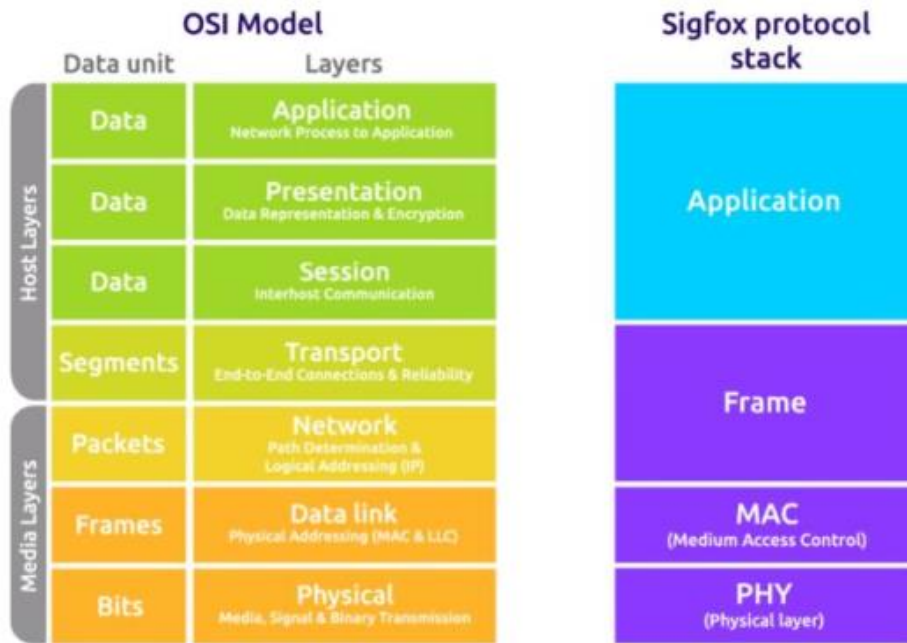


Figura 2.9: Pilha protocolar Sigfox.

Capítulo 3

O presente capítulo incide sobre o setor elétrico, mais precisamente nas smart grids. Neste, são apresentados os ORDs existentes em Portugal e os tipos de contadores disponíveis até ao momento. Será apresentada uma lista de smart meters disponíveis no mercado e o Projeto Inovgrid.

3. Energia Elétrica

As *smart grids* como referido no subcapítulo 1.2.2, de forma um pouco mais breve, baseiam-se na gestão e distribuição de energia através de uma rede elétrica inteligente. Isto significa que estas redes são automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia que operam em tempo real e podem fornecer informações sobre o comportamento dos fornecedores e dos consumidores. Os principais fatores para o investimento nas *smart grids* e a sua grande evolução são apresentados na Tabela 3.1, com alguns exemplos que contribuíram para o impulsionamento destas redes.

Tabela 3.1: Fatores impulsionadores das *smart grids* (adaptado de [28]).

Fatores	Exemplos
Sustentabilidade Ambiental	Redução nas emissões de Gases de efeito estufa Energias Renováveis Eficiência Energética Mobilidade Elétrica
Segurança e Qualidade Energética	Garantia de fornecimento Gestão de procura Planeamento da capacidade Redução de perdas
Papel Ativo do Consumidor	Gestão do consumo de energia doméstica Microprodução Novos Serviços Mudança de Comportamentos de Consumo
Mercado Europeu de Energia	Liberalização dos Mercados Europeus de Energia

Regulação das atividades do ORD

Maior Competitividade

Através da análise da Tabela 3.1 anterior, é possível reconhecer algumas medidas tomadas, em certos países, para a implementação deste tipo de rede, sendo muito importante conseguir reduzir os consumos energéticos, as emissões de gases de efeito estufa e aumentar, principalmente, a eficiência energética.

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) é a entidade responsável pela regulação do setor da eletricidade e do gás natural em Portugal.

Atualmente existem três ORDs de eletricidade, em Portugal Continental temos a *Energias De Portugal - Distribuição* (EDP-D), no arquipélago da Madeira temos a *Empresa de Electricidade da Madeira* (EEM) e nos Açores temos a *Electricidade dos Açores* (EDA).

As redes de distribuição da EDP-D são as responsáveis pela transmissão de energia elétrica para as instalações dos clientes, em seguida será apresentada a Tabela 3.2 com as tensões nominais das linhas aéreas e cabos subterrâneos.

Tabela 3.2: Constituição das redes de distribuição (adaptado de [29]).

Alta Tensão	60 kV
	30 kV
Média Tensão	15 kV
	10 kV
Baixa Tensão	400/230 V
Subestações	
Postos de Seccionamento	
Postos de Transformação	
Ligações às instalações particulares	
Instalações de Iluminação Pública	
Órgãos, Equipamentos e telecomando da rede	

Um dos principais acessórios para existirem este tipo de redes e controlo da quantidade energética necessária para corresponder às necessidades da população são os contadores. Estes podem ser eletromecânicos, híbridos ou estáticos e serão abordados a seguir, sendo apresentados os diversos tipos existentes e projetos que integram estes dispositivos.

A EDP-D tem atualmente 6121250 contadores instalados em BTN, em que 4418969 são contadores eletromecânicos, 334680 contadores estáticos e 1367601 contadores híbridos. Em seguida são apresentadas na Tabela 3.3, as características e funcionalidades dos diversos tipos de contadores da EDP-D.

Tabela 3.3: Tipos de contadores, Características e Funcionalidades da EDP-D (adaptado de[30]).

Tipo	Características	Funcionalidades
Eletromecânicos	Medição de energia ativa Classe de precisão 2	
Híbridos	Medição de energia ativa Classe de precisão 2	Multi-tarifa Relógio integrado
Estáticos	Medição de energia ativa e ativa/reactiva Classe de precisão MID-A ou MID-B Display Disponibilização de sinais secos Porta Série	Multi-tarifa Relógio integrado Registos históricos Potência Máxima Eventos

Destaca-se que apenas os contadores estáticos conseguem fazer medição de energia ativa/reactiva, assim como, uma classe de precisão diferente dos contadores eletromecânicos e híbridos. O que separa os contadores híbridos dos eletromecânicos, vendo que as suas características são iguais, são as funcionalidades possíveis presentes nos contadores híbridos. Para além das características já referidas anteriormente, os contadores estáticos dispõem de um display para a visualização em tempo real dos dados adquiridos e também a disponibilidade de sinais secos e uma porta série.

A EEM tem atualmente 140 312 contadores instalados em BTN. Este número inclui contadores eletromecânicos e contadores estáticos, havendo 75264 e 65048, respetivamente, sendo apresentadas na Tabela 3.4 as suas diferentes características e funcionalidades.

Tabela 3.4: Tipos de contadores, Características e Funcionalidades da EEM (adaptado de[30]).

Tipos	Características	Funcionalidades
Eletromecânicos	Medição de energia ativa	Tarifa Simples
Estáticos	Medição de energia ativa	Tarifa Simples

Medição de energia ativa/reactiva	Multi-tarifa
	Registo de erros de sistema
	Saída de impulsos
	Interface óptica
	Registo de energia exportada
	Registo de qualidade da alimentação
	Indicação de presença de V, I, P e direção da energia no display
	Event Log; Load Profile; Registo do Factor de Potência; Registo de Ponta; Monitorização de valores instantâneos V, I, f, Ângulos fase; Entrada de Impulsos; Interfaces de Comunicação
	Registo de energia em 4 quadrantes

A EDA tem atualmente cerca de 119 946 contadores instalados em BTN, dos quais apenas eletromecânicos e estáticos. De todos estes contadores, 82965 são contadores eletromecânicos (deixaram de ser instalados a partir de 2007) e 36981 estáticos.

Na Figura 3.1 encontram-se os números de clientes e os valores do consumo anual em BTN tendo em escalão da potência contratada.

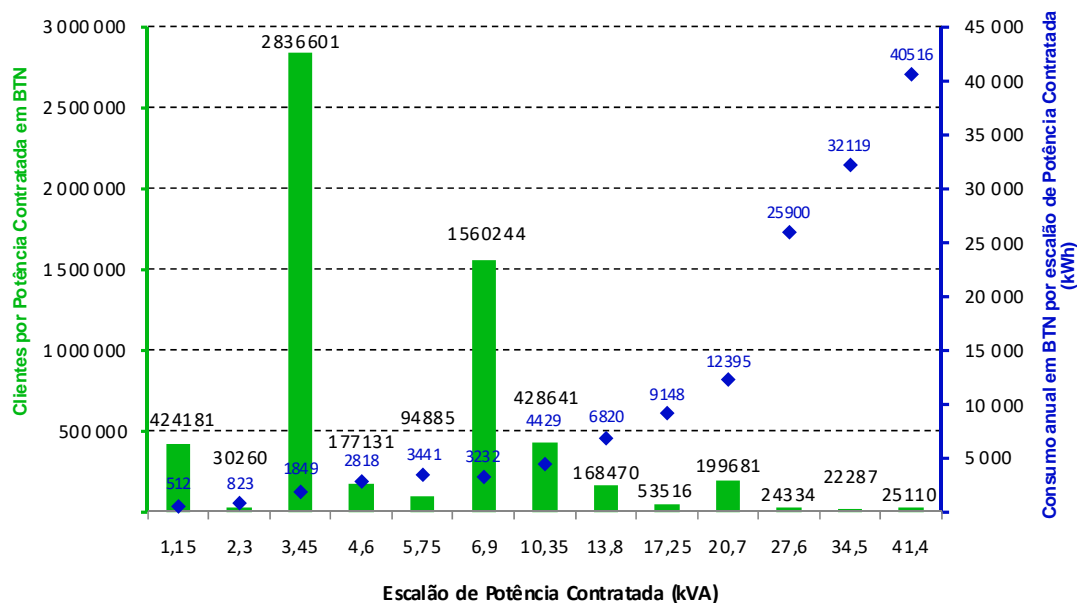


Figura 3.1: Número de clientes e consumo anual por escalão de potência contratada em BTN(adaptado de [30]).

