

Sistema de Gestão de Energia Elétrica – Plug Control Unit

Pedro Gonçalo Guedes Lopes Praça

Dissertação apresentada à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Industrial – Ramo Engenharia Eletrotécnica

Trabalho realizado sob a orientação de:
Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares
Professor Doutor José Luís Sousa de Magalhães Lima

Outubro de 2016

Sistema de Gestão de Energia Elétrica – Plug Control Unit

Pedro Gonçalo Guedes Lopes Praça

Relatório Final de Projeto apresentado na
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Industrial – Ramo Engenharia Eletrotécnica

Trabalho realizado sob a orientação de:
Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares
Professor Doutor José Luís Sousa de Magalhães Lima

Outubro de 2016

Certifico que li este relatório e que na minha opinião, é adequado no seu conteúdo e forma como demonstrador do trabalho desenvolvido no âmbito da UC de Projeto.

Orientador

Certifico que li este relatório e que na minha opinião, é adequado no seu conteúdo e forma como demonstrador do trabalho desenvolvido no âmbito da UC de Projeto.

Coorientador

Certifico que li este relatório e que na minha opinião, é adequado no seu conteúdo e forma como demonstrador do trabalho desenvolvido no âmbito da UC de Projeto.

Arguente

Aceite para avaliação da UC de Projeto

Agradecimentos

Este projeto representa o fim do meu percurso académico e, por isso, não posso deixar de prestar o meu reconhecimento a todas as pessoas que de alguma forma o marcaram.

Começo por agradecer ao Eng. António Morais, por ter idealizado este projeto e por todo o apoio prestado.

Agradeço aos Professores Doutores Orlando Soares e José Lima pela disponibilidade e esclarecimentos prestados. A sua ajuda foi fundamental para a concretização deste projeto.

Não posso deixar de agradecer ao Tiago Magalhães, João Cunha e José Couto pela amizade e por todos os momentos inesquecíveis que passámos em Bragança. E obrigada aos meus amigos de sempre, Guilherme Silva, Fábio Morais e João Santos por todo o apoio e companheirismo.

À Tânia, o meu muito obrigado pelo incentivo constante e apoio incondicional. Sem a sua presença tudo teria sido muito mais difícil.

Por fim, aos meus pais e irmão pelo suporte, carinho e compreensão. Foram sempre a minha fonte de inspiração.

Resumo

Um Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica, como o próprio nome indica, consiste no uso inteligente e eficiente da energia elétrica, pois a produção, tratamento e controlo da energia são feitos racionalmente e de forma responsável. Isto traz grandes vantagens a vários níveis, quer para o utilizador que consegue reduzir a sua fatura de eletricidade, quer para o meio ambiente. Este sistema faz com que se gaste menos energia logo, vai haver uma menor produção de CO₂, bem como uma poupança efetiva dos recursos naturais existentes no planeta.

A implementação do sistema inteligente de gestão de energia elétrica em causa é referente à automação de uma habitação e encontra-se dividida em várias partes. Este projeto centra-se na parte relativa à comunicação entre eletrodomésticos e o módulo de controlo.

De uma forma mais ampla, este projeto consiste em analisar perfis de consumo de eletrodomésticos presentes numa habitação, sendo estes corretamente identificados como pertencentes a uma máquina de lavar ou uma bomba de calor, por exemplo. Com base no perfil de consumo dos eletrodomésticos, a previsão meteorológica e respetiva estimativa de produção de energia a partir de sistemas fotovoltaicos, os eletrodomésticos entram em funcionamento automaticamente tentando tirar o maior benefício dessa produção.

O momento em que cada eletrodoméstico entra em funcionamento é a chave deste projeto. O eletrodoméstico é ligado a uma “tomada inteligente” que utiliza protocolos de comunicação para ser ativada ou desativada. O protocolo de comunicação foi escolhido com base numa análise do mercado, tendo sido delineados critérios bem definidos. De seguida foi escolhida a “tomada inteligente”, bem como os respetivos módulos necessários à comunicação. Por fim, foi feita a configuração dos módulos e implementado o algoritmo desenvolvido.

Palavras-chave: Tomada inteligente, módulos, protocolo de comunicação, ZigBee

Abstract

An Intelligent System for Electrical Energy Management consists in a smart and efficient use of electricity, allowing a thoroughly production, processing and power control. This leads to great advantages on various levels, namely for the user who can reduce their electricity bill, as well as for the environment. This system makes it possible to save energy contributing to reduce the CO₂ production and to spare the natural resources existing on our planet.

The implementation of an intelligent electrical energy management system for home automation is divided into several parts. This project focuses on the communication between home appliances and the control module.

In a broader sense, this project consists in analyzing consumption profiles of home appliances, which are correctly identified as belonging to a washing machine or a heat pump, for example. Based on the house consumption profile, the weather forecast and estimated energy production of photovoltaic systems, the home appliance automatically start working trying to get the greatest benefit of this production.

The moment in which each home appliance starts working is the key of this project. The appliance is connected to a "smart plug" that uses communication protocols to be enabled or disabled. The communication protocol was chosen based on a market analysis, which was performed using clearly defined criteria. Then, the "smart plug" was selected, as well as the modules required for communication. Finally, the modules configuration was done and the designed algorithm implemented.

Keywords: Smart plug, modules, communication protocol, ZigBee

Índice

Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Organização da dissertação	2
Capítulo 2	3
Sistemas Inteligentes de Gestão de Energia Elétrica (SIGEE)	3
2.1. Introdução	3
2.2. O Porquê dos SIGEE	5
2.3. História dos SIGEE	6
2.4. Os SIGEE em Portugal	8
2.5. Vantagens gerais da implementação de um SIGEE numa habitação	9
Capítulo 3	11
Metodologia	11
3.1. Contextualização do Problema	11
3.2. Análise do Mercado	11
3.2.1. Protocolo X10	11
3.2.4. Protocolo Wi-Fi	12
3.2.2. Protocolo Z-Wave	13
3.2.3. Protocolo ZigBee	13
3.2.5. Protocolo BLE – Bluetooth Low Energy	15
3.2.6. Análise do Mercado: parecer final	15
3.3. Módulos	16
3.3.1. Tomada	16
3.3.2. Módulos Arduino	18
3.3.2.1. Arduino	18

3.3.2.1. XBee	19
3.3.2.1. Shield - XBee.....	21
3.4. Montagem Prática	21
3.5. Configuração do XBee	24
3.6. Configuração da “tomada inteligente”.....	30
3.7. Explicação do Código.....	31
Capítulo 4	33
Testes e Análise de resultados	33
Capítulo 5	37
Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	37
5.1. Conclusão	37
5.2. Trabalhos futuros	38
Referências	39

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema Representativo do SIGEE numa habitação.	3
Figura 2 - Produção mundial de energia elétrica em 2000 [2].	5
Figura 3 - Produção mundial de energia elétrica em 2014 [2].	6
Figura 4 - Topologia Z-Wave [9].	13
Figura 5 - Topologias do Protocolo de Comunicação ZigBee [12].	14
Figura 6 - Tomada re:dy +.	17
Figura 7 - Arduíno Uno.	18
Figura 8 - XBee 2mW com Antena – Série 2 (ZigBee Mesh) e datasheet.	19
Figura 9 - Shield - Xbee.	21
Figura 10 - Montagem com o Software Fritzing.	22
Figura 11 - XBee Série 2 e Shield acoplados.	22
Figura 12 - Pins ICSP.	23
Figura 13 - Montagem final.	23
Figura 14 - Modo USB Shield Xbee.	24
Figura 15 - Interface XCTU.	25
Figura 16 - Selecionar porta USB.	26
Figura 17 - Identificação do módulo XBee.	26
Figura 18 - Update firmware.	27
Figura 19 - Update firmware - parâmetros selecionados.	27
Figura 20 - XBee no modo Coordinator API.	28
Figura 21 - Identificação da rede.	28
Figura 22 - Montagem para a configuração da “tomada inteligente”.	28
Figura 23 - Endereço SH Serial Number High e SL Serial Number Low.	29
Figura 24 - Atribuição dos endereços de destino ao XBee Coordinator.	29
Figura 25 - Configurações principais do XBee.	29
Figura 26 - Endereço DH Destination Address High e DL Destination Address Low.	30
Figura 27 - Atribuição do endereço ao End Device.	30
Figura 28 - Simulação Arduíno.	33
Figura 29 - Modo Consola.	33
Figura 30 - Como fazer a conexão entre módulos.	34
Figura 31 - Teste do modelo final com a sequência 0 1 0 1 1 0 0.	34
Figura 32 - Teste do modelo final com a sequência 1 0 1 0 1 0.	35

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Custos das Tomadas e Módulos.	15
Tabela 2 - Características da Tomada EDP re:dy +.....	17
Tabela 3 - Arduíno Uno - Especificações Técnicas [19]......	19
Tabela 4 - Xbee Séries 2 Especificações Técnicas [20].	20

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas	Descrição
AMM	Automatic Meter Management
API	Application Programming Interface
BT	Baixa Tensão
DH	Destination Address High
DL	Destination Address Low
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTC	Distribution Transformer Controlers
EB	Energy Box
EDP	Energias de Portugal
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
FED	Front-End Device
GPRS	General Packet Radio Service
LED	Light Emitter Diode
PLC	Power Line Communication
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Rádio Frequência
SIGEE	Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica
SRAM	Static Random Access Memory
SH	Serial Number High
SL	Serial Number Low
USB	Universal Serial Bus

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento

Um Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica (SIGEE) assenta perfeitamente num lema que hoje em dia se ouve em praticamente todas as áreas: “fazer mais com menos”.

A aplicação da tecnologia do SIGEE visa fornecer benefícios aos consumidores de energia elétrica e à economia, através de uma utilização mais eficiente do sistema elétrico na satisfação das necessidades do consumidor. Assim, é possível gastar-se menos dinheiro com energia e reduzir o gasto dos recursos provenientes das energias não renováveis.

O consumo de energia elétrica numa habitação representa um dos maiores gastos mensais de uma família. Arranjar mecanismos que permitam poupar na fatura da eletricidade pode ajudar muito a maioria dos portugueses, e não só.

Os edifícios, por exemplo, correspondem a 40% do consumo total de energia na Europa (30% em Portugal). Mas, em muitos casos, esse consumo poderia cair para menos de metade com as soluções certas [1].

Com vista a dar resposta a estas necessidades, surge este projeto, que usa as potencialidades dos sistemas inteligentes de gestão de energia elétrica para promover a redução do consumo de energia elétrica numa habitação, com o intuito de integrar a produção de energia de origem renovável, em particular a energia solar fotovoltaica.

1.2. Objetivos

Este trabalho consiste na aplicação de um Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica a uma habitação, mais precisamente, na monitorização e no controlo do uso de eletrodomésticos domésticos.

Cada vez mais, o consumidor pretende tomar decisões com vista à otimização do seu consumo elétrico, ou seja, com maior consciencialização e informação.

Com isto, o principal objetivo passa por fazer a comunicação entre uma “tomada inteligente” e um módulo de controlo, para que esta seja ativada ou desativada em função do consumo energético de uma habitação. O módulo de controlo e a “tomada inteligente” comunicam entre si através de um protocolo de comunicação. A escolha do protocolo a utilizar resultou de uma pesquisa cuidada das tecnologias e protocolos de comunicação existentes no mercado.

1.3. Organização da dissertação

A presente tese encontra-se organizada em 5 capítulos.

O Capítulo 1 é referente à Introdução, em que é feito um enquadramento do projeto, definição dos seus objetivos e descrição da organização da dissertação.

O Capítulo 2 aborda a temática dos Sistemas Inteligentes de Gestão de Energia Elétrica, explicando o que são, quando surgiram, porque são necessários, quais as suas aplicações, terminando com um ponto de situação da sua utilização em Portugal.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para a concretização dos objetivos. Neste capítulo é justificada a escolha do protocolo de comunicação, o XBee, e dos respetivos módulos. Também é explicado como foi feita a configuração do XBee e da “tomada inteligente” e as linhas gerais do código que permitem estabelecer a comunicação.

No Capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho e as perspetivas de novos desenvolvimentos.

