

**Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica –  
Comunicações Wireless**

**Fernando António da Silva Salsa**

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**

Realizado sob orientação de:

**Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares**

**Professor Doutor José Luís Sousa de Magalhães Lima**

**Novembro de 2017**

**Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica –  
Comunicações Wireless**

**Fernando António da Silva Salsa**

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**

Realizado sob orientação de:

**Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares**

**Professor Doutor José Luís Sousa de Magalhães Lima**

**Novembro de 2017**



*“Success consists of going from failure to failure without loss of enthusiasm”*

*(Winston Churchill)*

## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a sua concretização.

Agradeço à minha família, meus pais, Fernando Pereira Salsa e Maria Teresa Diogo da Silva Salsa, e minha irmã, Maria Teresa da Silva Salsa, pelo apoio que sempre me ofereceram para mais uma conquista, mostrando desde cedo que com perseverança e dedicação os objetivos são alcançados.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares e Professor Doutor José Luís Sousa de Magalhães Lima, e ao Engenheiro António Morais, pelo apoio e incentivo, pelo entusiasmo, pelas ideias e pela orientação ao longo deste projeto.

Também um agradecimento aos meus amigos que contribuíram, e deram apoio para a elaboração desta minha dissertação.

E por fim, um agradecimento ao Instituto Politécnico de Bragança, por estes anos de acolhimento, disponibilização dos meios necessários para a minha formação.

A todos, um muito obrigado.

## Resumo

Um Sistema de Gestão de Energia Elétrica visa fornecer benefícios aos consumidores de energia elétrica e à economia, com uma utilização mais eficiente do sistema elétrico na satisfação das necessidades do consumidor, através do controlo dos eletrodomésticos de uma habitação. Assim, é possível gastar-se menos dinheiro com energia e reduzir o gasto dos recursos provenientes das energias não renováveis cuja existência se encontra ameaçada.

O objetivo desta dissertação consiste no estudo de um novo dispositivo para implementação em edifícios inteligentes. De uma forma mais incisiva em analisar perfis de consumo de eletrodomésticos presentes numa habitação, sendo identificados, e com base nesses perfis, a previsão meteorológica e estimativa de produção de energia dos sistemas fotovoltaicos, os eletrodomésticos entram em funcionamento tirando o maior benefício.

A gestão do sistema é baseada no uso do microcontrolador Arduíno usando o protocolo de comunicação IIC, e um módulo Wi-Fi, para comunicação sem fios.

O controlo do eletrodoméstico é feito através de uma “tomada inteligente” que utiliza o protocolo de comunicação *ZigBee* para ser ativada ou desativada, recebendo essa ordem do módulo de controlo. O protocolo de comunicação e os respetivos módulos, foram escolhidos com base numa análise do mercado, seguindo os seguintes critérios preço/qualidade, funções e perspetivas de evolução. A configuração dos módulos foi realizada com o *software* XCTU.

**Palavras-chave:** Arduíno, Rede elétrica inteligente, Energia.

## Abstract

An Intelligent System for Electrical Energy Management intends to offer both electrical consumers and the economy with benefits by using power more efficiently by controlling the household appliances. It is possible to spend less money with the energy and reduce the waste of non-renewable resources, which are becoming limited.

The objective of this dissertation consists on the study of a new device to be implemented in intelligent buildings. By analyzing and studying consumer profiles, the system consults meteorological forecasts and estimates the production of photovoltaic systems, thus offering a higher benefit of usage of electrical appliances.

The management of the system is based on the Arduino microcontroller, using the IIC communication protocol and a Wi-Fi module for wireless communication.

The control of the household appliance is carried out by an “intelligent outlet” that uses the *ZigBee* communication protocol for activation, which is conveyed by the control module. The communication protocol and modules were chosen after a market analysis, following price/quality, functions and evolution perspectives criteria. The configuration of the modules was carried out with XCTU *software*.