Como observado na Figura 3.1, destaca-se o número de clientes com um escalão de potência contratada de 3,45 kVA (Quilovolt-ampere) sendo o terceiro escalão com menor consumo anual, de apenas 1849 kWh (Quilowatt-hora). Pode afirmar-se que quanto maior a potência contratada maior é o consumo anual, havendo uma exceção nos 6,9 kVA em que o seu consumo anual é menor de 209 kVA do escalão anterior.

3.1. Contadores

Um contador de energia elétrica é um dispositivo capaz de medir o consumo da energia elétrica, tendo como unidade de medida o kWh. O contador pode ser ligado diretamente entre a rede elétrica e a carga, ou através de transformadores de acoplamento de tensão e/ou corrente. O contador deve estar o mais próximo possível da origem da instalação elétrica ou da origem da entrada, em local e posição adequados, assim como, isentos de trepidações anormais e ao abrigo de choques, humidade, vapor corrosivos, poeiras, temperaturas elevadas e elevada exposição solar. A rede elétrica pode ser de alta, média e baixa tensão.

Apesar de atualmente, os contadores híbridos se encontrarem em desuso e daí serem mais divulgados os contadores eletromecânicos e os estáticos. Estes últimos têm vindo a substituir os contadores eletromecânicos desde dos anos 90 [31]. Em seguida serão apresentados os contadores aqui referidos.

3.1.1. Contadores Eletromecânicos

Como o nome sugere, os contadores eletromecânicos são a combinação entre mecânica e elétrica. Estes foram os primeiros contadores a existir no mercado para medição da energia elétrica e foi *Galileo Ferraris* quem desenvolveu a teoria do seu funcionamento [32].

Tendo em conta a dissertação apresentada pelo engenheiro Paulo Jorge Santos Pontes, em 2015, foi escolhida a sua explicação sobre o funcionamento dos contadores eletromecânicos devido à sua explicação simples e clara [33].

Este tipo de contador permite, através de um sistema mecânico, medir a quantidade de energia elétrica utilizada. A corrente elétrica do sistema percorre as bobinas, que por sua vez induzem o movimento de um elemento girante, geralmente um disco, a uma velocidade proporcional à potência medida. É possível ver a sua disposição através da figura 3.2.

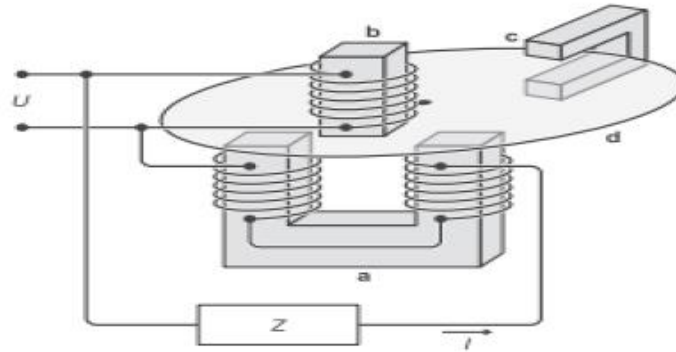


Figura 3.2: Esquema de um aparelho eletromecânico.

O sistema é composto por duas bobinas, uma de corrente em série com a carga (a) e uma de tensão em paralelo com a carga (b). A corrente recebida pela carga atravessa a bobina de corrente, criando um campo magnético produzido pelos dois indutores, estabelecendo o valor da magnitude das correntes de Foucault induzidas no disco (d).

O fluxo gerado pela bobina de tensão irá induzir correntes de Foucault no disco. Estas vão de seguida interagir com o fluxo criado pela corrente que atravessa a bobina, localizada na parte inferior do disco, e a força resultante destas duas interações irá gerar um binário no disco relativo à potência consumida pela carga naquele instante, fazendo-o girar. As rotações do disco acionam um sistema de engrenagens devidamente calibrado, sendo desta forma possível fazer a medição de potência por unidade de tempo.

A interação entre os fluxos e a ação do ímã permanente(c), tendo como função provocar um atraso no disco, fará com que o disco gire de forma proporcional à potência consumida.

Na rede BT, as cargas resistivas e indutivas, são as principais responsáveis campos magnéticos gerados.

Numa carga resistiva, a corrente que percorre a bobina de tensão (b), encontra-se desfasada 90° em relação à corrente que percorre a bobina de corrente (a). Analisando a figura 3.3, a intensidade máxima das correntes de Foucault geradas pelo campo magnético (Ba) ocorre nos tempos II e IV, da mesma forma que a intensidade máxima de corrente Foucault induzidas no disco pela bobina (Bb) ocorre nos tempos I e III. A intensidade máxima de correntes induzidas no disco coincide com o valor máximo do campo magnético gerado pela bobina contrária à que induziu.

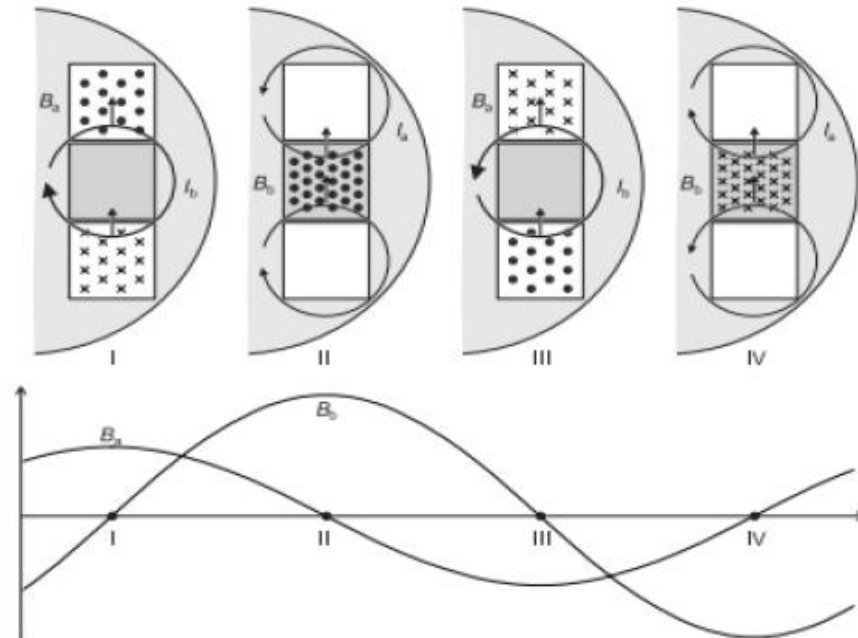


Figura 3.3: Interação entre as correntes de Foucault e os campos magnéticos durante quatro períodos de tempo no caso de uma carga resistiva.

Uma carga puramente indutiva, causará um atraso adicional na corrente de 90° , fazendo com que os campos magnéticos gerados pelas duas bobinas estejam em fase. Como consequência, as forças que atuam no disco estão em equilíbrio. No contador eletromecânico tal não acontece, porque, quando os fluxos magnéticos estão em fase, o ímã (c) induz um binário no disco (d), provocando um desequilíbrio nas forças atuantes no disco, fazendo com que este gire de forma proporcional à potência consumida. No entanto, os harmônicos de tensão e corrente geram, por sua vez, outros binários que influenciam o elemento girante, podendo agir contra ou a favor do movimento, provocando erros de leitura. Os erros de leitura resultam de vários fatores, tais como distorção de corrente, direção do fluxo de energia, entre outros. Os elementos magnéticos do contador que contêm fluxo magnético são não lineares relativamente à frequência e amplitude dos harmônicos e, como tal, os componentes de fluxo para calibração do instrumento alteram os seus valores. Porém, só ocorrem erros consideráveis nas medidas para grandes distorções de tensão e corrente (acima de 20%).

3.1.2. Híbridos

Este tipo de contador é muito parecido com os contadores acima descritos e devido ao facto de usar os mesmos instrumentos eletrónicos para obter a contagem da energia torna os contadores híbridos muito poucos usados. O seu princípio de funcionamento é igual ao contador eletromecânico tendo como diferença mais notória a presença de um *display*, que indica o valor da energia consumida e as horas. Por não ser muito diferente nem possuir muitas vantagens em

relação ao contador eletromecânico, geralmente a escolha recai sempre para os contadores eletromecânicos.