Capítulo 2

Sistemas Inteligentes de Gestão de Energia Elétrica (SIGEE)

2.1. Introdução

Um Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica utiliza tecnologia digital e de comunicação para coordenar as ações dos eletrodomésticos presentes numa habitação, fazendo com que estes funcionem de uma forma autónoma com base nas pretensões do consumidor e na energia produzida proveniente da fonte de energia associada a este sistema. Tudo isto, para utilizar a energia produzida da maneira mais eficiente e assim, não serem necessários gastos com a energia proveniente da rede.

Na Figura 1 é apresentado um esquema representativo do que se pretende implementar neste projeto.

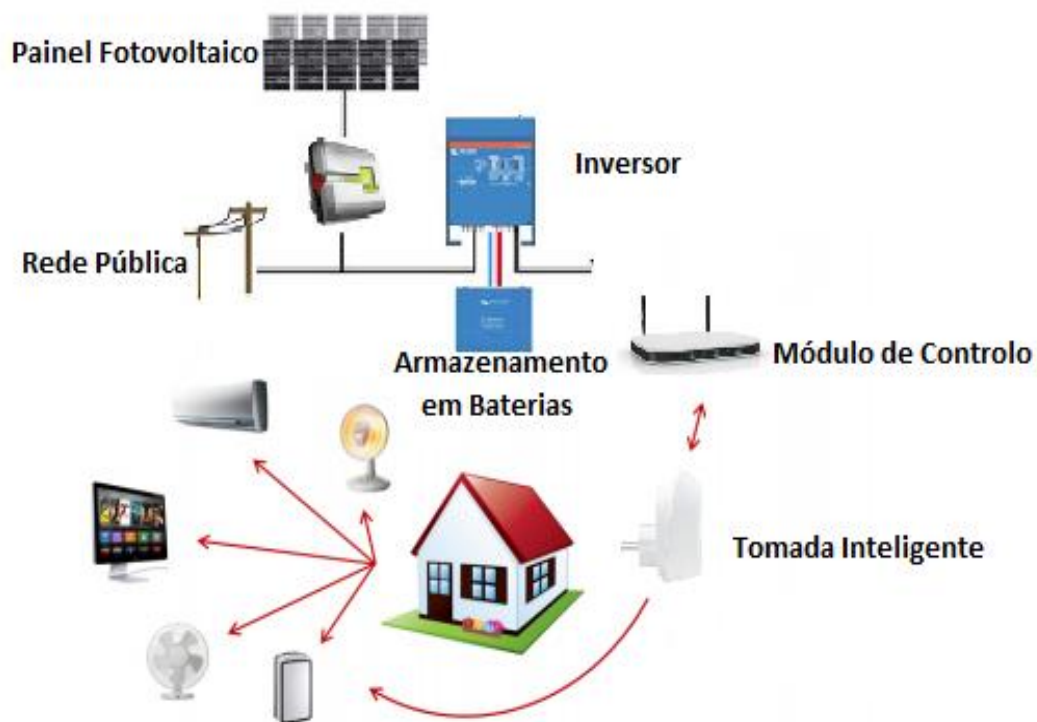


Figura 1 - Esquema Representativo do SIGEE numa habitação.

Com base na Figura 1, é de salientar que a habitação é alimentada por uma energia renovável, neste caso painéis fotovoltaicos, e pela rede pública. Existindo radiação solar,

os painéis fotovoltaicos produzem energia que é consumida na habitação ou armazenada em baterias caso o consumo energético seja menor que o produzido. A energia armazenada é depois utilizada nos períodos em que não há radiação solar, ou então é fornecido à rede, nos termos regulados pelo regime legal da produção para autoconsumo.

A rede pública só atua se as baterias estiverem sem carga, ou na ausência destas, ou se os painéis fotovoltaicos não produzirem energia necessária para satisfazer o consumo da habitação.

O módulo de controlo e a “tomada inteligente” são fundamentais no sistema, assim como a sua interligação. O módulo de controlo tem a capacidade de analisar os consumos da habitação e o produzido pelos painéis fotovoltaicos. Tem também acesso à previsão meteorologia horária e a uma base de dados com os perfis de consumo standard de cargas domésticas e sistemas elétricos, tais como: máquinas de lavar e secar roupa, frigoríficos, entre outros.

Com base nestas capacidades, é colocada uma “tomada inteligente” na conexão entre o eletrodoméstico e a tomada de parede. Quando for necessário ativar ou desativar o eletrodoméstico, o módulo de controlo manda um sinal à “tomada inteligente”, para que o eletrodoméstico entre em funcionamento.

De seguida é apresentado um exemplo representativo. Imaginemos um caso em que é necessário colocar uma máquina de lavar em funcionamento. O processo começa com o módulo de controlo a aceder à base de dados para obter o perfil de consumo da máquina de lavar. De seguida, o sistema a partir da energia prevista a ser produzida pelo sistema fotovoltaico, com base nas previsões meteorológicas, analisa o consumo da instalação, bem como a energia que está armazenada nas baterias no momento atual, caso existam. Se a diferença for menor que o perfil de consumo, a máquina de lavar entra logo em funcionamento. Mas, caso a diferença seja maior, o módulo de controlo faz uma previsão com base no acesso às condições meteorológicas, e fica agendado ligar a máquina de lavar na altura mais económica, ou seja, em que não se necessite de energia proveniente da rede, ou se for necessária, que seja o mínimo possível. Em último caso, se houver urgência, é possível por a máquina de lavar sem considerar estes parâmetros.

2.2. O Porquê dos SIGEE

A energia elétrica provém de fontes renováveis e não renováveis. Todas as fontes de energia têm características que as tornam particularmente úteis em áreas específicas. Estas fontes podem e devem complementar-se umas às outras.

Os combustíveis fósseis são importantes para a o setor dos transportes, químico e industrial. São também vastamente usados para a geração de eletricidade em países onde a industrialização está na sua fase inicial.

Quanto às energias renováveis, o uso da energia solar e eólica é completamente dependente das condições atmosféricas. Por exemplo, as turbinas eólicas só podem trabalhar 20 a 30 por cento do dia. No entanto, as reservas de combustíveis fósseis não vão durar para sempre. O transporte de combustíveis, especialmente o carvão, desde o seu ponto de extração, permanece um problema por resolver. Acresce ainda o facto de haver uma procura cada vez mais intensa da energia elétrica, devido ao crescimento das indústrias e desenvolvimento tecnológico das grandes potências mundiais, como pode ser visto comparando as Figuras 2 e 3.

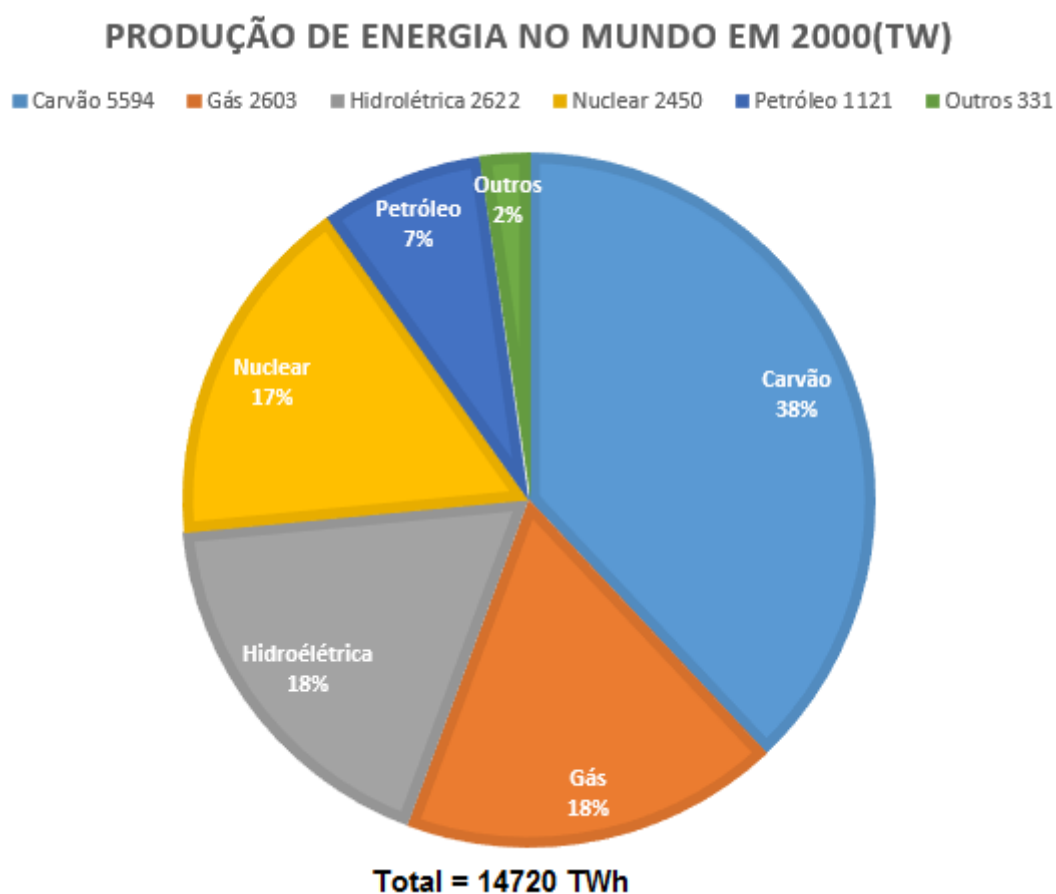


Figura 2 - Produção mundial de energia elétrica em 2000 [2].

PRODUÇÃO DE ENERGIA NO MUNDO EM 2014(TW)

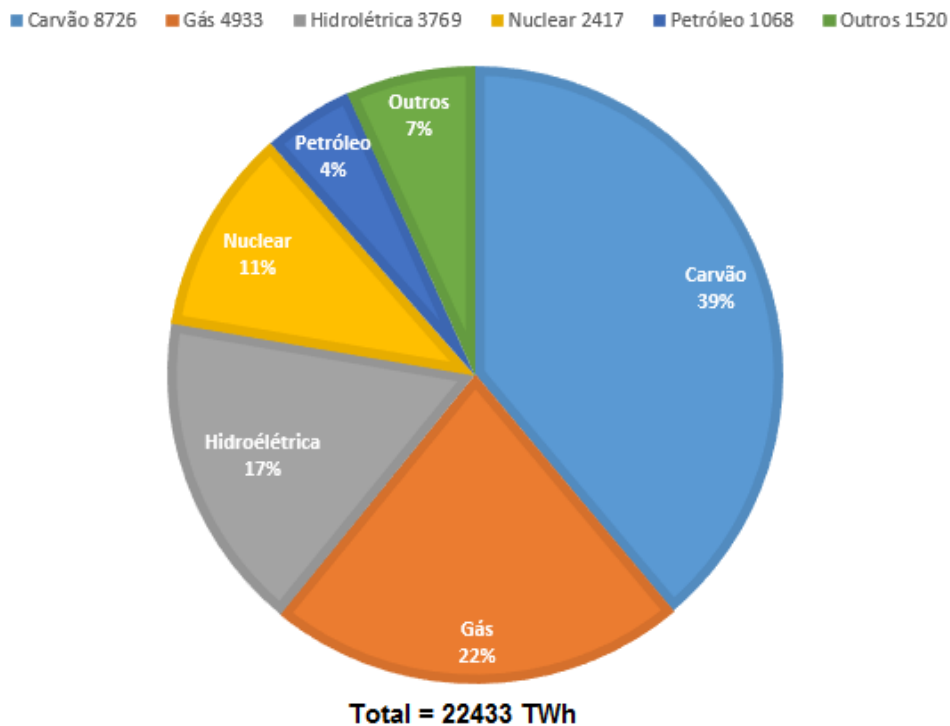


Figura 3 - Produção mundial de energia elétrica em 2014 [2].

Através da análise das Figuras 2 e 3 percebe-se que de 2000 para 2014 houve um aumento de 7713 TWh na produção mundial de energia, o que representa um aumento de 52,4%. No entanto, as previsões apontam para que o consumo energético continue a aumentar.