**Keywords:** Arduíno, Smart Grid, Energy

# Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract .....	iv
Lista de Figuras .....	vii
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviações .....	xii
Capítulo 1 .....	1
1.Introdução.....	1
1.1. O problema em estudo.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organização da Dissertação .....	4
Capítulo 2 .....	5
2. As redes elétricas inteligentes .....	5
2.1. <i>Smart Grid</i> em Portugal.....	6
2.2. Objetivos das <i>Smart Grid</i> .....	8
2.3. Vantagens das <i>Smart Grid</i> .....	9
Capítulo 3 .....	10
3. Arquitetura do Sistema.....	10
3.1. O Arduíno .....	10
3.1.1. TTL CP2102 .....	12
3.2. O Bus I2C .....	13
3.1. Endereçamento de dispositivos .....	15
3.4. Módulo ESP8266 .....	16
3.4.1. Aplicações do ESP8266.....	17
3.5. Tecnologia ZigBee .....	18
3.5.1. Módulos ZigBee .....	19

3.5.2. Modos de operação da Rede ZigBee .....	19
3.5.3. Comunicação com os Módulos ZigBee .....	20
3.5.4. XBee .....	20
3.5.5. Shield – XBee .....	22
3.6. Tomada re:dy.....	23
Capítulo 4 .....	24
4. Descrição do Estudo.....	24
4.1. Resultados .....	24
4.1.2 – Montagem prática .....	24
4.1.3 – Configuração do XBee .....	26
4.1.4 – Configuração do Esp8266 .....	31
Capítulo 5 .....	34
5. Conclusões finais e desenvolvimentos futuros .....	34
5.1. Conclusões finais.....	34
5.2. Trabalhos e Desenvolvimentos Futuros .....	35
Referências .....	36
Anexos.....	38
<b>A. Código fonte do IIC do Master .....</b>	<b>38</b>
<b>B. Código fonte do IIC do Slave .....</b>	<b>38</b>
<b>C. Código fonte da configuração da tomada re:dy .....</b>	<b>39</b>
<b>D. Código fonte do Módulo Wi-Fi .....</b>	<b>40</b>
<b>E. Datasheet dos Arduínos .....</b>	<b>42</b>
<b>F. Esquema do SIGEE.....</b>	<b>43</b>

## Lista de Figuras

Figura 1- Diagrama do projeto.....	2
Figura 2 - Esquema da Smart Grid. [2].....	6
Figura 3 - Smart Meter do projeto InovGrid(EDP). [4] .....	7
Figura 4 - Arduíno Pro Mini e Uno R3. [20] .....	10
Figura 5 - TTL CP2102. [15] .....	12
Figura 6 - Estrutura do protocolo IIC. [16] .....	13
Figura 7 - Esquema do barramento IIC. [16] .....	14
Figura 8 - Esquema de endereçamentos. [16] .....	15
Figura 9 - Módulo ESP8266. [14] .....	16
Figura 10 - Aplicações de uso do ESP8266. [14] .....	17
Figura 11 - Esquema de aplicação da tecnologia. [10] .....	18
Figura 12 - XBee 2mW com antena - Série 2. [12].....	20
Figura 13 - Shield Xbee. [12] .....	22
Figura 14 - Tomada re:dy [12] .....	23
Figura 15 – Implementação dos Arduínos com IIC. ....	24
Figura 16 - Arduínos com protocolo IIC. ....	25
Figura 17 - Configuração do XBee.....	26
Figura 18 - Interface do XCTU. ....	27
Figura 19 - Identificação do Módulo.....	27
Figura 20 - Update Firmware.....	28
Figura 21 - Modo Coordinator API. ....	28
Figura 22 - Endereços do XBee Coordinator. ....	28
Figura 23 - Endereços utilizados. ....	29
Figura 24 – Simulação. ....	30
Figura 25 - Sequência final no XCTU.....	30
Figura 26 - Datasheet do Esp8266. [14] .....	31
Figura 27 - Esquema de programação do ESP8266. ....	32
Figura 28- Montagem do ESP8266 incluído o Led. ....	32
Figura 29 - Propriedades de rede do ESP8266. ....	33
Figura 30 - Aplicação para o telemóvel ou página Web.....	33





## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1 - Características do Arduino Pro Mini. [20]</b> .....	11
<b>Tabela 2 - Características do CP2102. [15]</b> .....	12
<b>Tabela 3 - Especificações do ESP8266. [14]</b> .....	16
<b>Tabela 4 - Especificações do XBee [12]</b> .....	21
<b>Tabela 5 - Características da tomada EDP re:dy+. [12]</b> .....	23



## **Lista de Abreviações**

P - Potência

DC - Corrente contínua

IP - Internet Protocol

MCU's - Micro Controller Unit

RTC - Real Time Clock

EDP - Energias de Portugal

USB - Universal Serial Bus

PWM - Pulse Width Modulation

WWW – World Wide Web

API - Application Programming Interface

IDE – Integrated Development Environment

TTL – Transistor-transistor Logic

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

IPB - Instituto Politécnico de Bragança

SIGEE- Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica

ESTiG - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory



# Capítulo 1

## 1.Introdução

A energia é absolutamente importante no mundo em que vivemos, pois muitas das tarefas que realizamos dependem dela, e é nela que cada vez mais há investigação para novos meios e métodos para que o fornecimento de energia seja o mais sustentável possível. Verifica-se, crescentemente, a necessidade de racionalizar e gerir o consumo de energia de forma eficiente e sabe-se que para tal é fundamental monitorizar os consumos de forma a analisá-los e diminuí-los, para fazer mais com menos.

Na questão do consumo energético, os edifícios habitacionais são responsáveis por pelo menos 40% da energia utilizada na maioria dos países [1]. A investigação sobre este tema está a crescer rapidamente nos países mais evoluídos do Mundo, tais como os Estados Unidos ou a China, onde se verifica um rápido crescimento na presença de um carácter inteligente, para que possam dar um contributo para a regressão das alterações climáticas e um aumento da eficiência energética.

A eficiência nos edifícios vai proporcionar grandes reduções no consumo de energia e ainda benefícios económicos, estima-se que as medidas de redução da procura sem custos na rede podem quase reduzir para metade do crescimento esperado na procura de eletricidade a nível mundial, no entanto, é importante que se introduzam novos hábitos de consumo, principalmente atenuar as situações de pico. Para isto, é necessário que haja informação aos consumidores.

Em todos estes níveis, o processo de decisão está inteiramente dependente da quantidade, qualidade e atualidade da informação disponível, pelo que o pensamento global vai no sentido de tornar as redes mais inteligentes, donde surge o conceito das *Smart Grids* [2].

## 1.1. O problema em estudo

Nos edifícios, a eficiência energética está relacionada diretamente com a utilização racional da energia, ou seja, a eficiência energética e a redução de custos associados aos consumos de energia é um dos principais objetivos para toda a nossa sociedade.

Sendo a eficiência energética um fator muito importante, pois neste trabalho procura-se ir ao encontro de uma solução, que permita a utilização dos equipamentos mais eficientes e uma melhoria no conforto do dia-a-dia do utilizador.

A parte do sistema desenvolvido no âmbito desta tese, vai ajudar o utilizador mais tarde a ter uma maior eficiência energética sobre a utilização da energia, permitindo mais poupanças nas faturas de eletricidade em cada mês, e uma maior comodidade, ou seja, pode acionar o sistema sempre que pretender, ativando quais os eletrodomésticos que quer ligar ou desligar, mediante a radiação solar disponível.