3.1.3. Estáticos

Nos contadores estáticos, as grandezas analógicas de corrente e tensão são inicialmente lidas por sensores e depois transformadas em grandezas digitais. Este tipo de contadores apresenta uma melhoria significativa na leitura das medições da energia elétrica em relação aos contadores eletromecânicos, dado que são menos suscetíveis a erros de medida. Este dispositivo possui um Display que indica em tempo real o consumo da energia e o custo da mesma. Estes são capazes de estabelecer uma ligação entre o próprio contador e as centrais de dados, logo a companhia que fornece energia terá sempre um valor atualizado da energia a ser consumida pelo estabelecimento onde o contador está alocado, não sendo necessário o deslocamento de um indivíduo da empresa reguladora para obter o registo do mesmo [34].

A desvantagem que advém do uso dos contadores estáticos é o facto de estes consumirem energia da rede para o seu funcionamento.

3.1.4. *Smart meter*

Os *smart meters* medem a energia total consumida da mesma maneira que os contadores anteriormente referidos e fornece informação usando uma comunicação bidirecional, assim os consumidores estão melhor informados relativamente ao seu consumo de energia, para que possam tomar melhores decisões no uso da mesma. Quanto aos fornecedores no outro lado, não irão precisar de se deslocar ao contador para realizar a leitura da energia consumida, pois esta informação será fornecida automaticamente pelo próprio *smart meter* [35]. Nas Figuras 3.4 e 3.5 são demonstradas as arquiteturas de medição do contador convencional e do contador inteligente, respetivamente.

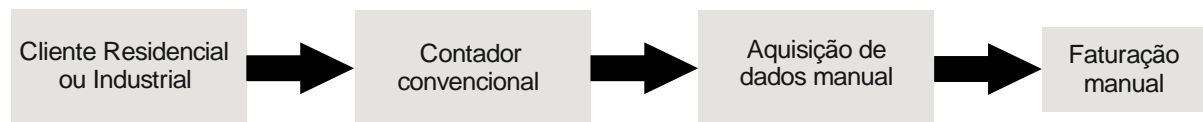


Figura 3.4: Arquitetura de medição de um contador convencional(adaptado de [36]).

Os contadores convencionais possuem apenas comunicação unidirecional, como ilustrado na Figura 3.4, fazendo com que a aquisição de dados tenha de ser efetuada manualmente assim como a faturação, o cliente apenas dispõe dos dados quando é realizado o envio da fatura levando a que o cliente não seja capaz de tomar medidas para reduzir o seu consumo diário e assim a sua fatura mensal.

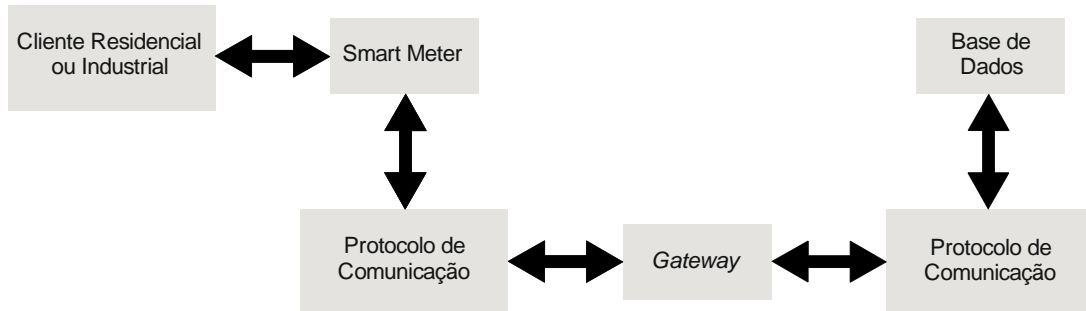


Figura 3.5: Arquitetura de medição de um smart meter(adaptado de [36]).

Através da análise da Figura 3.5, nota-se que ao contrário dos contadores convencionais, os *smart meters* têm comunicação bidirecional permitindo assim que os dados fiquem disponíveis tanto para o cliente como para o ORD. Isto origina uma melhor informação, melhor utilização e menor consumo por parte do utilizador e para o ORD é uma forma de conseguir gerir de forma mais eficaz os seus recursos.

Em seguida serão apresentadas potenciais vantagens e principais preocupações, retiradas de [30], que os ORDs referiram sobre a utilização de contadores inteligentes.

Como principais vantagens, foram referidas as seguintes:

- Contributo para um aumento da eficiência energética, por mudança de comportamento dos consumidores, incluindo a transferência de consumos das horas de ponta/cheia para vazio e redução de consumos.
- Criação de uma plataforma para novos serviços e produtos.
- Possibilidade de o ORD efetuar operações remotamente, por exemplo, parametrização, corte ou religação.
- Possibilidade de efetuar leituras remotamente, evitando custos relativos a roteiros de recolha local de leituras e eliminando a necessidade de estimativas; alguns ORD mencionaram que se trata de um benefício pouco significativo dado o custo já baixo de efetuar leituras em roteiro.
- Possibilidade de reduzir perdas comerciais, mais do que perdas técnicas.
- Processo logístico de substituição permite elaborar um cadastro mais preciso da base instalada e detetar eventuais casos de configurações incorretas (com conseqüentes perdas comerciais) ou fraude.
- Possibilidade de redução de perdas técnicas, por redução de consumo e melhor informação sobre a tensão (e.g., equilíbrios de fase).
- Possibilidade de recolha de mais informação por parte do ORD, facilitando a análise e operação da rede.
- A EEM referiu que as mais valias da instalação de contadores inteligentes são fundamentalmente a racionalização de recursos humanos associados a intervenções nos

locais de consumo (leitura, interrupção e restabelecimento do fornecimento e aumentos de potência) e no conhecimento em detalhe do diagrama de cargas.

Apesar das diversas vantagens apresentadas, existem ainda desafios a serem superados e foram mencionados os seguintes:

- Considerando apenas o universo do ORD, os custos são superiores aos benefícios.
 - Particularmente relevantes são os custos com comunicações e com os *modems*.
 - A EDP-D referiu o impacto nos custos dos critérios de realização do *roll-out* (ex.: mais caro se não se minimizarem os percursos associados à instalação).
 - Apesar de a interface entre o contador e a HAN (porta HAN) ser considerado fundamental para adequada captura dos benefícios, ela representa uma eventual brecha de segurança que tem de ser acautelada; adicionalmente, a porta HAN poderá vir a permitir um alargado leque de serviços proporcionados por terceiros (que não o ORD) o que poderá significar responsabilização do ORD por manter a porta HAN ativa, sendo que esta fronteira de responsabilidades assume particular importância.
 - Necessidade de confirmar se a interoperabilidade entre equipamentos é efetiva no terreno.
- Após a apresentação das vantagens e desvantagens dos contadores inteligentes, é possível observar que existem imensas vantagens na utilização deste tipo de contadores apesar de permanecerem alguns desafios a serem superados.

Seguidamente, é divulgada na Tabela 3.5 uma lista com os dispositivos que já se encontram no mercado, onde são expostas as diferentes características apresentadas pelos mesmos.

Tabela 3.5: Comparação de características de *smart meters* (adaptado de [37]).

Fabricante	Modelo	Alimentação	Precisão	Protocolo de dados	Comunicação	Parâmetros analisados
General Electric	SGM1100	230 V 50 Hz	Energia ativa: Classe A/B EN 50470-3	DLMS/C	PLC	Energia Ativa/Reativa/Aparente importada e exportada;
	Monofásico		Energia reativa: Classe 2/3 EN 62052-23	OSEM	GPRS	Cavas de tensão; Sobretensão; Frequência; Fator de potência;
	SGM3000	220/230/240 V 50/60 Hz	Energia ativa: Classe 1 IEC	DLMS/C	RF Mesh	Energia Ativa/Reativa/Ap
	Monofásico			OSEM	GSM/GPRS	

	/Trifásico		62053-21 Energia reativa: Classe 2 IEC 62053-23	ANSI C12.18/ 19		arente importada e exportada; Cavas de tensão; Sobretensão; Frequência; Fator de potência; THD;
Echelon	MTR1000 Monofásico	120 a 240 V 50 Hz	Energia ativa: Classe 1 IEC 62053-21 Energia reativa: Classe 2 IEC 62053-23	ANSI C12.19	PLC	Energia Ativa/Reativa; Fator de potência; Tensão; Corrente; Frequência; Falhas de energia; Cavas de tensão; Sobretensão; THD;
Sensus	iCon APX Monofásico /Trifásico	120 a 480 V 50/60 Hz	Classe 0.2 (ANSI C12.20-2010)	ANSI C12.19	RF Mesh	Energia Ativa/Reativa/Ap arente importada e exportada; Cavas de tensão; Sobretensão; Frequência; Fator de potência; THD (Corrente e Tensão);
Landis Gyr	E550 Trifásico	220-240 V 50/60 Hz	Energia ativa: Classe 1 IEC 62053-21 Energia reativa: Classe 2 IEC 62053-23	DLMS/C OSEM	GSM/GPRS	Energia Ativa/Reativa/Ap arente; Tensão e corrente instantânea; Fator de potência; Angulo de fase; Cálculo de perdas e nível