Tendo-se consciência desta realidade, é necessário adotar medidas com vista a reverter esta situação. Uma dessas medidas passa pelo uso de sistemas inteligentes de gestão de energia elétrica. Estima-se que estes sistemas permitem uma redução de aproximadamente 30% do consumo energético no sector residencial.

2.3. História dos SIGEE

O Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica não se encontra só em habitações, apesar de este ser o foco desta tese. O SIGEE está presente desde a primeira etapa de conceção de energia. Atualmente, este é um tema muito falado e cada vez mais explorado. Até ao SIGEE surgir, muitas invenções e experiências foram feitas para que fosse possível criar o primeiro sistema elétrico de energia.

O primeiro passo foi dado em 1879, quando Thomas Edison inventou o que é considerado o início da lâmpada moderna. Três anos mais tarde, em 1882, ele e com base nos resultados obtidos, chegou até à primeira rede elétrica em Manhattan. Em menos de 100 anos e com muitos intervenientes pelo meio, a eletricidade tornou-se amplamente disponível [3].

Atualmente a energia é fornecida através de redes elétricas, que chegam aos quatro cantos do mundo. Com o avançar dos anos, a rede elétrica foi ficando sobrecarregada e ineficiente, devido ao crescente número de habitantes e ao avanço tecnológico. Para combater estas contrariedades, tiveram de ser tomadas medidas, pois o consumo excessivo de energia cria problemas a vários níveis e deixa o futuro comprometido.

É aqui que surge o SIGEE, recorrentemente associado a redes inteligentes, as “Smart Grid”, que é apresentada como a solução imperativa para resolver muitos problemas das redes de energia pelo mundo fora.

O termo Smart Grid foi utilizado pela primeira vez em 2005, num artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado na revista IEEE P&E, com o título de "Toward A Smart Grid" [4]. Mas antes de 2005 já tinham sido feitas tentativas de implantação das Smart Grid.

As Smart Grid, que na altura não eram assim denominadas, surgiram a partir de tentativas de monitorizar e medir o consumo energético.

No ano de 1981, a leitura automática do medidor foi utilizada para monitorizar cargas de grandes empresas; em 1991 evoluiu para a infraestrutura de medição avançada, onde já podiam ser vistos os gastos energéticos em vários momentos do dia [5].

Os contadores inteligentes vieram adicionar comunicações contínuas, de modo que a monitorização pode ser feita em tempo real. Foi a partir daqui que surgiu a possibilidade de se utilizarem dispositivos de *response-aware*, mais conhecidos como “tomadas inteligentes”, para o meio habitacional.

As primeiras formas desta tecnologia de gestão de energia consistiram em dispositivos ditos conscientes da demanda. Estes dispositivos sentem a carga na rede através da monitorização de mudanças da frequência da fonte. Exemplos disto são o ar condicionado industrial ou doméstico, frigoríficos e aquecedores.

As Smart Grid têm vindo a mudar a maneira de pensar e interagir com o sistema elétrico. Uma prova disso é que os Estados Unidos entre 2011 e 2016 investiram 4,5

bilhões de dólares em 40 milhões de contadores inteligentes bidirecionais, bem como noutros projetos Smart Grid [5].

2.4. Os SIGEE em Portugal

A forte pressão da regulação e as mudanças macroeconómicas na Europa, com especial impacto no mercado do sistema energético, definiram a necessidade de implementar sistemas inteligentes de gestão de energia elétrica, integrados em Smart Grids, em Portugal. Portugal tem a seu favor o facto de ser um país com grande potencial para as energias renováveis. Devido a isto, houve necessidade de inovação, e a EDP apresentou o projeto “InovGrid” em resposta a estes desafios. Este projeto assenta nestes três pilares:

- Contadores inteligentes, projetado para implementar todo o sistema de AMM (Automatic Meter Management).
- Redes inteligentes, que visam melhorar a eficiência e fiabilidade da rede, através da introdução de um novo nível de inteligência sobre os sistemas de gestão existentes.
- Micro-geração, que consiste na instalação de uma rede elétrica ativa, incluindo soluções de self-healing (auto-reset), de forma a permitir o funcionamento em ilha e recuperação do serviço após apagões.

O principal objetivo do projeto passa por utilizar a inovação para construir redes de energia inteligentes em cidades inteligentes (InovCity). Contribuindo assim significativamente para a melhoria da qualidade de vida da população e dos serviços disponíveis.

O projeto “InovGrid” começou no município de Évora, onde a infraestrutura abrangeu todo município, atingindo cerca de 30 mil clientes com um consumo anual de cerca de 270 GWh. Atualmente, o projeto tem evoluído para outras cidades como são o caso de Guimarães, Lamego, Batalha/Marinha Grande, Alcochete, São João da Madeira e na região do Algarve, incluindo mais de 150 mil consumidores no final de 2014 [6].

De uma perspetiva técnica, a estrutura do sistema inclui os seguintes componentes:

- EDP Boxes (EB), instaladas em todos os clientes de baixa tensão, que oferecem funcionalidades de medidores inteligentes avançados, tais como: leituras reais

tempo na procura, diagramas de carga, monitoramento de tensão e serviços remotos (ligar/desligar, potência contratada e configuração de tarifas, alarmes de adulteração). De salientar que é aqui que surge a potencialidade das “tomadas inteligentes” e deste projeto;

- Controladores de transformador de distribuição (DTC) instalados em cada subestação secundária, que atuam como base de dados e leitura local, monitorização e dispositivos de automação;
- Uma rede de comunicação baseada nas tecnologias PLC e GPRS, ligando o EBs e o DTC para controlar o sistema;
- Postos de carga para veículos elétricos;
- Sistemas de iluminação pública eficiente, com base em luminárias LED com controlo avançado.

A mistura de componentes e arquitetura técnica usada em Évora vai muito além da medição inteligente, servindo outras aplicações como monitorização e automação para subestações BT.

2.5. Vantagens gerais da implementação de um SIGEE numa habitação

Num passado recente, a ideia de automação de uma habitação era relativamente desconhecida para a maioria das pessoas. E se uma pessoa pensar sobre este tema o que lhe vem à cabeça será certamente o conforto e facilidade de uso. Mas a implementação de um SIGEE numa habitação vai para além disso. Em seguida são apresentadas as principais preocupações que este sistema tenta combater:

- Eficiência Energética;
- Redução da emissão de CO₂, e da matéria-prima utilizada em energia elétrica, para preservar o meio ambiente;
- Redução na fatura de eletricidade do utilizador;
- Aumento da comodidade e proteção do utilizador;
- Aumento da durabilidade das habitações;
- Automação habitacional;

Capítulo 3

Metodologia

3.1. Contextualização do Problema

A implementação de um SIGEE numa habitação exige a execução de várias tarefas, desde do sistema de aprendizagem sobre perfis de consumo até à base de dados. Este projeto centra-se na tarefa relativa à comunicação com os eletrodomésticos, conectado uma tomadas inteligentes, e o sistema central de controlo.

O trabalho foi dividido em várias etapas. Primeiro foi feito um estudo do mercado desta tecnologia, tendo sido analisados os protocolos de comunicação associados a “tomadas inteligentes”. Os critérios tidos em conta foram: preço/qualidade, funções e perspectivas de evolução. Assim, os protocolos de comunicação identificados como os mais relevantes foram o X10, Z-WAVE, Wi-Wi, ZigBee e BLE.

Depois de ser escolhido o protocolo a usar na comunicação que permite a monitorização, ativação ou desativação das “tomadas inteligentes”, passou-se à segunda etapa, onde foram escolhidos os respetivos módulos.

Na terceira etapa foi feita a montagem prática com os módulos selecionados.

O passo seguinte consistiu na configuração do módulo XBee e da “tomada inteligente” e, por fim, passou-se à programação da comunicação entre módulos.

3.2. Análise do Mercado

Como foi dito no subcapítulo anterior, foram identificados 5 potenciais protocolos de comunicação a usar. De seguida são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada um deles, por forma a justificar a escolha que foi feita.

3.2.1. Protocolo X10

Começando pelo X10, este é um protocolo que comunica através de PLCs, mas tem também a capacidade de comunicar por RF (a 310 MHz nos EUA ou a 433 MHz na

Europa) para ser possível usar dispositivos sem fios. A comunicação quer seja feita através do PLC, quer por RF, é muito semelhante, usando o formato X10.

Esta é uma tecnologia muito utilizada, mas apresenta limitações que a levam a ser descartada neste projeto. As comunicações através de PLC apresentam falhas quando alguns dispositivos domésticos estão em funcionamento, como o exemplo de fornos ou motores. A empresa apresenta solução para que este problema seja minimizado, exigindo essa solução a instalação de repetidores, o que torna este método dispendioso.

Outro problema conhecido do X10 é as interferências que os sistemas vizinhos causam um no outro. É um protocolo lento, que apenas suporta 256 endereços para os dispositivos [7].

Apesar dos problemas apresentados, este é um protocolo muito utilizado, pois foi dos primeiros a surgir. Devido a isso a sua grande vantagem é o facto de estar tão implementado que existem imensos dispositivos disponíveis no mercado com diversas funcionalidades. Como é um protocolo aberto, qualquer fabricante pode produzir um dispositivo, desde que seja compatível.

3.2.4. Protocolo Wi-Fi

Já é bastante usual no dia-a-dia, por isso não surpreende que uma vasta gama de fabricantes façam “tomadas inteligentes” que utilizem o protocolo de comunicação Wi-Fi.

Para usar este protocolo é necessário um *router*, mas se já tiver um *router* sem fios, não é preciso arranjar um ponto de hub/acesso para que os dispositivos compatíveis se consigam conectar a ele e com bom alcance.

No entanto, vão existir problemas de largura de banda. Se a casa já estiver cheia de gadgets (o que é muito usual hoje em dia) Wi-Fi conectados (TVs, consolas, computadores, telemóveis, tablets), isto vai levar a que haja interferências na largura de banda o que o vai tornar as comunicações mais lentas. Outro problema do Wi-Fi é que consome muita energia, uma prova disso são os telemóveis, quando se liga o Wi-Fi a carga na bateria dura menos tempo.

Estas duas desvantagens levam a que o Wi-Fi também seja descartado neste projeto.

3.2.2. Protocolo Z-Wave

É um protocolo de automação residencial sem fios que funciona com a banda de frequência 908.42MHz. É relativamente novo em termos de protocolos de automação residencial, mas tem crescido muito rapidamente nos últimos anos.

O grupo por trás dele, a Z-Wave Alliance, possui mais de 1.000 dispositivos compatíveis diferentes, dando-lhe uma ampla gama de opções quando se trata de automatizar uma casa. Uma das principais características do Z-Wave é que utiliza um tipo de rede chamado de "rede de malha" (esta tipologia é apresentada na Figura 4), que significa basicamente que um produto Z-Wave vai passar o sinal até outro até que chegue ao destino pretendido [8]. Este *relay system* expande e muito o seu alcance. Também tem um consumo de energia extremamente baixo, o que é ideal para dispositivos que dependem de energia.



Figura 4 - Topologia Z-Wave [9].

3.2.3. Protocolo ZigBee

É um padrão de comunicação sem fios 802 construído pela IEEE, muito parecido com Z-Wave [10]. Este tem tido um crescimento significativo nos últimos anos e pode ser encontrado num número relativamente grande de dispositivos. Também consome pouca energia e usa uma estrutura de rede de malha (*mesh*) oferecendo assim um alcance

excelente e permite uma comunicação rápida entre dispositivos. Permite também que se utilize uma estrutura de estrela (*star*), ou árvore, também denominada de ponto a ponto (*tree*) [11]. Na Figura 5 podem ser vistos, estes três tipos de estrutura.

Apresenta ainda a possibilidade de suportar uma elevada densidade de nós por rede (num máximo de 65535 dispositivos por cada Coordenador ZigBee, valor manifestamente superior aos 8 do Bluetooth ou 30 do Wi-Fi).

A maior desvantagem que lhe é apontada é que os dispositivos ZigBee têm dificuldade em comunicar com dispositivos produzidos por outros fabricantes. Mas tal como a Z-Wave Alliance, a ZigBee Alliance possui uma elevada gama de dispositivos feitos por si.