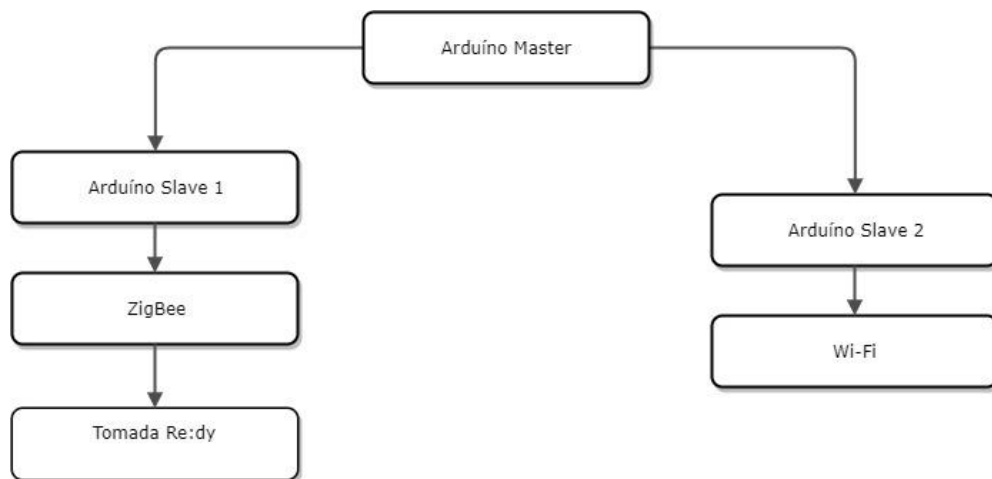


Figura 1- Diagrama do projeto

Na figura 1, demonstra a arquitetura do projeto, iniciado o projeto com um Arduíno mestre que fará a gestão do sistema, entre a comunicação com a tomada e/ou lâmpada. O Arduíno escravo 1 terá a função de comunicar usando o *ZigBee* à tomada inteligente, o Arduíno escravo 2 terá a função de comunicar via Wi-Fi, acedendo á internet e sendo assim possível controlar uma lâmpada via Web.

## 1.2. Objetivos

O objetivo deste projeto incide na evolução das *Smart Grids*, ou seja, na criação de uma rede inteligente para as nossas habitações, que tem como base a melhor utilização de energia elétrica, tanto no setor doméstico, como no industrial. Este sistema permitira-nos conectar aos eletrodomésticos, fazendo uma melhor gestão elétrica, e uma monitorização da mesma.

Terá implementada a informação da previsão da radiação que irá estar num determinado dia, calculando quanta potência irá estar disponível, e para qual tipo de utilização, ativando desta forma por meio de rede sem fios, as tomadas onde estão ligados os respetivos eletrodomésticos, ou seja, com trabalho pretende-se desenvolver um sistema que utilize:

- O protocolo IIC.
- Comunicação *Zigbee*.
- O uso do sistema de comunicação Wi-Fi.
- O uso de tomada inteligente.
- 

Este desenvolvimento visa a criação de uma rede que fará com que seja uma solução viável e que possa ser usada no dia-a-dia do utilizador, melhorando a eficiência energética, e ainda diminuindo os custos da fatura da eletricidade.

### **1.3. Organização da Dissertação**

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. Na primeira fase, capítulo um e dois da dissertação, será abordado um estudo generalizado sobre as redes elétricas inteligentes, e ainda os conceitos sobre *Smart Grids* que estão enquadrados nos conceitos de redes elétricas inteligentes.

No capítulo três é feita uma fundamentação teórica, mostrando as características de diferentes tipos de dispositivos, modos de operação, no intuito de apresentar a base necessária para a compreensão do assunto abordado.

No capítulo quatro são descritos os desenvolvimentos do trabalho explicando o mesmo em pormenor, e os resultados que foram obtidos.

Finalmente, no capítulo cinco apresentam-se as conclusões deste projeto, bem como as suas contribuições e trabalhos futuros que possam elevar este projeto para outro patamar.