						de distorção harmônica;
						Energia Ativa/Reativa/Aparente; Tensão e corrente instantânea; Fator de potência; Ângulo de fase; Cálculo de perdas e THD;
	E650 Trifásico	220-240 V 50/60 Hz	Energia ativa: Classe 1 IEC 62053-21 Energia reativa: Classe 2 IEC 62053-23	DLMS/C OSEM		
	ACE 6000 Trifásico	100 a 277 V 50/60 Hz	Energia ativa: Classe B Energia reativa: Classe 2 ou C	DLMS/C OSEM	PSTN GSM/GPRS	Energia ativa/reativa; Fator de potência; Tensão; Corrente;
Itron	ACE 8000 Trifásico	100 a 190 V 50/60 Hz	Energia ativa: <0.1% IEC 62053-22	DLMS/C OSEM	RS232 RS485	Corrente de fase RMS; Tensão de fase RMS; Frequência; Ângulo de fase; Falhas de energia; Cavas de tensão; Sobretensão; THD;
Iskraem eco	Mx382 Monofásico /Trifásico	240 V 50/60 Hz	Energia ativa: Classe A ou B EN 50470-3 Energia reativa: Classe 3 ou Classe 2	DLMS/C OSEM	GSM/GPRS	Energia Ativa/Reativa; Fator de potência; Tensão; Corrente; Frequência; Falhas de energia; Cavas de tensão; Sobretensão; Picos e mínimos

						diários; Desequilíbrio de corrente e tensão;
						Energia Ativa/Reativa/Aparente; Fator de potência; Frequência; Ângulo de fase; Tensão eficaz; Corrente eficaz; THD (Corrente e Tensão); Sobretensões; Subtensões;
EDMI	Atlas Monofásico /Trifásico	220-240 V 45-65 Hz	Energia ativa: Classe 1 ou 2 IEC 62053-21 Energia reativa: Classe 2 ou 3 IEC 62053-23	DLMS/C OSEM	GPRS	

3.2. Projecto Inovgrid

Este projeto foi desenvolvido pela EDP-D, desde o ano de 2007, estando associado às *smart grids*. Com o objetivo de melhorar a eficiência energética assim como permitir uma maior sustentabilidade ambiental, este projeto foi de encontro aos objetivos do plano europeu designado de plano 20-20-20, ou seja, aumentar a eficiência energética em 20%, reduzir em 20% o CO₂ e fazer com que 20% do consumo de eletricidade seja proveniente de energias renováveis, tudo isto até ao ano de 2020.

Integrando as redes de distribuição através da implementação de novas tecnologias, modelos avançados de processamento de informação e operação da rede e o desenvolvimento de novos processos que promovam um aumento da eficiência económica e melhoria na qualidade de serviço. Tudo isto com vista a fornecer ao ORD a capacidade de resposta face aos atuais desafios como integração de recursos distribuídos, promoção da eficiência energética e apoio à evolução do mercado de retalho [38].

Os resultados preliminares obtidos reforçaram a viabilidade do projeto e, nesse sentido, podem ser considerados satisfatórios. Os benefícios operacionais (custos reduzidos de leitura e operação), ganhos técnicos e comerciais também são relevantes nesta primeira fase. Para uma melhor avaliação futura, uma variável crucial será a eficiência energética, que tem um grande impacto no potencial deste projeto, mas apenas pode ser determinada com precisão um ano após a instalação estar totalmente concluída [38].

Na Tabela 3.6 serão apresentados alguns benefícios que o projeto Inovgrid tem vindo a proporcionar em diversas áreas do setor elétrico.

Tabela 3.6: Principais benefícios no setor elétrico.

Setor elétrico	Principais benefícios
Distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir custos das leituras dos medidores; • Reduzir custos de operação e manutenção; • Reduzir as perdas na rede (técnicas e comerciais); • Otimizar a gestão e controlo da rede e investimento; • Melhorar a qualidade e segurança do fornecimento;
Comercializadores	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecer a informação para um melhor planeamento energético; • Providenciar novos serviços e preços inovadores; • Melhorar a relação com os clientes; • Reduzir barreiras de entrada a novos agentes;
Consumidor/produtor	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciar o acesso à rede de geração distribuída e microgeração; • Reduzir o custo de entrega de energia; • Permitir serviços de valor acrescentado e novas tarifas e planos de preços;
Regulador	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar a eficiência do mercado; • Suportar melhorias na segurança e qualidade do fornecimento de energia; • Ter informação mais rápida e rigorosa sobre atividades muito importantes para a regulação; • Aperfeiçoar os modelos e ferramentas de regulação;
Economia Nacional	<ul style="list-style-type: none"> • Promover a eficiência energética e a penetração das energias renováveis; • Reduzir a dependência de recursos fósseis; • Desenvolver centros de competência; • Convergir para as metas estratégicas europeias;

O desenvolvimento deste projeto teve como fase inicial a instalação de cinquenta mil contadores inteligentes residenciais, na cidade de Évora, tornando-a uma das primeiras *smart cities* da Europa. Uma das empresas principais no desenvolvimento deste contador inteligente capaz de responder as mudanças no setor elétrico a nível mundial, foi a *Janz* [39].

A arquitetura da solução adotada no projeto Inovgrid desenvolve-se em três níveis [29] :

- Consumidor/Produtor - neste nível integram-se as EDP Boxes, contadores inteligentes que substituem os contadores tradicionais, facilitando a comunicação bidirecional entre consumidores/produtores e a empresa que presta os serviços, implementam as funções de contagem e telegestão de energia dão apoio ao controlo tanto de equipamentos consumidores como dos sistemas de geração dos clientes e fazem ainda a sinalização de falhas de tensão e anomalias diversas;

- Posto de Transformação - neste nível integra-se o DTC, com funções de concentração de informação e de gestão das EDP Boxes e monitorização, controlo e automação do posto de transformação e da rede de BT (baixa tensão);

•Controlo e Gestão Centralizada - neste nível é realizada a agregação da informação comercial e de gestão de energia, sendo ainda implementado o controlo técnico e operacional da rede.

Energy Box (EB)

A EB é um terminal de rede inteligente que substitui o atual contador de eletricidade, com o objetivo de promover a eficiência energética e melhorar a qualidade do serviço prestado. Este equipamento permite que as suas faturas venham, futuramente, a ser emitidas com base em consumos reais e não em estimativas de consumo, uma vez que permite a comunicação direta e automática de leituras [40]. Permite ainda que a EDP Distribuição proceda de forma rápida e remota, sem necessidade de estar presente no local, e efetuar alterações contrатаis que sejam solicitadas, tais como:

- Alterações de potência;
- Alterações tarifárias;
- Informações sobre equipamento;
- Informações de leitura, consumo e tarifa.

Distribution Transformer Controller (DTC)

O DTC comunica e gere as EBs existentes, opera ainda como um dispositivo inteligente de controlo e automação do posto de transformação, deteção de defeito e controlo da iluminação pública. O DTC é o componente principal neste nível da arquitetura, permitindo a introdução faseada de novas funcionalidades conforme elas se tornem necessárias, face ao seu conceito modular e expansível. Num cenário de um sistema DMS distribuído, o DTC terá um papel fundamental no controlo e gestão avançada da geração distribuída, possibilitando a implementação local de algoritmos avançados. O DTC implementa ainda outras funções, tais como balanço energético, monitorização do desequilíbrio de carga, monitorização de sobrecarga do transformador, análise da qualidade de energia, deteção e notificação de falhas de energia [40].

Capítulo 4

Neste capítulo é apresentado e explicado detalhadamente a solução desenvolvida tendo em conta exigências necessárias devido à participação no concurso da EDP tal como as decisões tomadas para este dispositivo ter um desempenho exemplar. A elucidação e clarificação do funcionamento do sistema desenvolvido é feita descrevendo primeiramente o hardware e posteriormente o software.

4. Descrição do Protótipo

4.1. Descrição do *Hardware*

Como se ilustra na Figura 4.1, o protótipo proposto é constituído por cinco unidades principais:

- Unidade de Alimentação: Responsável por obter os níveis de tensão contínua necessários para o protótipo;
- Unidade Central de Processamento: Tem como função principal o processamento e a coordenação do fluxo de informação entre as diversas unidades que constituem o protótipo.
- Unidade de Comunicação com o *smart meter*: Responsável pela interface entre a unidade central de processamento e o *smart meter*, através do protocolo de comunicação ModBus no modo de transmissão *full duplex*.
- Unidade de Comunicação NAN: Responsável pelas comunicações entre o ORD e a unidade central de processamento, através da tecnologia IoT sobre TCP/IP.
- Unidade de Comunicação HAN: Responsável pela interface entre o consumidor e a unidade central de processamento, através da tecnologia Wi-Fi sobre UDP/IP.