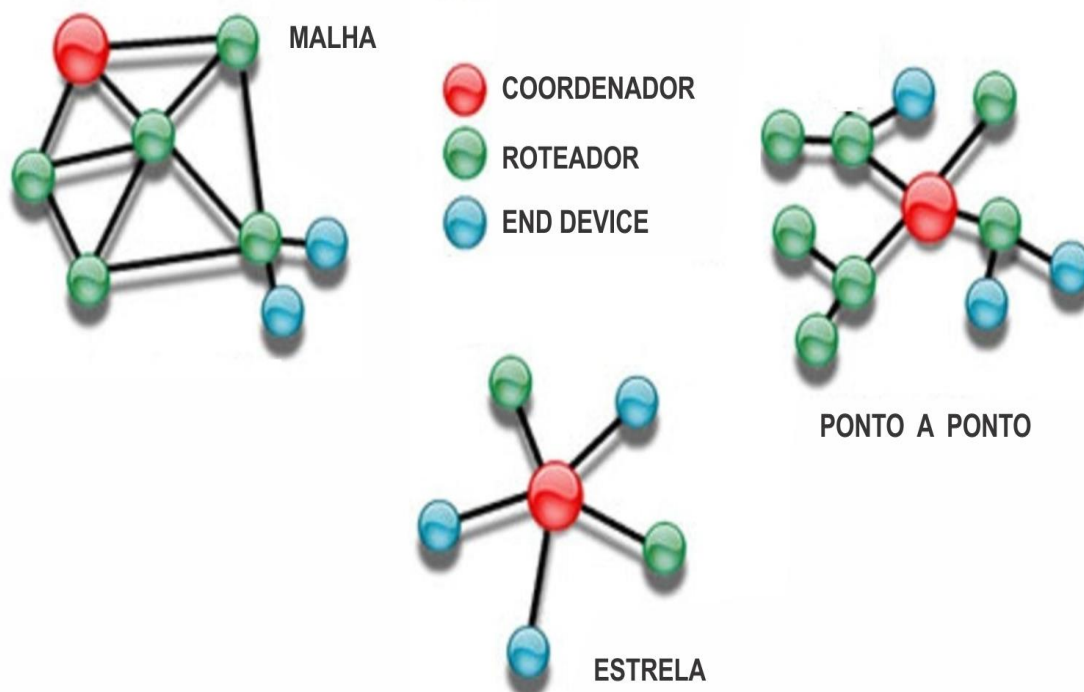


Figura 5 - Topologias do Protocolo de Comunicação ZigBee [12].

ZigBee Coordenador: É o dispositivo FFD com a função de iniciar, distribuir endereços, manutenção da rede e distribuição de todos os nós.

ZigBee Roteador: Tem características de um nó ordinário na rede, através do roteamento é possível expandir a rede e por consequência o alcance da aplicação.

ZigBee End Device: É onde se encontram os atuadores e sensores. É sempre o último da topologia, estando ligado ao Coordenador ou ao Roteador.

3.2.5. Protocolo BLE – Bluetooth Low Energy

Existem muitos dispositivos que têm esta tecnologia, por vezes é utilizado em automação residencial, mas geralmente não como o protocolo principal, embora seja possível e por isso é que foi tido em conta.

Como o próprio nome sugere, BLE não consome grande quantidade de energia, mas em contrapartida tem um alcance bastante limitado comparando com outros protocolos de comunicação [7]. No caso dos sistemas eletrónicos que precisam ficar conectados 24h por dia, como por exemplo sistemas de segurança e sensores de movimento, iria originar falhas no seu funcionamento. Isto faz com que esta tecnologia não seja recomendada para este trabalho. Pode dizer-se mesmo que este protocolo não apresenta as características necessárias para o desenvolvimento deste projeto, apresentando mesmo mais desvantagens do que vantagens.

3.2.6. Análise do Mercado: parecer final

Depois de analisados estes 5 protocolos de comunicação, 3 foram logo excluídos (X10, Wi-Fi e BLE), ficando unicamente o Z-Wave e o ZigBee.

Ambos apresentam um grande crescimento nos últimos anos, baixo consumo de energia, funcionam os dois principalmente numa estrutura de rede de malha, o que oferece um excelente alcance, e permitem uma comunicação rápida entre dispositivos.

Basicamente são os dois muito parecidos, por isso mesmo são atualmente os líderes do mercado na automação habitacional relativa a “tomadas inteligentes”.

Para chegar a um veredito sobre qual escolher, foi analisado o preço de cada um deles. Isto quer dizer que foram analisados os preços das tomadas Z-Wave e ZigBee bem como os respetivos módulos para a comunicação entre a tomada e o Arduino, que será o microprocessador utilizado na implementação do sistema de controlo central.

Na Tabela 1 são apresentados os preços de cada um.

Tabela 1 - Custos das Tomadas e Módulos.

	Tomada	Módulos
Z-Wave	≈ 40 €	≈ 58 €
ZigBee	≈ 20 €	≈ 42 €

Para esta análise foram procurados os preços mais baixos para os equipamentos, da forma mais imparcial possível.

A tomada com o protocolo de comunicação Z-Wave tem um custo aproximado de 40 euros, segundo o site “euroX10” [13], e o respetivo módulo que é um Z-Uno custa 58 euros, segundo o site “Z-Wave Shopping” [14]. O valor total fica à volta dos 98 €.

Relativamente à tomada com o protocolo de comunicação ZigBee, tem um custo de aproximadamente 20 euros segundo o site “AliExpress” [15]. No que diz respeito aos módulos, são necessários dois, o XBee que fica à volta de 29 euros [16] e o Shield correspondente, que custa 13 euros [17]. Tudo somado, usando o protocolo de comunicação ZigBee, fica por 62 €.

Neste projeto, o preço é um fator preponderante porque a comercialização do produto final o que implica que seja tido em conta o preço que o consumidor final estaria disposto a pagar por ele. Estando perante duas tecnologias que dificilmente perdem uma para a outra, o fator preço é determinante na tomada de decisão. Além de que para uma habitação serão necessárias várias tomadas, aumentando ainda mais a diferença de custos dos dois sistemas.

Assim sendo, optou-se pelo protocolo de comunicação ZigBee.

3.3. Módulos

3.3.1. Tomada

Com o ZigBee escolhido como protocolo de comunicação e com uma ideia sobre o preço dos módulos necessários, passou-se à escolha final dos mesmos.

Uma vez que já se dispunha de uma tomada do sistema EDP re:dy (que pode ser vista na Figura 6) decidiu-se aproveitar a mesma para fins experimentais. Esta serve perfeitamente para o pretendido pois usa o protocolo de comunicação ZigBee e as suas características permitem a comunicação do Arduíno com os diversos módulos. As características dessa tomada são apresentadas na Tabela 2.



Figura 6 - Tomada re:dy +.

Tabela 2 - Características da Tomada EDP re:dy +.

Tomada re:dy - especificações técnicas	
Descrição	Tomada com comando remoto sem fios e medidor de energia integrada
Condições Ambientais	0 – 40 °C, 0-90% HR sem condensação
Índice de Proteção	IP40
Classe de Proteção	I
Material	Polycarbonato V0
Montagem	Nas tomadas normalizadas equipadas com terminal terra
Alimentação de energia	100 ~250 VAC, 50/60 Hz
Consumo de energia	<0,6 W em modo stand by <1 W em modo ativo
Modos de Comunicação	ZigBee home automation, 2,4 GHz função repetidor automática, alcance até 20 m
Medição de Energia	Medida da potência até 3680 W Classe de precisão 2

3.3.2. Módulos Arduino

Para a implementação prática deste Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica foram utilizados 3 módulos: o Arduino Uno, o módulo XBee 2mW com Antena – Série 2 (ZigBee Mesh), bem como o respetivo Shield – Xbee.

3.3.2.1. Arduino

O Arduino Uno utilizado neste projeto é o apresentado na Figura 7. Este é programado utilizando o *software* Arduino (IDE), sendo C e C++ a linguagem de programação associada.

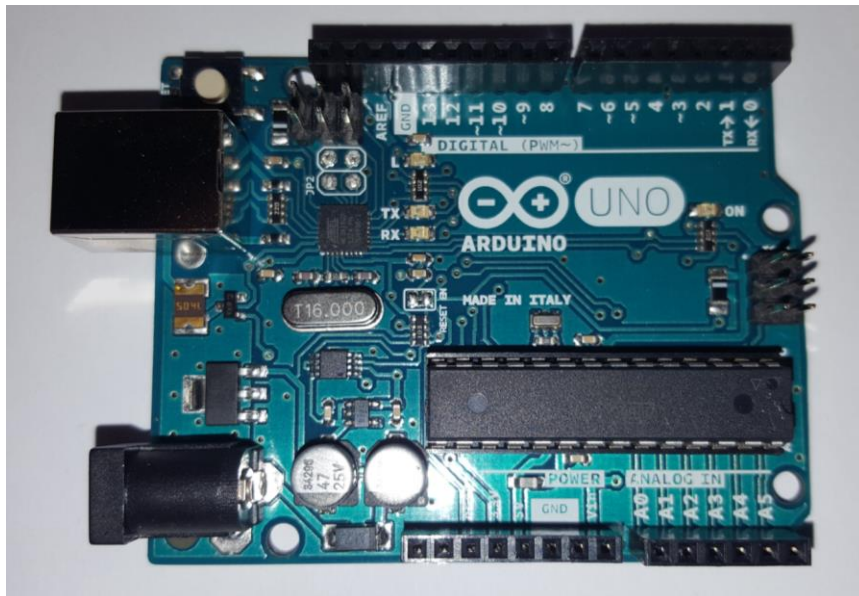


Figura 7 - Arduino Uno.

Os ATmega328 no Arduino Uno vêm pré-programados com um *bootloader* que permite enviar novos códigos sem ser necessário usar um programador de *hardware* externo. Esta comunicação é feita com a aplicação do protocolo original STK500 [18].

O Arduino Uno é formado por conjuntos de pinos digitais e analógicos I/O que podem ser conectados a várias placas de expansão como o exemplo dos *Shields*, que é utilizado neste projeto. As placas possuem interfaces de comunicação série.

O Arduino é muito utilizado e é de conhecimento geral. As suas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Arduino Uno - Especificações Técnicas [19].

Arduino Uno especificações técnicas	
Microcontrolador	ATmega328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recomended)	7 – 12 V
Input Voltage (limit)	6 – 20 V
Digital I/O Pins	14 (6 dos quais fornecem uma saída PWM)
Analog Inputs Pins	6
Corrente DC por I/O Pin	20 mA
Corrente DC para 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) Em que 0,5 KB é usado para o bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz

3.3.2.1. XBee

O XBee 2mW com Antena – Série 2 (ZigBee Mesh) é apresentado na Figura 8. Este módulo é acoplado num *Shield* para que seja possível a comunicação com o Arduino selecionado. Permite criar redes em malha (mesh como o próprio nome indica) complexos baseado no *firmware* em malha XBee ZigBee.

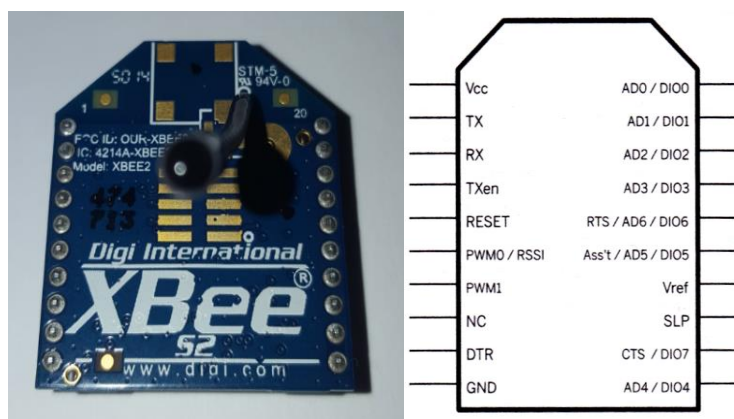


Figura 8 - XBee 2mW com Antena – Série 2 (ZigBee Mesh) e datasheet.

Este módulo usa o protocolo de rede IEEE 802.15.4 e permite que a comunicação seja muito confiável e simples entre microcontroladores, computadores, basicamente qualquer sistema que tenha uma porta série. Redes ponto a ponto e redes de multipontos são suportadas.