## Capítulo 2

### 2. As redes elétricas inteligentes

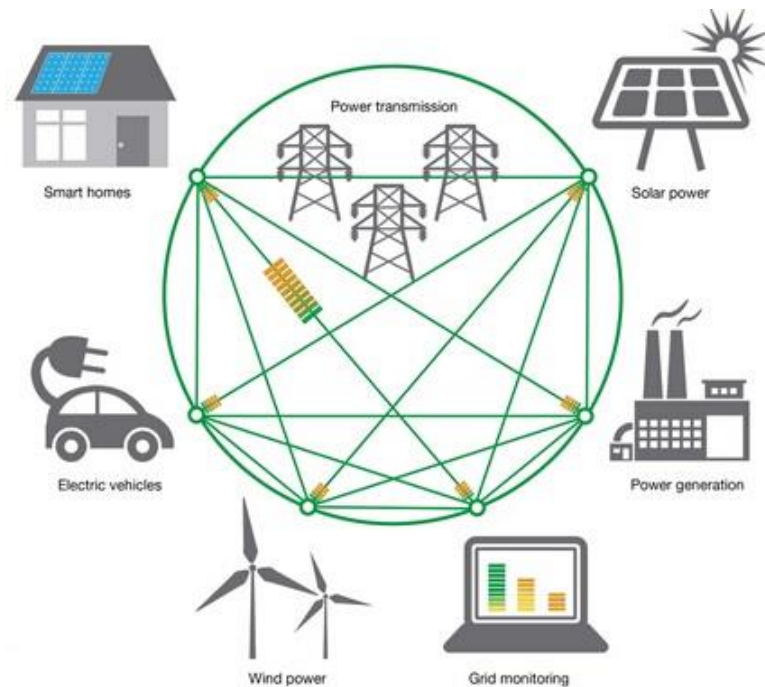
Nos dias de hoje, cada vez mais existem redes elétricas inteligentes que permitem atuar sobre a produção, distribuição e utilização da energia, sendo as designadas de *Smart Grids*. As *Smart Grids* quando implementadas possuem informações essenciais para uma gestão da rede elétrica cada vez mais eficiente. Este tema tem vindo a ser desenvolvido há mais de duas décadas, tendo tido as suas primeiras ideias pela criação do projeto da telecontagem [2], designado pela nomenclatura anglo-saxónica de *Smart Meter*. Assim, as *Smarts Grids*, ou redes inteligentes, aparecem como uma forma de gerir melhor o setor elétrico, e através de características chave, tais como, na instalação de medidores de consumos de energia elétrica inteligentes (permitindo assim medição em tempo real), utilização e criação de estruturas tarifárias diferenciadas, que levem em conta o consumo e de acordo com os períodos de mais utilização, e podendo usar a capacidade de aproveitamento do potencial da cogeração de energia, através das fontes renováveis.

Ainda assim, este conjunto de tecnologias possui componentes que abrange tecnologias de telecomunicações, monitorização de forma a que a rede elétrica possa ter um melhor desempenho. Sustentada por um conjunto de características, tais como: suporte a recursos, como as energias renováveis, a garantia de fornecimento, os custos baixos de operação, e a minimização de perdas técnicas e manutenções ou intervenções manuais.

A agência Internacional da Energia [3] define uma *Smart Grid* como sendo:

“Uma rede de eletricidade que usa tecnologia digital para monitorizar, e fazer a gestão do transporte da eletricidade a partir de todas as fontes de produção para acolher uma variedade de consumos e utilizadores. Estas redes estão aptas a coordenar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores, utilizadores finais e investidores do mercado da área da energia de forma a aperfeiçoar a utilização e operação dos ativos no processo, minimizando os custos e impactos ambientais enquanto mantém a confiabilidade, e resiliência à estabilidade do sistema.”

Na figura seguinte (Figura 1) ilustra o conceito e elementos de uma rede inteligente:



**Figura 2 - Esquema da Smart Grid. [2]**

Por fim, as *Smart Grid* englobam aspetos com energia, cujas características principais são o aumento da confiabilidade do sistema, a deteção em tempo real do ponto causador de instabilidade ou falhas, a capacidade de operação descentralizada do sistema, sendo que os sistemas atuais operam de forma centralizada, e também a total integração com as chamadas fontes de energia renovável.