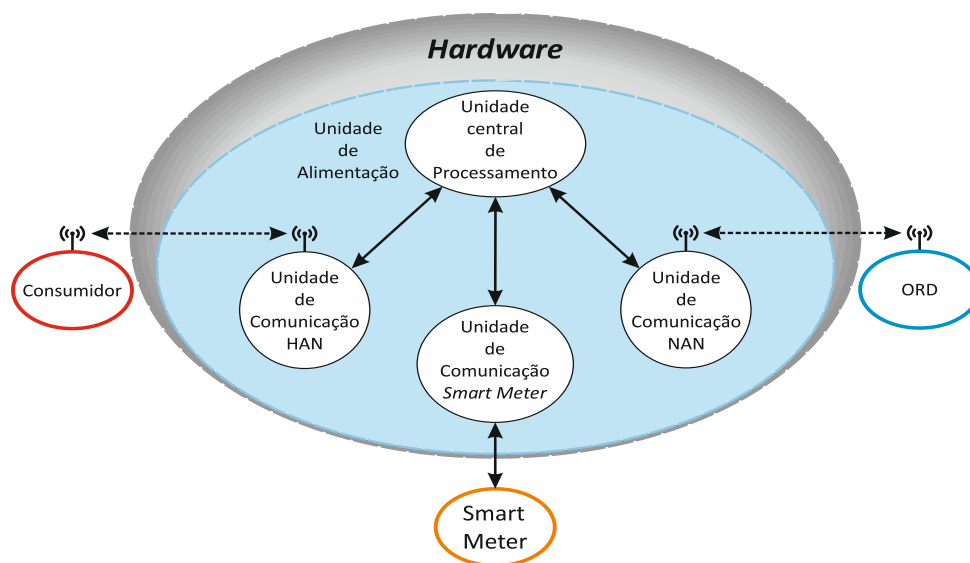


Figura 4.1: Representação das diversas unidades que constituem o protótipo.

As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram, em perspectiva, as vistas superior e inferior do protótipo a implementar. No entanto, importa referir, que as dimensões apresentadas podem, ainda, sofrer uma redução.

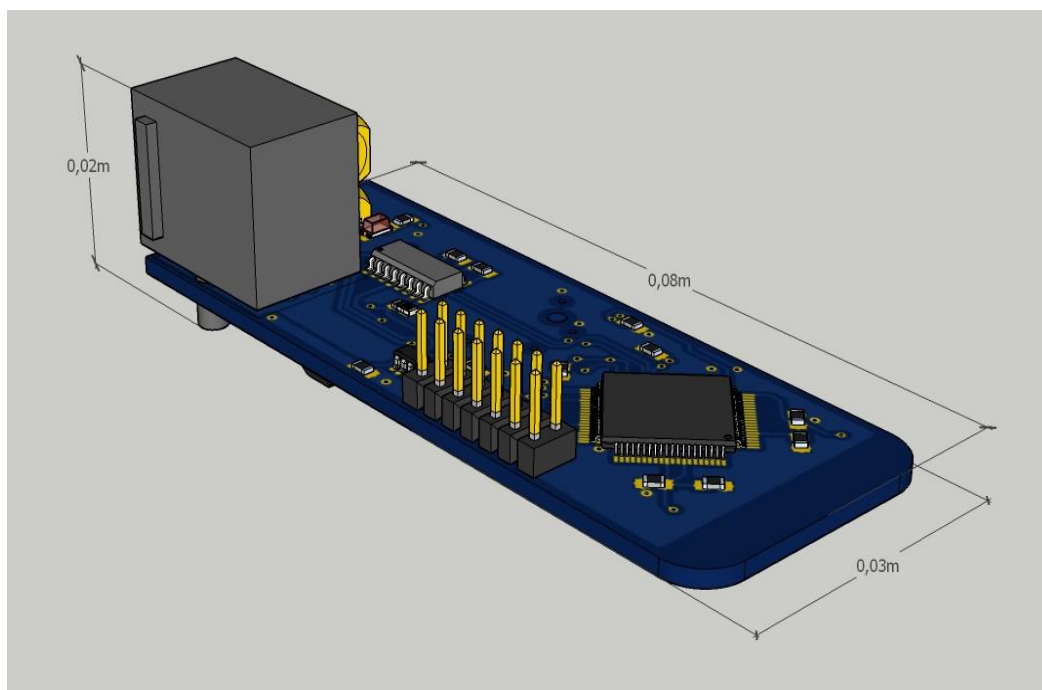


Figura 4.2: Imagem representativa da parte superior do protótipo.

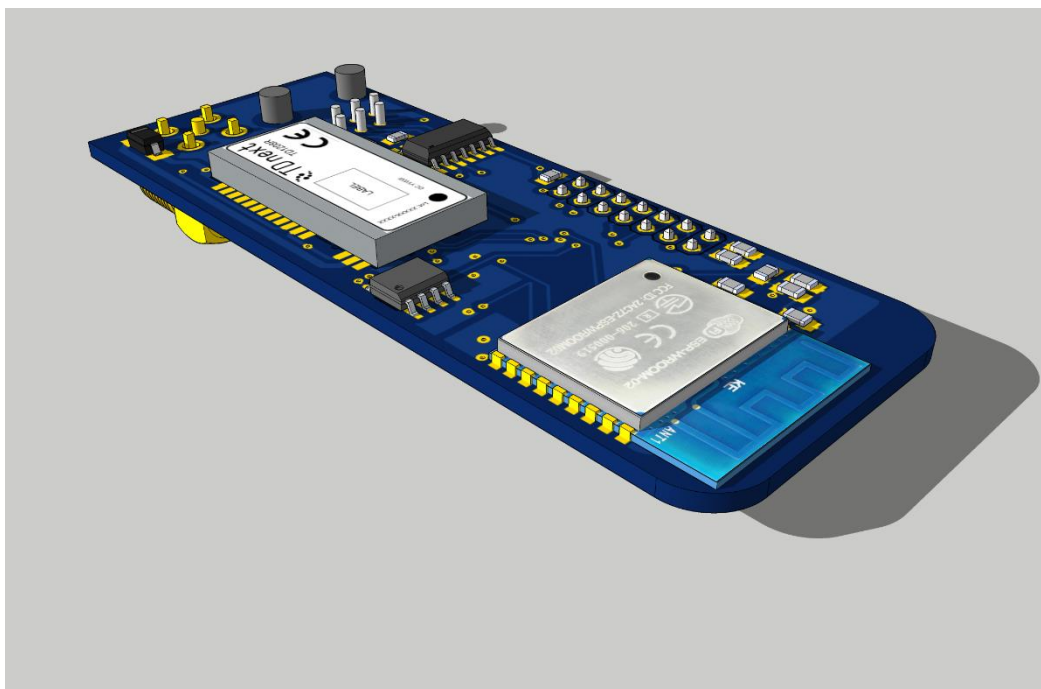


Figura 4.3: Imagem representativa da parte inferior do protótipo.

4.1.1. Unidade de Alimentação

O *smart meter* disponibiliza a alimentação necessária para o protótipo com uma tensão contínua de 5V e uma corrente máxima de 150 mA, o que corresponde uma potência de 0.75W. O protótipo utiliza dois níveis de tensão contínua, onde o nível de tensão contínua de 5V é obtido diretamente do *smart meter* e o nível de tensão contínua de 3.3V é obtido com recurso a um DC/DC *buck* não isolado da *Texas Instruments LM3670*, como se ilustra na Figura 4.4. A grande vantagem da utilização de um DC/DC em detrimento de um regulador de tensão linear consiste na sua eficiência. O valor típico de eficiência deste componente é de 90% podendo atingir eficiências na ordem dos 95%.

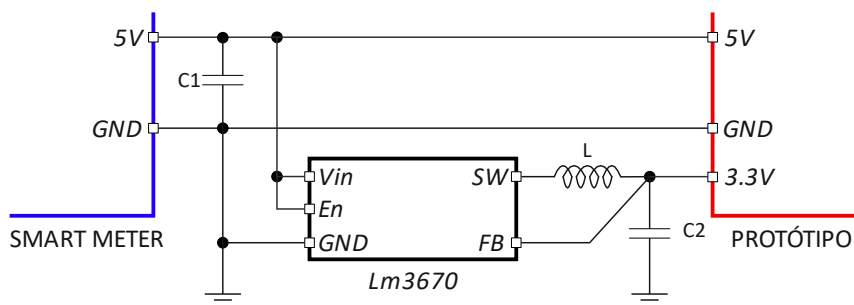


Figura 4.4: Esquemático da unidade de alimentação

De modo a satisfazer a limitação imposta pela fonte de alimentação do protótipo, os componentes foram escolhidos tendo em conta o seu preço, a sua qualidade e, principalmente, o

consumo. Na Tabela 4.1 estão representados os consumos de corrente das principais unidades, em função dos diferentes estados de operação e o do seu nível de tensão.

Tabela 4.1: Consumos das diversas unidades nos diferentes estados de operação.

Unidades	Nível de Tensão	Estados de Operação
Unidade Central de processamento	3.3V	30 mA em operação
		15 μ A de corrente em <i>standby</i>
Unidade responsável por transmissão HAN	3.3V	120 mA para uma potência de transmissão de +13 dBm
		56 mA em receção
		15 mA de corrente em <i>standby</i>
Unidade responsável por transmissão NAN	3.3V	51 mA em transmissão para uma potência de +16 dBm
		13 mA em receção
		3 mA de corrente em <i>standby</i>
Unidade de comunicação para o <i>smart meter</i>	5V	35 mA em transmissão
		6 mA em receção

Ao analisar a Tabela 4.1, verificamos que o protótipo só pode estabelecer uma sessão de comunicação com o *Smart Meter*, seja ela HAN ou NAN. A unidade responsável pelas comunicações HAN, em modo de transmissão, é aquela que apresenta um maior consumo de energia, concretamente, 120mA para uma potência de transmissão de +13 dBm.