Este modelo possui onze pinos digitais de entrada e saída sendo que quatro destes pinos podem ser utilizados no modo analógico.

Para que o módulo seja configurado, como a atualização de *firmwares* e outras funções, a empresa Digi, desenvolveu o *software* XCTU, que permite fazer a configuração do módulo de maneira simples e compreensível.

As especificações técnicas deste módulo são descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Xbee Séries 2 Especificações Técnicas [20].

XBee 2mW com Antena – Série 2 (ZigBee Mesh)	
RF Family/Standard	802.15.4
Protocol	ZigBee
Modulation	DSSS
Frequency	2.4 GHz
Date Rate	250 kbps
Power – Output	1 dBm
Sensivity	-96 dBm
Serial Interfaces	UART
Antenna Type	Integrada
Voltage – Supply	2,1 V ~ 3,6 V
Currente – Receiving	38 mA ~ 40 mA
Currente – Transmitting	38 mA ~ 40 mA
Operating Temperature	-40 °C ~ 85 °C
Range	120 m

3.3.2.1. Shield - XBee

Estando dois dos três módulos apresentados, fica a faltar o *Shield* - Xbee usado neste projeto. O *Shield* – Xbee pode ser visto na Figura 9.

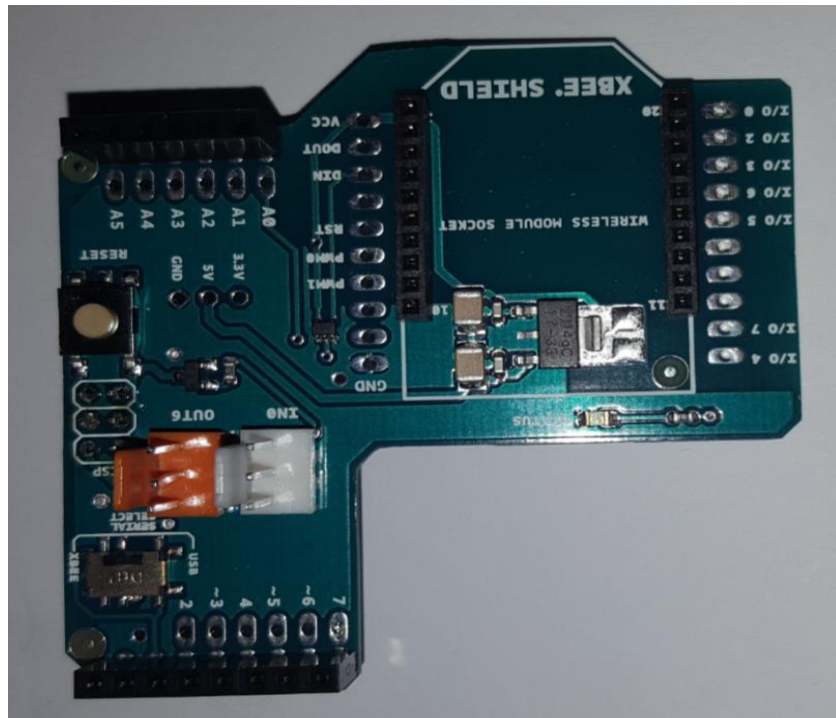


Figura 9 - *Shield* - Xbee.

Este é um *Shield* - Xbee único para a plataforma Arduino. A placa é conectada em cima do Arduino Uno aumentando as suas capacidades, permitindo assim a comunicação sem fios usando o protocolo modificado ZigBee da Maxstream. Este *Shield* - Xbee é compatível com qualquer módulo XBee.

3.4. Montagem Prática

Na terceira etapa deste projeto foi feita a montagem prática dos módulos escolhidos. Mas primeiro foi feita uma simulação da implementação, utilizando o *software* Fritzing. Na Figura 10 é apresentado o resultado dessa montagem.

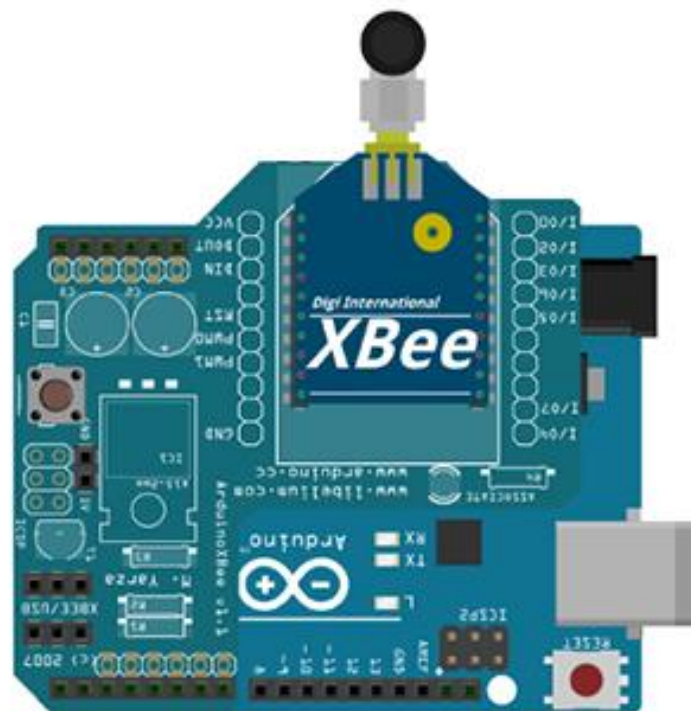


Figura 10 - Montagem com o Software Fritzing.

Depois da simulação, passou-se à montagem com os componentes físicos. O processo foi simples, pois os módulos encaixam perfeitamente uns nos outros.

Começou-se por acoplar o XBee Série 2 no Shield. O resultado pode ser visto na Figura 11.



Figura 11 - XBee Série 2 e Shield acoplados.

Por fim, acoplou-se o *Shield* no Arduíno Uno, em que as entradas analógicas do Arduíno foram conectadas com as entradas analógicas do *Shield*, relativamente às entradas digitais o processo é o mesmo. A alimentação do *Shield* é feita pelos pins do ICSP, que podem ser vistos na Figura 12.



Figura 12 - Pins ICSP.

Com os três módulos acoplados a montagem prática ficou concluída. Sendo o resultado final apresentado na Figura 13.

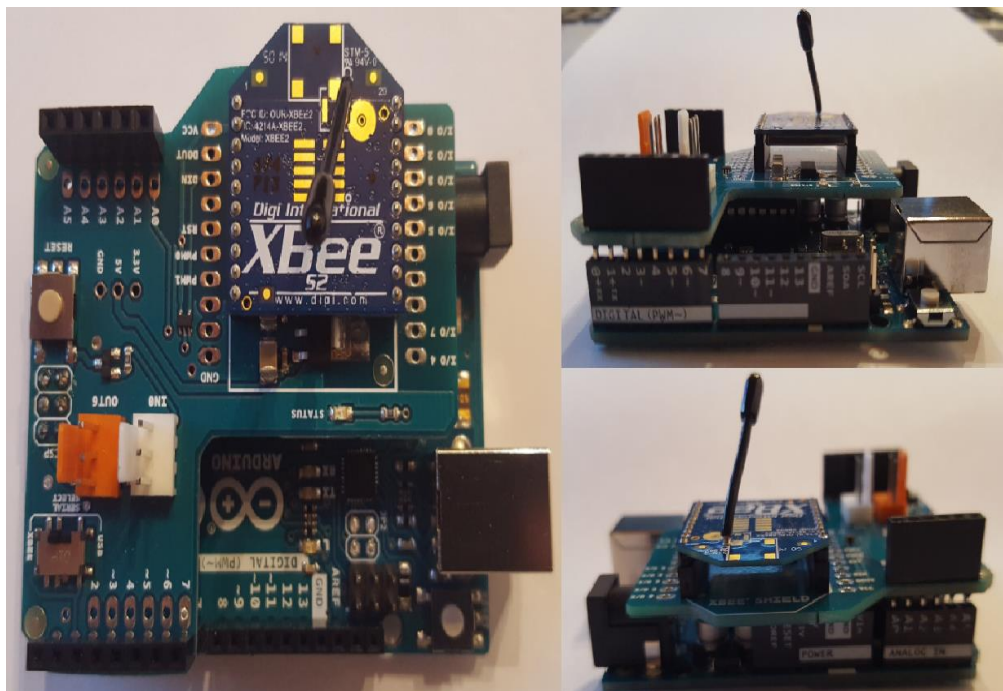


Figura 13 - Montagem final.

3.5. Configuração do XBee

A configuração do XBee é necessária para que a comunicação entre o módulo de controlo e a “tomada inteligente” seja possível.

Como já foi referido, no protocolo de comunicação ZigBee é possível operar em três tipos de topologia: estrela, malha e árvore. O XBee escolhido utiliza a estrutura em malha, apesar de só se pretender fazer a comunicação entre o módulo de controlo e a “tomada inteligente”. A escolha da estrutura foi feita com base em perspetivas futuras, mas não impossibilita que se faça só a comunicação entre o Coordenador (módulo de controlo) e o *End Device* (dispositivo final, neste caso a “tomada inteligente”).

Para que a comunicação seja possível, o Xbee é configurado como o Coordenador da rede. Para isso é utilizado o *software* XCTU.

Antes de começar a configuração do Xbee convém fazer uma limpeza ao Arduino, ou seja, enviar um código em branco para o Arduino. Isto faz com que as portas que foram eventualmente atribuídas por códigos anteriormente realizados fiquem limpas.

Para iniciar a configuração o *jumper* do *Shield* Xbee tem que ser colocado no modo USB, (como mostra a Figura 14) para que a comunicação com o computador seja possível.

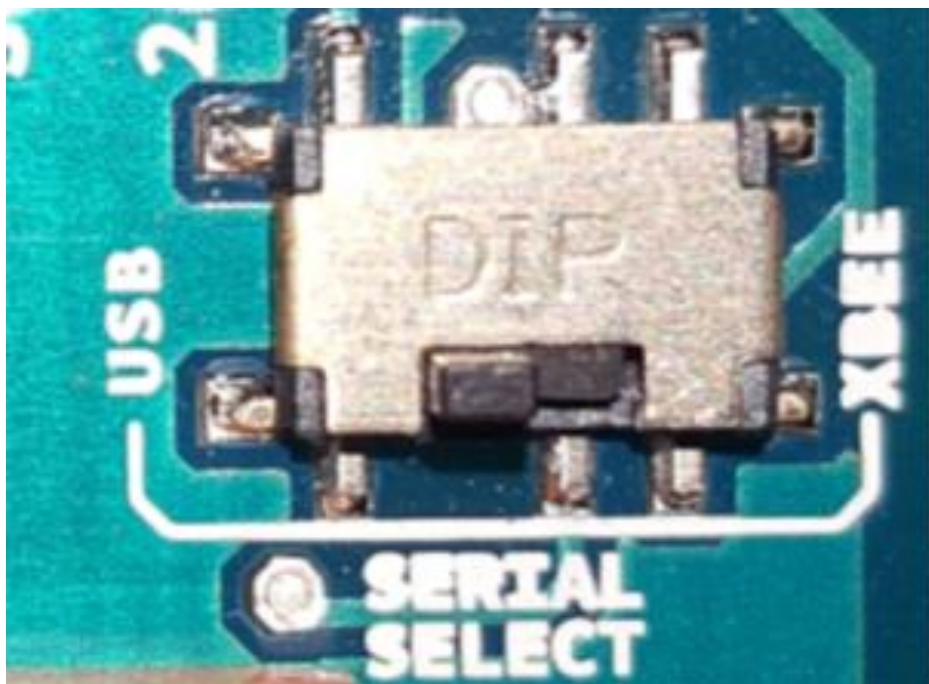


Figura 14 - Modo USB *Shield* Xbee.

Relativamente ao *software* XCTU, foi desenvolvido pela Digi International e suporta uma grande variedade de protocolos de comunicação, nomeadamente o ZigBee.

Para a configuração do módulo XBee, existem dois modos de operação: por API ou por comandos AT.

O modo por comandos AT é mais simples e mais indicado para conexões ponto-a-ponto. Por outro lado, o modo API (Application Programming Interface) que foi escolhido para este projeto, tem um funcionamento baseado no envio e receção de frames. Assim, é possível analisar a estrutura das frames e obter informações necessárias para o sistema de automação residencial implementado, além de ser uma forma altamente confiável de transmissão de dados. Além disso, também é possível enviar comandos AT via modo API para que se configure remotamente os módulos XBee.

O *software* XCTU apresenta a seguinte interface:

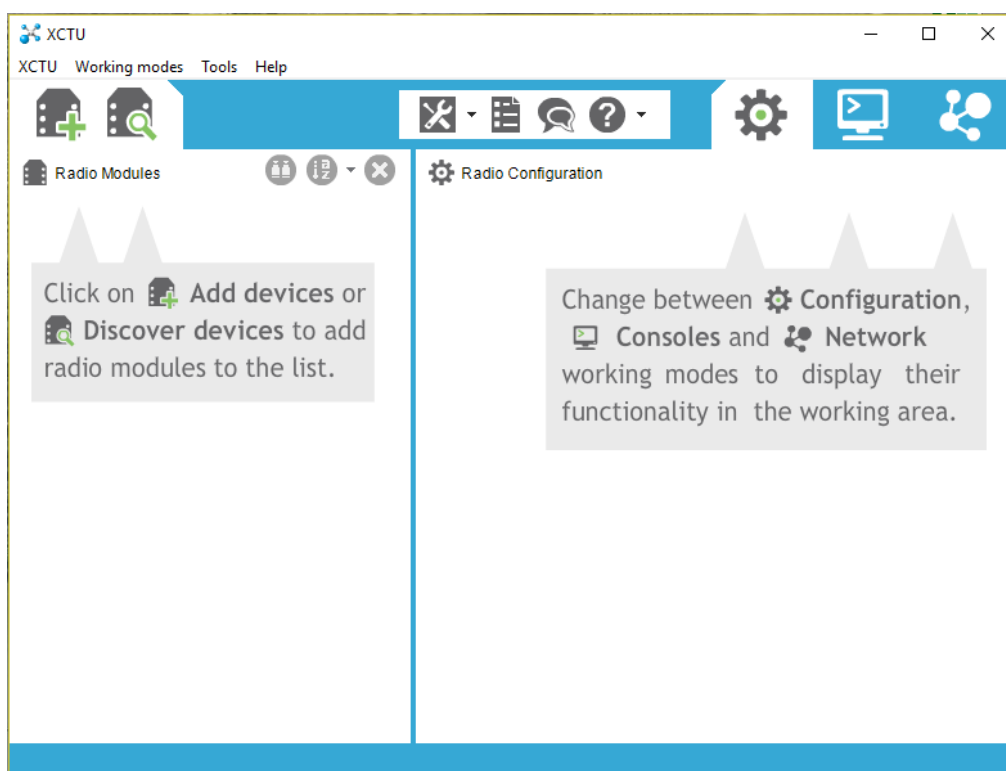


Figura 15 - Interface XCTU.

O primeiro passo no Software XCTU passa por adicionar o módulo XBee. Para isso, tem que se clicar no ícone Add devices, como pode ser visto na Figura 15. Aí é escolhida a porta série em que os módulos foram ligados ao computador (Figura 16) e é feito scan do equipamento.

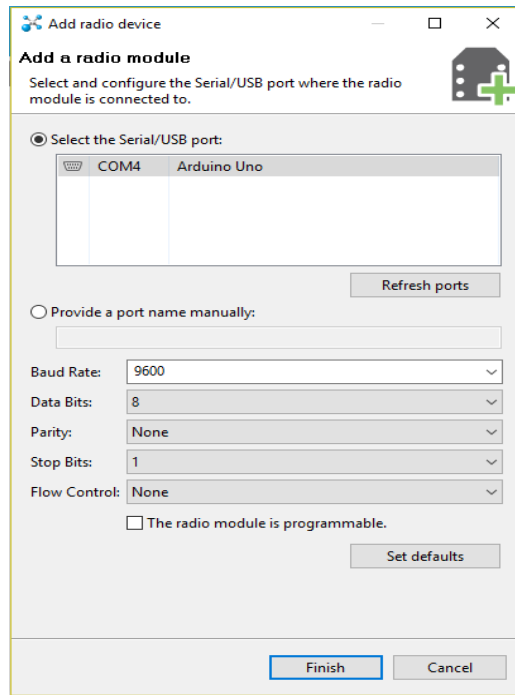


Figura 16 - Selecionar porta USB.

Já com o módulo identificado e selecionado, o XCTU mostra o módulo XBee da forma apresentada na Figura 17.

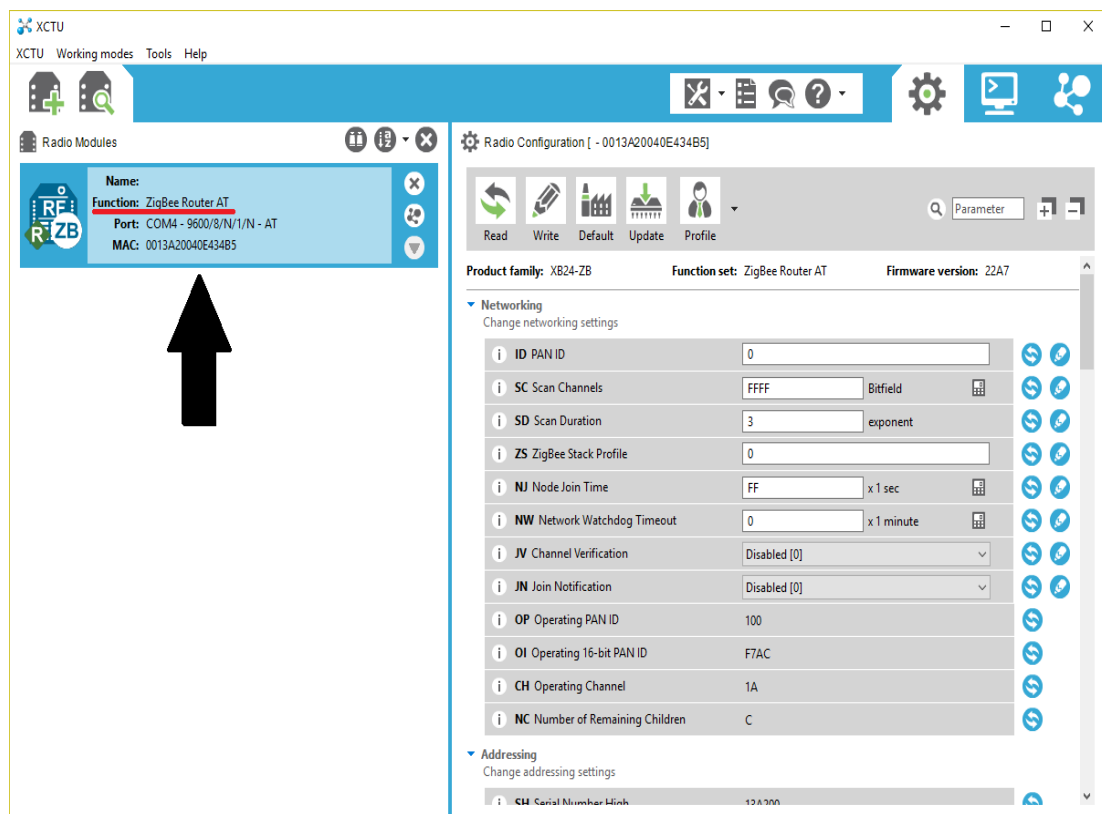


Figura 17 - Identificação do módulo XBee.

Como é possível ver, o XBee está configurado para operar como Router AT, e a configuração que se pretende para este projeto é Coordinator API. Para isso, tem que se fazer um *update* ao *firmware* (ver Figura 18).

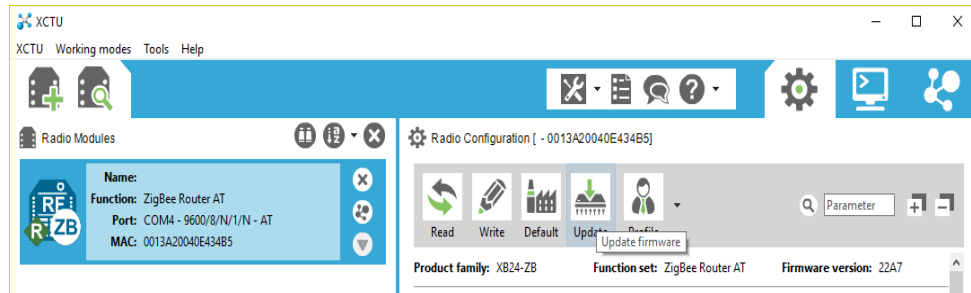


Figura 18 - Update firmware.

Ao clicar no ícone “update firmware” é apresentada uma janela em que se seleciona o Product family, Function set e o Firmware version. Os parâmetros selecionados são os apresentados na Figura 19.

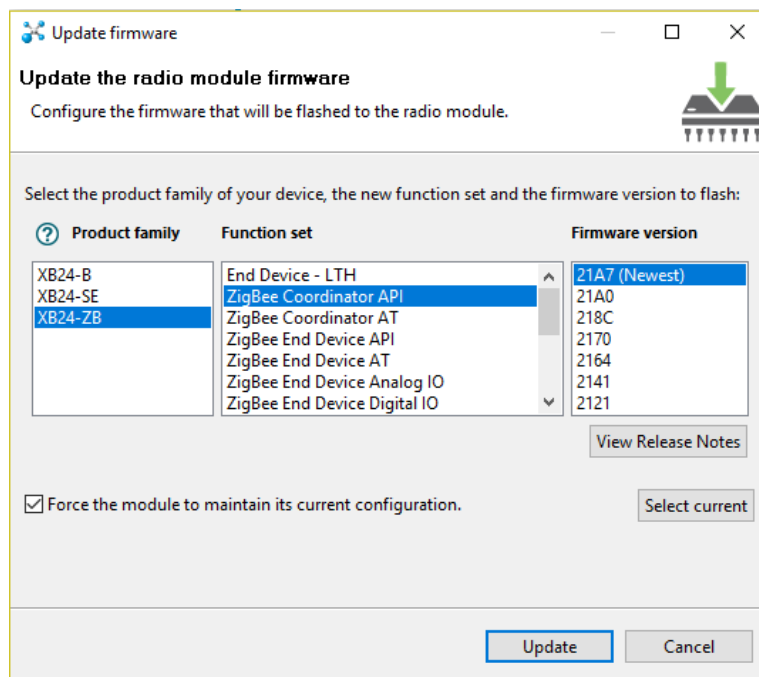


Figura 19 - Update firmware - parâmetros selecionados.

Com os parâmetros selecionados é carregar em update.

Voltando para a interface inicial, é visível que o XBee já se encontra no modo de operação Coordinator API (Figura 20).

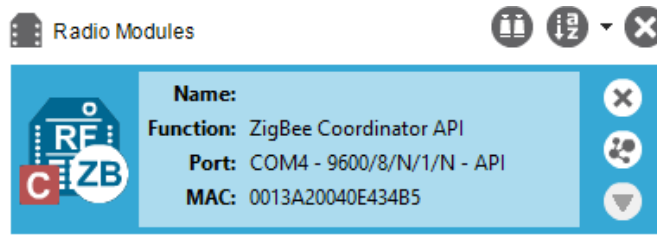


Figura 20 - XBee no modo Coordinator API.

Foi nesta fase que foram feitas as configurações mais importantes da rede, como a identificação da rede (Figura 21), entre outras configurações.

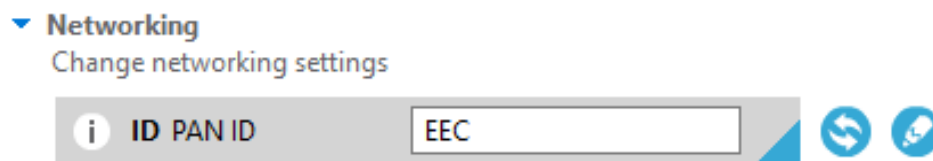


Figura 21 - Identificação da rede.