Uma vez que só pode existir uma sessão de comunicação com o *smart meter* e considerando o pior cenário, isto é, o protótipo encontra-se com uma sessão HAN, em modo de transmissão, e é solicitado por uma comunicação NAN, o seu consumo é de 201 mA com um nível de tensão de 3.3 V, o que corresponde uma potência de 0.67 W. Considerando a eficiência do conversor DC/DC na ordem dos 90%, a potência solicitada à fonte de alimentação do *smart meter* é de 0.73 W.

4.1.2. Unidade Central de Processamento

A unidade central de processamento é ilustrada na Figura 4.5. Esta unidade foi desenvolvida com base no microcontrolador da *Texas Instruments* (TI) TMS320F28051. É um microcontrolador de 32 *bits* de vírgula flutuante, de baixo consumo, empregue em tarefas matemáticas com alguma complexidade, sendo capaz de realizar processamento paralelo. Possui

uma frequência de *clock* de 60 MHz, com uma memória RAM de 16 kb e ROM de 6kb e uma memória flash de 64kb. Dispõe de diversos periféricos, onde se destacam as três portas comunicação série assíncrona, duas portas de comunicação série síncrona I²C e SPI e uma porta de comunicação CAN. Devido ao tipo de aplicação do protótipo, outro fator diferenciador é o seu intervalo de temperatura de operação que é de -40°C a 125°C. A capacidade de processamento paralelo, a fiabilidade e a robustez deste microcontrolador justificam a sua escolha.

Apesar da unidade central de processamento possuir um *watchdog timer* interno foi implementado um sistema redundante através de um *watchdog* por *hardware* com base no componente da *Linear Technology* LTC1726-5 que possui um intervalo de temperatura de operação de -40°C a 85°C. A inclusão deste dispositivo aumenta a fiabilidade e robustez do protótipo, sendo possível supervisionar o funcionamento desta unidade e monitorizar os níveis de tensão do protótipo.

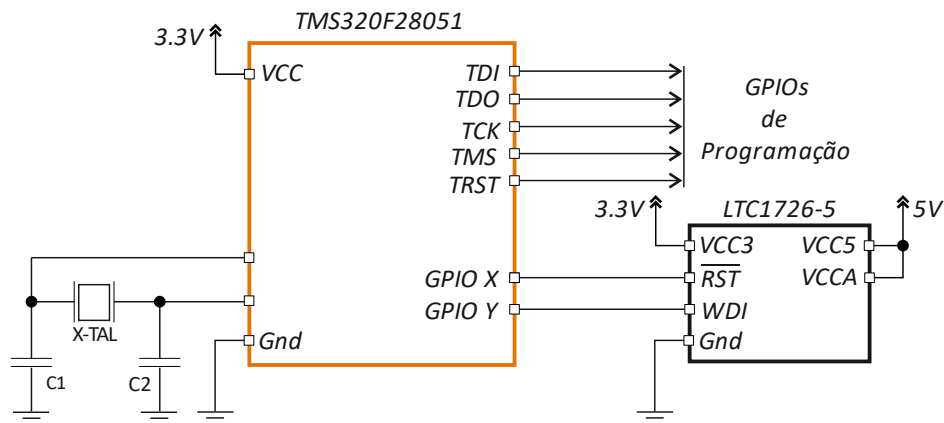


Figura 4.5: Esquemático da unidade central de processamento.

4.1.3. Unidade de Comunicação com o *smart meter*

A interligação da unidade central de processamento e o *smart meter* é realizada através do componente da *Maxim Integrated* Max489, como se mostra na Figura 4.6. Este dispositivo permite um modo de comunicação *full duplex*, em ambos os sentidos, em simultâneo, com uma taxa de transmissão de 250kbps.

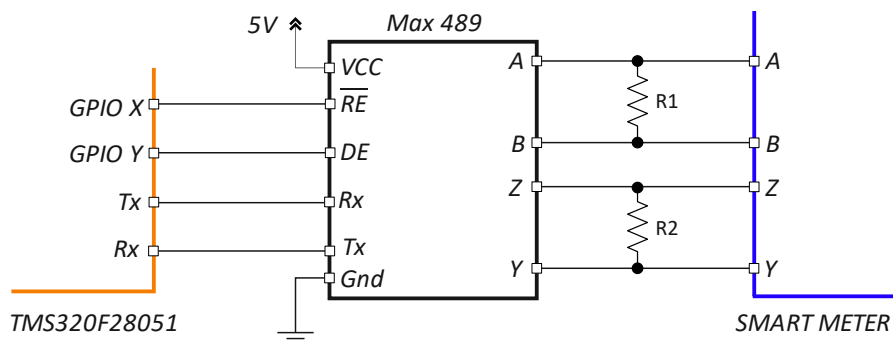


Figura 4.6: Esquemático da unidade de comunicação com o smart meter.

4.1.4. Unidade de Comunicação NAN

A unidade de comunicação NAN, ilustrada na Figura 4.7, foi desenvolvida com base no componente da *TD next* TD1208R. Trata-se de um componente de baixo consumo certificado para operar na rede *Sigfox* (868MHz), rede instalada no território português, e é alimentado com um nível de tensão contínua de 3.3 V. Este componente apresenta uma faixa de operação entre -30 °C e 75 °C e, além disso, apresenta uma potência de transmissão de +16dBm, consumindo uma corrente de 51 mA.

As comunicações com a unidade central de processamento podem ser realizadas através de comunicações série assíncronas ou síncronas (I2C).

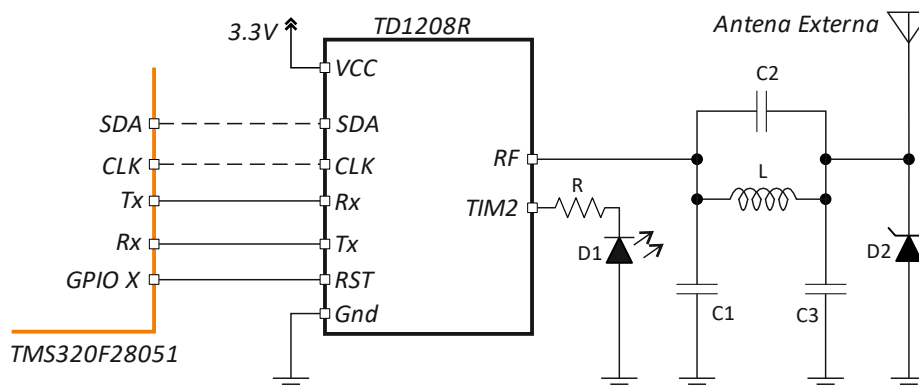


Figura 4.7: Esquemático da unidade de comunicação NAN.

4.1.5. Unidade de Comunicação HAN

A Figura 4.8 mostra a unidade de comunicação HAN, concebida com recurso ao componente da *Espressif Systems* ESP8266EX, de 32 bits, com uma tensão de alimentação de 3.3 V e de baixo consumo. Este dispositivo apresenta três modos de funcionamento: *Access Point* (AP), *Station* e *Station/AP*, sendo possível interagir com uma rede *Wi-Fi* com os protocolos de comunicação IPv4,

TCP/UDP/HTTP, com os protocolos de segurança WPA e WPA2 e com encriptação WEP, TKIP e AES. Devido ao tipo de aplicação do módulo, deve ter-se em conta o intervalo de temperaturas de operação deste dispositivo que é de -40°C a 125°C .

As comunicações entre a unidade central de processamento e a unidade de comunicação HAN são realizadas através do protocolo série assíncrono ou síncrono (SPI). Este dispositivo tem uma potência de transmissão máxima de $+17\text{dBm}$. No entanto, devido à limitação imposta pela fonte de alimentação do protótipo, será utilizada uma potência de transmissão de $+13\text{ dBm}$.

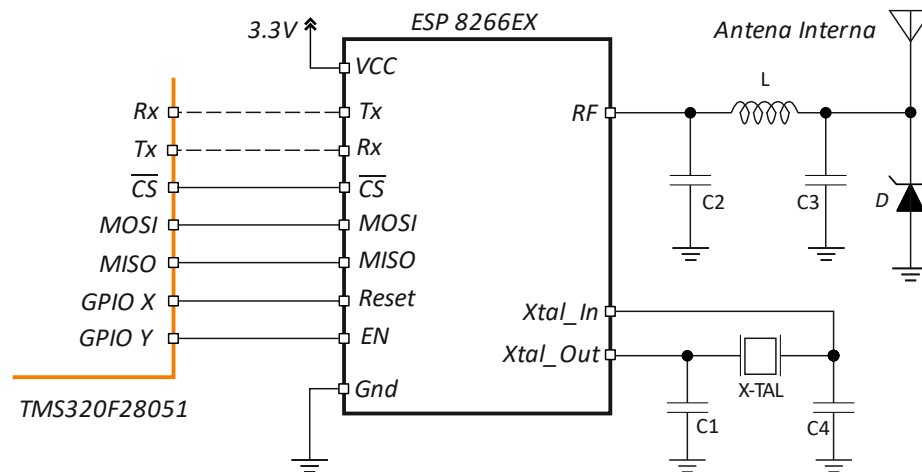


Figura 4.8: Esquemático da unidade de comunicação HAN.

4.2. Descrição do Software

O *software*, que integra a unidade central de processamento, foi desenvolvido no *Code Composer Studio* versão 5 da *Texas Instruments* em linguagem C. Este *software* será constituído por quatro sub-rotinas principais: *read/write smartmeter*, *read/write IoT*, *read/write wi-fi* e *snmp*, como se ilustra na Figura 4.9.

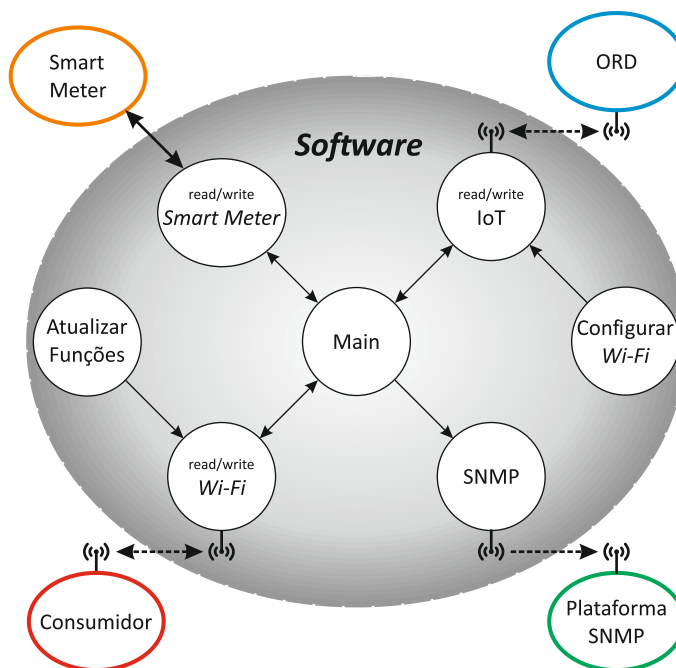


Figura 4.9: Sub-rotinas do Software.

A sub-rotina *read/write smart meter* é responsável pela comunicação com o *Smart Meter* através da porta RS-485. Esta sub-rotina será executada ciclicamente, caso não ocorra nenhum pedido de estabelecimento de comunicação pelos outros canais NAN ou HAN. Para garantir a integridade da comunicação serão implementados mecanismos de detecção de erros (CRC - *Cyclic Redundancy Check*) e de *time-out*.

A sub-rotina *read/write Wi-Fi* é desencadeada por *hardware* responsável por disponibilizar ao consumidor os dados armazenados na unidade central de processamento, através da sub-rotina anterior. A comunicação entre o consumidor e a unidade central de processamento será realizada através da tecnologia *Wi-Fi* sobre o protocolo UDP/IP. Para garantir a integridade da comunicação serão implementados mecanismos de retransmissão por *time-out*.

Além disso, através desta sub-rotina, é possível atualizar as sub-rotinas implementadas com possibilidade de *rollback* à versão anterior, em caso de mau funcionamento. Esta funcionalidade será implementada através da tecnologia HAN, devido à limitação imposta pelo número de mensagens de *downlink* e *uplink* da tecnologia NAN.

A sub-rotina *snmp* é responsável pela comunicação entre a unidade central de processamento e uma plataforma SNMP através da tecnologia HAN como, por exemplo, a plataforma *Zabbix*. Esta sub-rotina reporta o mau funcionamento do protótipo, como é solicitado no desafio (sem resposta do *smart meter*, sem ligação com *router Wi-Fi*, *reboots*, *resets*, acessos remotos).

As comunicações entre o ORD e a unidade central de processamento serão asseguradas pela sub-rotina *read/write IoT* através de TCP/IP e da tecnologia de comunicação NAN. Esta sub-rotina,

também ela desencadeada por *hardware*, garante que, em cada momento, só há uma sessão de comunicação ativa na unidade central de processamento. Desta forma, caso ocorra um pedido de estabelecimento enquanto decorre uma sessão de comunicação esta ficará pendente. Além disso, através desta sub-rotina, o ORD poderá parametrizar o módulo *Wi-Fi*.

4.2.1. Exemplos de Tramas

As tramas são uma forma de organizar e estruturar uma comunicação, agrupando a informação em blocos. É necessário destacar as diferenças entre as tramas de *uplink* e *downlink*. As primeiras correspondem às mensagens enviadas pelos *modems* para as *base-stations* e as segundas no sentido inverso. Posteriormente são expostas as tramas da *Sigfox*, do *Modbus* e do *Wi-Fi*, respetivamente.

Na Figura 4.10, são demonstradas as tramas de *uplink* da *Sigfox*.

Preamble	Frame Sync.	End-Device ID	Payload	Authentication	Frame Sequence Check	Uplink MAC Frame
4 Bytes	2 Bytes	4 Bytes	0 - 12 Bytes	Variable	2 Bytes	

Figura 4.10: Formato de uma trama *uplink* *Sigfox*

Preamble	Frame Sync.	Flags	Frame Sequence Check	Authentication	Error Codes	Payload	Downlink MAC Frame
32 Bits	13 Bits	2 Bits	8 Bits	16 Bits	Variable	Variable	

Figura 4.11: Formato de uma trama *downlink* *Sigfox*.

Observando a Figura 4.10, destaca-se que a trama de *uplink* *Sigfox* tem um *payload* máximo 12 *bytes*. Existirá um *overhead* de 14 *bytes*, onde figura um *timestamp* e uma identificação do módulo, bem como informação para autenticação e deteção de erros, perfazendo uma mensagem de tamanho máximo de 26 *bytes*. As tramas de *downlink*, ilustrada na Figura 4.11, têm um *payload* mais reduzido, no máximo 8 *bytes* [27].

Na Figura 4.12, estão representadas as tramas pertencentes ao *Modbus*. Estas tramas contam com 1 *byte* para indicar ao *slave* a sua direção e outro *byte* indicando o tipo de função desejada. Os dados enviados podem abranger entre 0 e 252 *bytes*, acabando com a verificação cíclica de redundância para detetar a possível existência de erros na comunicação.

Address	Function	Data	Cyclic Redundancy Check
1 Byte	1 Byte	0 - 252 Bytes	2 Bytes

Figura 4.12: Formato de uma trama Modbus.

Na trama Wi-Fi, apresentada na Figura 4.13, o *Frame Control* contém as informações de controlo estruturadas, na *Duration ID* é sinalizado o tempo que falta até à próxima transmissão. Nos próximos 18 bytes são indicados os endereços (*Address*) MAC do dispositivo ou recetor AP, no caso de haver necessidade de fragmentar/dividir alguma transmissão o *Sequence Control* assume o papel de manter a ordem correta da mensagem, atribuindo o número da sequencia e do fragmento enviado. O *Frame Body*, como o nome indica, é o corpo da mensagem e pode ter até 2342 bytes.

Frame Control	Duration ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Frame Body	Frame Sequence Check
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	0- 2342 Bytes	2 Bytes

Figura 4.13: Formato de uma trama Wi-Fi.

Capítulo 5

Neste capítulo são enunciadas as principais conclusões do trabalho realizado e sugeridas direções de investigação para desenvolvimentos futuros.

5. Conclusão

5.1. Considerações Finais

Esta dissertação incidiu sobretudo no desenvolvimento de uma nova tecnologia, ainda muito recente, com foco na tecnologia IoT para a realização das comunicações entre os *smart meters* e os ORDs, assim como a utilização da tecnologia de comunicação Wi-Fi para partilhar a informação aos consumidores em tempo real.

Foi realizado um estudo sobre as diversas tecnologias sem fios existentes até ao momento, tendo em conta o seu preço, dificuldade de implementação, alcance e energia necessária para a sua utilização. Com base na bibliografia, verificou-se que a implementação de um módulo de comunicação em *smart meters* seria uma tecnologia inovadora, mas também com um custo reduzido, com isto foi também proposta esta solução a um desafio realizado pela *EDP Distribuição* “Communications module NB-IoT + Wi-Fi for smart meter”, sendo uma das nove soluções finalistas, no qual não foi vencedor, como comprovado em anexo.

Este protótipo desenvolvido permite uma maior participação do consumidor, uma maior consciencialização na utilização de energia elétrica, um maior aproveitamento dos recursos disponíveis e uma maior eficiência, exploração e planeamento do sistema elétrico nacional.

O protótipo proposto, em termos de *hardware*, apresenta as seguintes características:

- A alimentação do protótipo é realizada através de um conector RJ12, o que permite a ligação a qualquer tipo de dispositivo (*smart meters*).
- Possui uma unidade de comunicação NAN com uma potência de transmissão de +16dBm. Além disso, possibilita a ligação de uma antena externa, com conector SMA macho;
- Possui uma unidade de comunicação HAN com uma potência de transmissão de +13dBm através de uma antena interna;

- Inclui um *whatchdog* externo que permite supervisionar o funcionamento da unidade central de processamento e monitorizar os níveis de tensão do protótipo.
- Permite a comunicação através do modo *full duplex* (4 fios) com um *smart meter*.

Já em termos de *software*, o protótipo proposto apresenta as seguintes características:

- Apenas haverá uma sessão de comunicação ativa HAN ou NAN com o *smart meter*;
- Inclui mecanismos para garantir a integridade das comunicações;
- A comunicação entre o consumidor e a unidade central de processamento é realizada através da tecnologia Wi-Fi sobre o protocolo UDP/IP e a comunicação entre o ORD e a unidade de central de processamento será realizada através da tecnologia IoT sobre TCP/IP;
- Permite atualizar as sub-rotinas implementadas, através da tecnologia HAN, com possibilidade de *rollback* à versão anterior em caso de mau funcionamento;
- Permite parametrizar o módulo Wi-Fi através da tecnologia NAN.