Também foi registrado o endereço com que o módulo XBee Coordinator API vai comunicar. Para isso, foram alterados dois campos o DH Destination Address High que é a primeira parte do endereço da “tomada inteligente” e a DL Destination Address Low que diz respeito à segunda parte do endereço da “tomada inteligente” (End Device).

Estes endereços podem ser vistos no *software* XCTU, quando a “tomada inteligente” é conectada pela porta serial ao computador, a montagem para essa conexão pode ser vista na Figura 22.

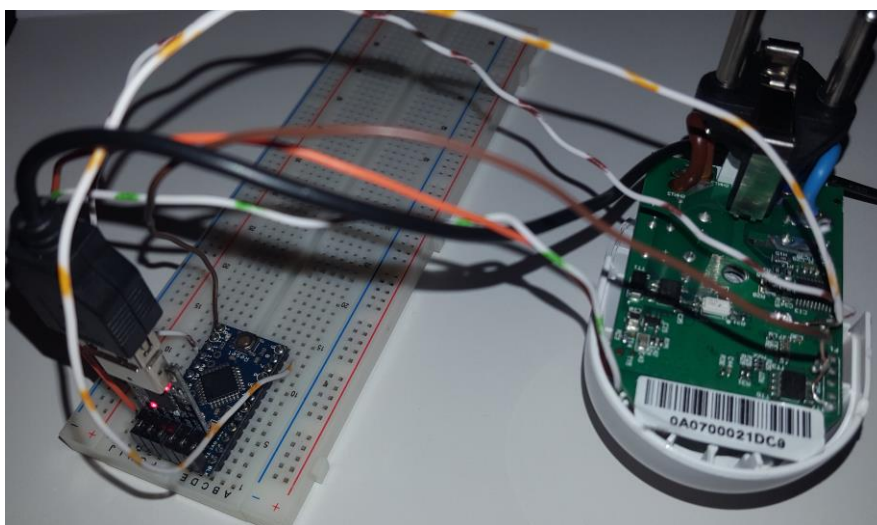


Figura 22 - Montagem para a configuração da “tomada inteligente”.

O endereço aparece da forma apresentada na Figura 23, estes parâmetros não podem ser alterados, são meramente informativos.

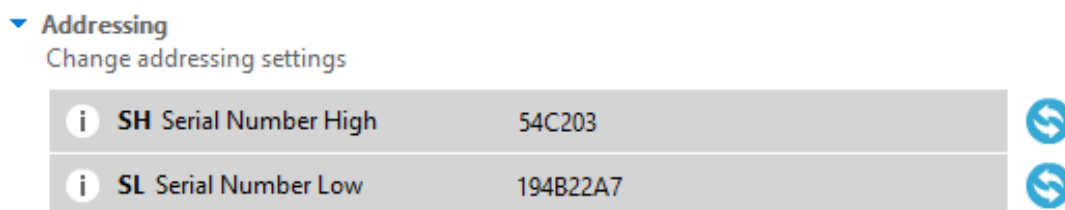


Figura 23 - Endereço SH Serial Number High e SL Serial Number Low.

O SH Serial Number High corresponde ao DH Destination Address High e o SL Serial Number Low ao DL Destination Address Low.

Sabendo o endereço de destino do Coordenador da rede, voltamos à configuração do Xbee, em que foi feita a alteração apresentada na Figura 24.

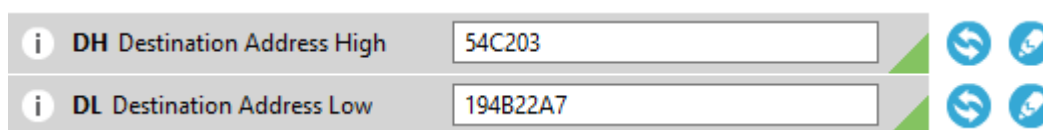


Figura 24 - Atribuição dos endereços de destino ao XBee Coordinator.

Para guardar os parâmetros alterados, basta carregar no ícone Write, que pode ser visto na Figura 18.

Por fim, na Figura 25 são representadas as principais configurações do módulo XBee a que foi atribuído o nome de SIGEE. Este vai operar como Coordinator API e com endereço da rede 0013A20040E434B5.

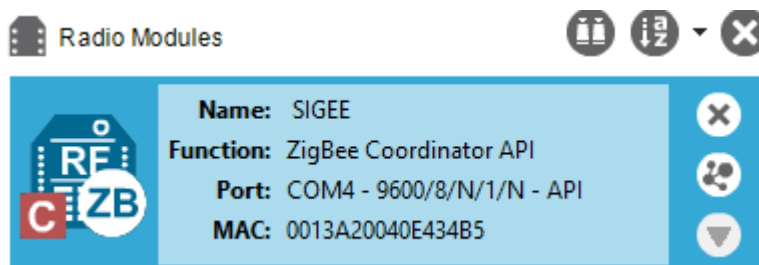


Figura 25 - Configurações principais do XBee.

3.6. Configuração da “tomada inteligente”

Na “tomada inteligente” a única configuração que foi feita foi alterar o endereço com que vai comunicar, pois esta já estava configurada como *End Device*. O endereço de rede que foi atribuído encontra-se na parte de trás do Xbee, que é o Coordenador da rede.

Na Figura 26 o DH Destination Address High está sublinhado a azul e o DL Destination Address Low a vermelho.



Figura 26 - Endereço DH Destination Address High e DL Destination Address Low.

Na Figura 26 é apresentada a alteração feita no software XCTU.

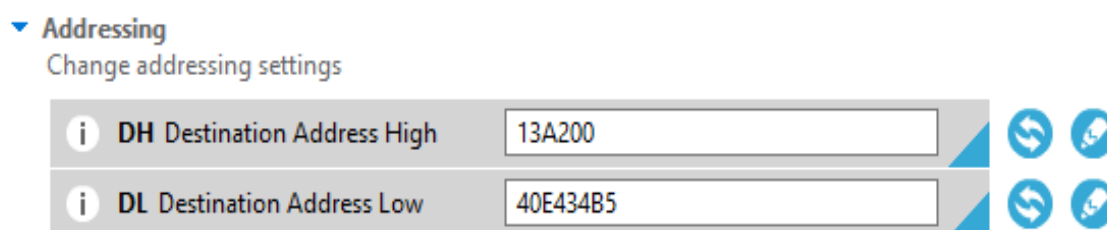


Figura 27 - Atribuição do endereço ao *End Device*.

Com a configuração feita foram guardadas as alterações.

3.7. Explicação do Código

Com o hardware assembledo, é necessário implementar os algoritmos necessários para realizar as funções pretendidas. Para isso foi realizado um que tem como função de control ON/OFF, ou seja, ligar e desligar a “tomada inteligente”. Inicialmente foi criada uma *string* que armazena o estado da “tomada inteligente”.

```
int valores = 0;
String estado;
```

De seguida, o pino 2 foi definido como saída (output).

```
void setup()
{
  pinMode(2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
```

Nesta parte, o módulo de controlo aguarda que seja recebida a ordem de ligar ou desligar a “tomada inteligente”, em que quando é recebido o comando 0 a tomada é desligada e para o comando 1 é ligada.

```
void loop()
{
  if (Serial.available() > 0)
  {
```

Código para desligar a “tomada inteligente” e o seu estado é armazenado na string:

```
valores = Serial.read();
if(valores == '0')
{
  digitalWrite(2, LOW);
  estado = "desligada";
}
```

Código para ligar a “tomada inteligente” e o seu estado é armazenado na string:

```
else if(valores == '1')
{
  digitalWrite(2, HIGH);
```

```
estado = "ligada";  
}
```

Por fim, é enviada uma mensagem de confirmação.

```
Serial.print(" Tomada ");  
Serial.print(estado);  
Serial.príte(10);  
}  
}
```

Capítulo 4

Testes e Análise de resultados

O primeiro teste foi realizado no *software* Arduino, no Monitor Série, em que foi introduzida a sequência 0 1 0 1 1 0 0. Na Figura 28 é possível ver o resultado obtido na simulação.

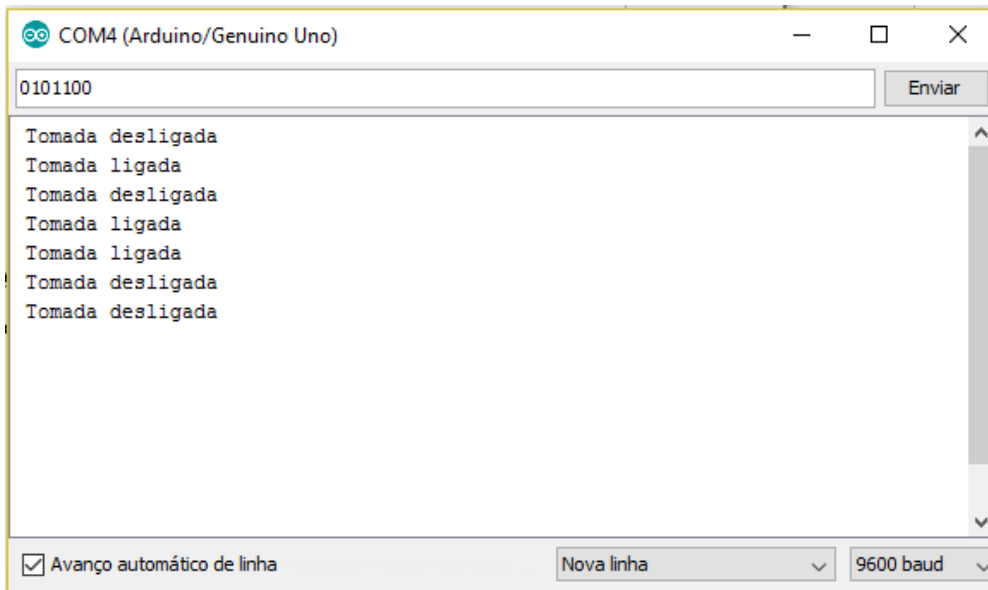


Figura 28 - Simulação Arduino.

Analisando os resultados da primeira simulação, é seguro dizer que o *software* elaborado passou no primeiro teste, pois sempre que foi introduzido o comando 0, foi retornado “Tomada desligada” e sempre que foi introduzido o comando 1, foi retornado “Tomada ligada”, que é o que se pretende.

Depois deste teste, foi colocado em prática tudo o que foi feito até agora, para isso utilizou-se o Software XCTU. Já com os módulos configurados e conectados basta ir ao ícone da Consola apresentado na Figura 29.

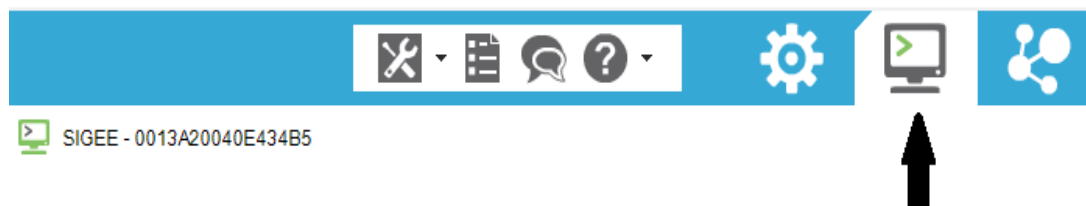


Figura 29 - Modo Consola.

É aqui, na consola, que se estabelece a conexão entre os módulos. Na Figura 30 é apresentado o ícone pelo qual se realiza essa conexão.



Figura 30 - Como fazer a conexão entre módulos.

Por fim, estamos em condições de desligar e ligar a tomada, para isso basta introduzir os comandos definidos na consola, 1 para ligar e 0 para desligar. Os comandos serão enviados do módulo Coordinator para a “tomada inteligente”.

A mensagem “Tomada ligada” ou “Tomada desligada” será enviada para o módulo Coordinator se a operação for bem-sucedida.

A primeira sequência de comandos introduzidos vai ser igual à que foi utilizada no Monitor Série do Arduíno, ou seja 0 1 0 1 1 0 0. O resultado é apresentado na Figura 31.

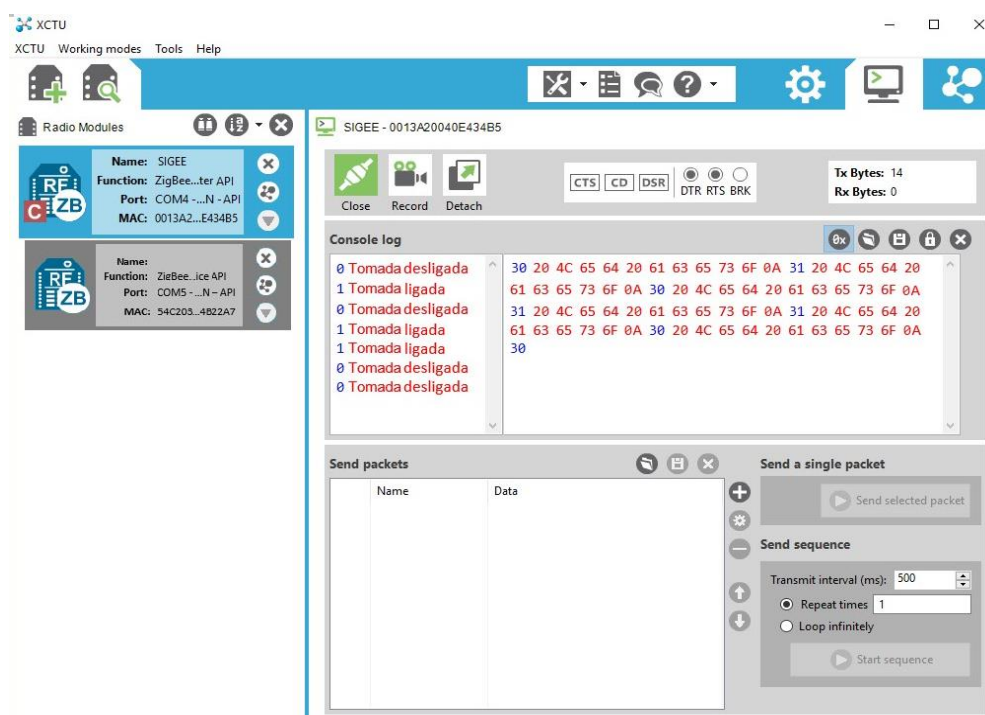


Figura 31 - Teste do modelo final com a sequência 0 1 0 1 1 0 0.

Mais uma vez os resultados obtidos cumprem o pretendido, pois quando se introduz o comando 0 na consola, a tomada desliga e o módulo Coordinator retorna “Tomada desligada”. Quando é inserido o comando 1 na consola o resultado também é o desejado, pois a tomada entra em funcionamento e é retornado “Tomada ligada”.

Para aferir a qualidade do processo realizado, vai ser aplicada mais uma sequência, sendo ela 1 0 1 0 1 0. O resultado deste teste é apresentado na Figura 32.

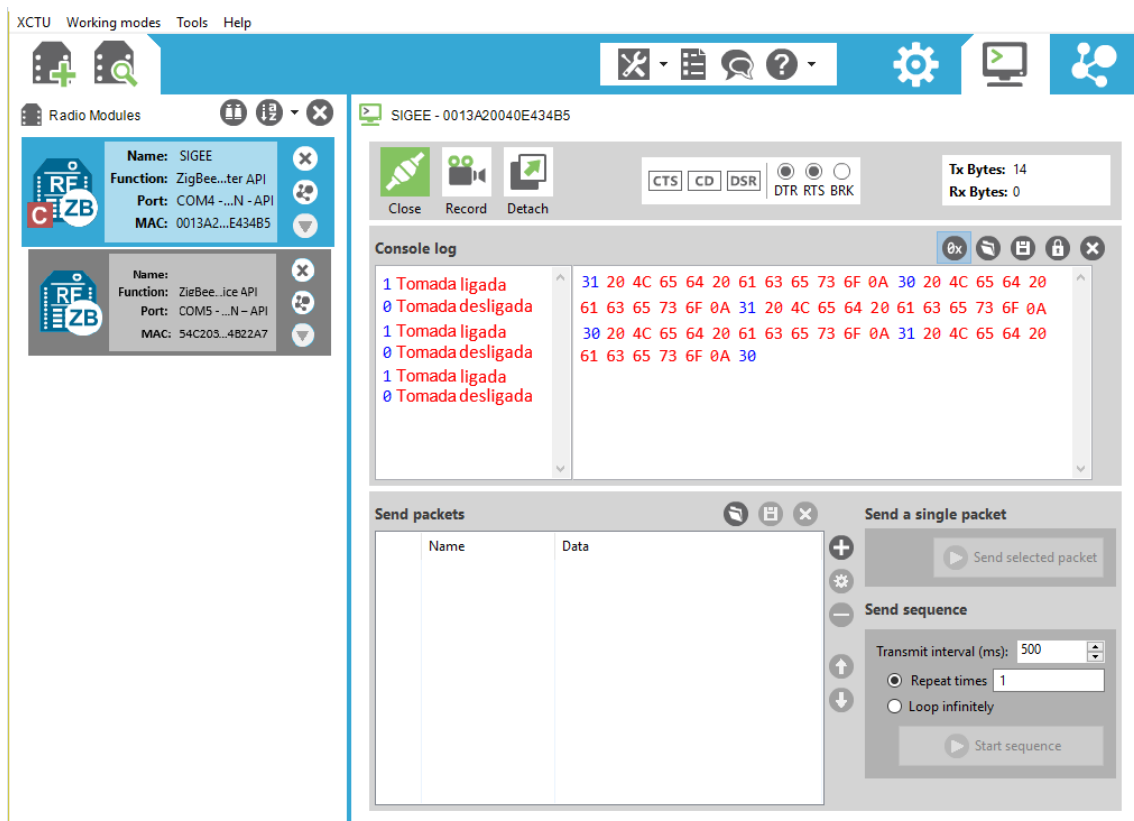


Figura 32 - Teste do modelo final com a sequência 1 0 1 0 1 0.

Numa análise geral dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a conceção deste modelo é eficiente, pois quando se introduz o comando 0 na consola, a tomada desliga e o módulo Coordinator retorna “Tomada desligada”, e quando é inserido o comando 1 na consola a tomada entra em funcionamento e é retornado “Tomada ligada” no módulo Coordinator.

Capítulo 5

Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1. Conclusão

A implementação de um sistema inteligente de gestão de energia elétrica numa habitação envolve a execução de várias tarefas. Este projeto de mestrado centrou-se na concretização de uma delas: a comunicação entre os eletrodomésticos e as “tomadas inteligentes”.

Para tornar possível o ligar e desligar de um eletrodoméstico numa habitação, começou por se estudar os conceitos teóricos e práticos relacionados com protocolos de comunicação de “tomadas inteligentes”, mais especificamente o ZigBee.

Seguiu-se uma análise dos protocolos de comunicação existentes no mercado, tendo sido definidos três critérios para a sua escolha, sendo eles: preço/qualidade, funções e perspectivas de evolução. Com o protocolo de comunicação escolhido, colocou-se a necessidade de ser desenvolvido um módulo para controlar a “tomada inteligente”.

Posteriormente foi feita a implementação dos módulos selecionados, bem como a configuração dos mesmos com o *software* XCTU. Por fim, foi programado o ligar e desligar da “tomada inteligente”.

A principal conclusão que se pode tirar imediatamente é que a implementação do sistema inteligente de gestão de energia elétrica numa habitação apresenta grandes vantagens, de salientar: a redução da fatura de eletricidade do consumidor, um maior aproveitamento dos recursos disponíveis e uma maior qualidade da utilização, o que beneficia, e muito o meio ambiente.

Relativamente aos resultados apresentados, estes foram limitados devido à sua interligação a outros módulos do projeto, e estes também ainda estarem em fase de desenvolvimento por outros colegas. Desta forma, impossibilitou que fossem realizados testes reais, por isso, só foi possível ligar e desligar a tomada remotamente. Caso se pudesse integrar o módulo de controlo com os restantes módulos, a diferença seria mínima, em relação ao trabalho realizado. Em vez de a ordem ser feita remotamente, esta seria recebida de outra secção e aplicada da mesma forma. Isto só levaria a alteração de umas linhas de código, o resto do projeto mantinha a mesma forma e estrutura.

Ao longo deste projeto foram surgindo algumas dificuldades, principalmente na configuração do XBee no modo Coordinator API e na comunicação entre o módulo de controlo e a tomada selecionada. Estas dúvidas surgiram principalmente por ser a primeira vez que trabalhei com o protocolo de comunicação ZigBee. Foram no entanto resolvidas, com estudo e pesquisa sobre o tema, tendo mesmo chegado à conclusão de que o *software* XCTU até apresenta uma interface fácil de compreender.

Em suma, os objetivos foram cumpridos, apesar das dificuldades que foram aparecendo.

5.2. Trabalhos futuros

O Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica para habitações tem um grande potencial de desenvolvimento e atualmente é um tema muito explorado devido às grandes valências que apresenta. Dito isto, como o sistema inicialmente planeado não ficou totalmente concluído, este projeto não devia cair no esquecimento.

Deveria sim, na minha opinião, ser continuado e ir acompanhando as novidades que vão surgindo sobre este tema, pois hoje em dia a eficiência energética é praticamente obrigatória em todo mundo.

No futuro, a “tomada inteligente” deveria ser mais compacta, ou seja, deveria ser mais pequena para ser implementada diretamente na tomada de parede, podendo assim ser integrada em toda a casa logo no momento da sua construção. Mas a exploração da “tomada inteligente” também deve ser continuada, pois existem muitas casas já construídas e ficaria muito dispendioso substituir as tomadas de parede antigas por uma inteligente.

Referências

- [1] João Paulo Batalha, (2013), Dialogo Siemens – A era da inteligência.
- [2] Breakdown of Electricity Generation by Energy Source: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>, consultado em 15/08/2016
- [3] Algirdas Vaclovas Valiulis, (2014), A History of Materials and Technologies Development.
- [4] Amin, S. Massoud e Wollenberg, Bruce F. (2005), IEEE Power & Energy Magazine - Toward a Smart Grid.
- [5] Anjan Asthana, Adrian Booth e Jason Green, (2010), Best practices in the deployment of smart grid technologies.
- [6] Edp distribuição: <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/InovGrid/Pages/InovGrid.apx>, consultado em 09/09/2016
- [7] Takuro Sato, Daniel M. Kammen, Bin Duan, Martin, (2015), Smart Grid Standards: Specifications, Requirements, and Technologies.
- [8] R. P. Lewis, P. Iqic e Z. Zhongfu, (2009), "Assessment of communication methods for smart electricity metering in the U.K.," in Proc. of IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy Sept.
- [9] Fibaro: <http://www.fibaro.com/en/the-fibaro-system/z-wave-technology>, consultado em 26/06/2016
- [10] Bob Heile, (2010), Smart Grids For Green Communication.
- [11] Peter Palensky e Dietmar Dietrich, (2011), Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads.
- [12] Task Blog: http://www.taskblog.com.br/wp-content/uploads/2013/04/ZigBee_interna.jpg, consultado em 27/09/2016
- [13] Eurox10: <http://www.eurox10.com/Products/ZWave/PoPP.htm>, consultado em 26/06/2016
- [14] Z-wave Shopping: <http://www.zwave-shopping.com/en/developer/z-waveme/4536-z-uno-z-wave-board-for-arduino-zmeezuno-4251295700175.html>, consultado em 26/06/2016
- [15] Aliexpress: https://pt.aliexpress.com/br_home.htm, consultado em 27/06/2016

- [16] Botnroll: http://www.botnroll.com/pt/zigbee-xbee/654-xbee-2mw-com-antena-serie-2-zigbee-mesh.html?search_query=zigbee&results=31, consultado em 27/06/2016
- [17] Botnroll: http://www.botnroll.com/pt/shield-comunicacoes/61-shield-arduino-xbee.html?search_query=zigbee&results=31, consultado em 27/06/2016
- [18] Arduino: www.arduino.cc/en/Hacking/Bootloader?from=Tutorial.Bootloader consultado, em 12/09/2016
- [19] Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, consultado em 05/09/2016
- [20] Digi Key: <http://www.digikey.com/product-detail/en/digi-international/XB24-Z7WIT-004/602-1098-ND/1942304>, consultado em 12/09/2016