Em suma, os objetivos traçados foram em grande parte cumpridos apesar de se tratar de uma tecnologia recente.

5.2. Trabalhos Futuros

Sendo esta uma tecnologia a imergir, é possível destacar algumas direções para futuras investigações, visto que foram usadas tecnologias que continuam em constante desenvolvimento.

Posto isto, destacam-se as seguintes direções de investigação:

- Integrar, diretamente, este módulo em contadores;
- Estender este módulo de comunicação para outros dispositivos, como por exemplo, contadores de água e gás;
- Otimizar o *software* do módulo de comunicação;
- Desenvolver uma base de dados para armazenar todos os dados recolhidos;

Referências Bibliográficas

- [1] M. Yun and B. Yuxin, "Research on the architecture and key technology of Internet of Things (IoT) applied on smart grid," *2010 Int. Conf. Adv. Energy Eng. ICAEE 2010*, pp. 69-72, 2010.
- [2] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosyst. Eng.*, vol. 164, pp. 31-48, 2017.
- [3] M. M. Rathore, A. Ahmad, A. Paul, and G. Jeon, "Efficient Graph-Oriented Smart Transportation Using Internet of Things Generated Big Data," *Proc. - 11th Int. Conf. Signal-Image Technol. Internet-Based Syst. SITIS 2015*, pp. 512-519, 2016.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 2015.
- [5] S. Talari, M. Shafie-Khah, P. Siano, V. Loia, A. Tommasetti, and J. P. S. Catalão, "A review of smart home applications based on Internet of Things," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 97, pp. 48-65, 2017.
- [6] P. Sethi and S. R. Sarangi, "Internet Of Things: Architectures, Protocols, and Applications," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 07, no. 06, pp. 85-88, 2017.
- [7] J. Nagy, J. Ol, and E. Erdei, "The Role and Impact of Industry 4 . 0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain – The Case of Hungary," *Sustainability*, 2018.
- [8] R. Jiang, "A review of Network Topology," *4th Int. Conf. Comput. Mechatronics, Control Electron. Eng. (ICCMCEE 2015)*, no. Iccmcee, pp. 1174-1177, 2015.
- [9] M. Rashid and R. Faiz, "ZigBee : Simulation and Investigation of Star and Mesh Topology by using different Transmission Bands," *AIUB J. Sci. Eng.*, no. August, 2015.
- [10] D. Ok, F. Ahmed, M. Agnihotri, and C. Cavdar, "Self-organizing mesh topology formation in Internet of things with heterogeneous devices," *EuCNC 2017 - Eur. Conf. Networks Commun.*, pp. 1-5, 2017.
- [11] A. Ahmad and Z. Hanzalek, "An Energy Efficient Schedule for IEEE 802.15.4/ZigBee Cluster Tree WSN with Multiple Collision Domains and Period Crossing Constraint," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 14, no. 1, pp. 12-23, 2018.
- [12] A. M. Turri, R. J. Smith, and S. W. Kopp, "Privacy and RFID Technology: A Review of Regulatory Efforts," *J. Consum. Aff.*, vol. 51, no. 2, pp. 329-354, 2017.
- [13] X. Tan, H. Wang, L. Fu, J. Wang, H. Min, and D. W. Engels, "Collision Detection and Signal Recovery for UHF RFID Systems," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 239-250, 2018.

- [14] S. S. Hassan, S. Das Bibon, M. S. Hossain, and M. Atiquzzaman, "Security threats in Bluetooth technology," *Comput. Secur.*, vol. 74, pp. 308-322, 2018.
- [15] G. Pan, J. He, Q. Wu, R. Fang, J. Cao, and D. Liao, "Automatic Stabilization of Zigbee Network," *2018 Int. Conf. Artif. Intell. Big Data*, pp. 224-227, 2018.
- [16] M. Arrumm, "ZigBee Sensor Network: A Study on Methods of Measuring Energy Consumption," *Metropolia University of Applied Sciences*, 2018.
- [17] M. B. Yassein, W. Mardini, and A. Khalil, "Smart homes automation using Z-wave protocol," *Proc. - 2016 Int. Conf. Eng. MIS, ICEMIS 2016*, 2016.
- [18] W. Lehr and L. W. McKnight, "Wireless Internet access: 3G vs. WiFi?," *Telecomm. Policy*, vol. 27, no. 5-6, pp. 351-370, 2003.
- [19] H. Zhu *et al.*, "Review of state-of-the-art wireless technologies and applications in smart cities," *Proc. IECON 2017 - 43rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 2017-Janua, pp. 6187-6192, 2017.
- [20] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey," *Lethaia*, vol. 36, no. 4, pp. 315-322, 2003.
- [21] F. Wortmann and K. Flüchter, "Internet of Things: Technology and Value Added," *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 57, no. 3, pp. 221-224, 2015.
- [22] M. S. Mahmoud and A. A. H. Mohamad, "A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications," *Adv. Internet Things*, vol. 06, no. 02, pp. 19-29, 2016.
- [23] G. G. L. Ribeiro, L. F. De Lima, L. Oliveira, J. J. P. C. Rodrigues, C. N. M. Marins, and G. A. B. Marcondes, "An outdoor localization system based on SigFox," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2018-June, pp. 1-5, 2018.
- [24] T. M. Workgroup, "A technical overview of LoRa and LoRaWAN," 2015.
- [25] J. P. Bardyn, T. Melly, O. Seller, and N. Sornin, "IoT: The era of LPWAN is starting now," *Eur. Solid-State Circuits Conf.*, vol. 2016-October, pp. 25-30, 2016.
- [26] R. Sanchez-Iborra and M. D. Cano, "State of the art in LP-WAN solutions for industrial IoT services," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 5, 2016.
- [27] R. M. Barbosa Ribeiro, "Sistema de monitorização do consumo de água utilizando tecnologia Sigfox," *Universidade do Porto*, 2017.
- [28] A. Rita and C. Machado, "Serviços e Operações das Redes Inteligentes : Inovgrid - Qualidade e Desempenho - Estágio na EDP Distribuição," *Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*, 2018.
- [29] EDP Distribuição, "Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público Guia técnico e logístico de boas práticas," 2015.

- [30] ERSE and KEMA, “Estudo sobre contadores inteligentes de electricidade e de gás natural Relatório 1E/G: Situação actual e experiência com projectos-piloto em Portugal,” pp. 1-71, 2012.
- [31] M. Odusami, I. P. Okokpujie, and O. A. Akinola, “An Automated Energy Meter Reading System Using GSM Technology,” pp. 4-6, 2017.
- [32] R. Q. Cetina, A. J. Roscoe, and P. S. Wright, “A review of electrical metering accuracy standards in the context of dynamic power quality conditions of the grid,” *2017 52nd Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1-5, 2017.
- [33] P. J. Santos Pontes, “Desenvolvimento de um contador digital com leitura de harmónicos,” Universidade do Minho, 2015.
- [34] B. Have, C. Keyer, and F. Leferink, “Monitoring of Power Measured by Static Energy Meters for Observing EMI Issues,” *IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat.*, vol. 2018-Augus, pp. 903-907, 2018.
- [35] A. Arif, M. Ai-hussain, N. Ai-mutairi, and E. Ai-ammar, “Experimental Study and Design of Smart Energy Meter for the Smart,” pp. 1-6, 2013.
- [36] S. Shekara, S. Reddy, L. Wang, V. Devabhaktuni, and N. Gudi, “Smart Meters for Power Grid - Challenges, Issues, Advantages and Status,” *IEEE*, pp. 1-7, 2011.
- [37] J. M. Bandeira, “Produção Sustentável em BT- Análise de Características de Contadores Inteligentes,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [38] S. . EDP - Energias de Portugal, “Relatório e contas 2015,” 2015.
- [39] F. António, “Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica - Comunicações Wireless,” Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [40] H. F. Batista Ferreira, “Estágio na EDP Distribuição - Energia S.A. Direção de Rede e Clientes Tejo ESTUDO DE REDES,” Instituto Politécnico de Tomar, 2017.

Anexo



Certificado de Participação
Finalista do desafio: Módulo de
comunicações NB-IoT + WiFi para smart
meter



Certifica-se que David Marques Varandas, que se encontra inscrito na plataforma InoCrowd como Solucionador (Solver), participou no desafio Módulo de comunicações NB-IoT + WiFi para smart meter, que esteve ativo durante o período de 06/07/2018 a 15/10/2018, tendo apresentado uma proposta de solução inovadora com o título Módulo de Comunicações NB-IoT + Wi-Fi para Smart Meter .

Esta solução foi bem recebida, analisada e avaliada pelo respetivo Desafiante (Seeker), designadamente a empresa EDP Distribuição, que manifestou satisfação com a qualidade técnica e científica, bem como com a criatividade e caráter inovador da solução, tendo a sua proposta ficado entre as 9 finalistas.


Soraya Gadit, CEO & Founder

INOCROWD NIF: 500-901 336
Membro da Empresa DNA Cascais
Certificado 3 - 15/10/2018
2645-493 Alcabdoche | 214 680 185