## **2.1. *Smart Grid* em Portugal**

As *Smart Grid* em Portugal tiveram seu nascimento em 2009, quando a EDP (Energia de Portugal) em consórcio com um grupo de empresas (Janz, Efacec, Lógica, INESC Porto, EDP Inovação), lançou o projeto *InovGrid*, (figura 2). Este projeto embrionário constitui na instalação de cinquenta mil contadores inteligentes residenciais, tendo como base operacional a cidade de Évora, tendo-se tornado uma das primeiras *Smart Cities* da Europa, segundo a EDP. [4]



**Figura 3 - Smart Meter do projeto InovGrid(EDP). [4]**

O projeto *InovGrid* tinha como principais objetivos um sistema inteligente de gestão e controlo da qualidade dos serviços de distribuição, diminuição de custos de operação, segurança no abastecimento e flexibilidade na incorporação da microprodução, entre outros [4]. Todos os objetivos visaram melhorar a eficiência energética, permitindo uma maior sustentabilidade ambiental que permita atingir as metas desejadas. Uma das empresas principais no desenvolvimento deste contador inteligente capaz de responder as mudanças no setor elétrico a nível mundial, foi a Janz.

Este programa foi de encontro aos objetivos do plano europeu que respeita a progressiva descarbonização designado por plano 20-20-20, isto é 20% de aumento de eficiência energética, 20% na redução de CO<sub>2</sub> e 20% no consumo de eletricidade proveniente de Energias Renováveis até ao ano de 2020 [5]. Este projeto foi considerado como o único caso de estudo da Europa que permitirá fazer uma avaliação de custo oferecido pela *Smart Grid*.

No geral, outros países da europa também fizeram implementações de projetos de telecontagem [5]. O projeto *InovGrid* apresentou algumas vantagens tais como [6]:

- Abordagem centrada no produtor/consumidor;
- Ambiente sustentável;
- Monitorização de redes inteligentes;
- Qualidade de serviços
- Benefícios para todos os intervenientes.

## 2.2. Objetivos das *Smart Grid*

De acordo com as necessidades de hoje em dia acerca das *Smart Grids*, esquematizou-se os objetivos das casas inteligentes tal como descrito na dissertação de Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações [6], segundo a arquitetura, tecnologia, questões ambientais e económicas na qual se destacam:

### ➤ Arquitetónicos:

- Satisfazer as necessidades presentes de todos os utilizadores das habitações;
- A flexibilidade tanto nos sistemas, como em estruturas e serviços;
- Sistema arquitetónico adequado e correto;
- A funcionalidade da habitação;
- Maio conforto e segurança para o utilizador.

### ➤ Tecnológicos:

- Disponibilidade de meios técnicos avançados de telecomunicações;
- A automatização das instalações;
- A integração de serviços.

### ➤ Ambientais

- A criação de edifício sustentável;
- A gestão energética;
- Cuidado com o meio ambiente.

### ➤ Económicos

- A redução dos altos custos de operação e manutenção das casas residenciais;
- Benefícios económicos para a economia dos clientes;
- Aumento da vida útil das habitações;
- A possibilidade de cobrar preços mais altos pela renda ou venda de espaços;
- A relação custo/benefício.

### 2.3. Vantagens das *Smart Grid*

Uma casa com tecnologia mais avançada tem um custo cada vez mais alto, devido à medida que os sistemas tecnológicos são incorporados, e mais complexos tornando assim cada vez mais crítico gerir de forma eficaz a tecnologia presente nessas habitações. Esta integração está na capacidade de muitos sistemas puderem comunicar entre eles e trocarem informações para atingir determinados fins que o utilizador queira.

Os principais domínios tecnológicos como a automação, computação e comunicação, têm uma noção de integração que necessita de ser aplicada no interior de cada domínio distinto. A integração deve ser aplicada o mais superficial possível, pois a solução ideal passará por uma sobreposição total de vários domínios, situação essa que, do ponto de vista de quem a usa, não seria possível distinguir sistemas específicos isolado, em funções particulares, independentes [4].

A noção de integração assume uma importância vital no contexto das casas inteligentes, por isso deve-se ao conjunto de vantagens e potencialidades que permite oferecer, nas quais se destacam [4]:

- um melhor aproveitamento dos recursos existentes e uma maior eficácia na sua utilização;
- novas funções, tal como valor acrescentado da interação e cooperação entre sistemas/aplicações;
- reações mais coordenadas e rápidas;
- soluções com melhor relação funcionalidade/custo;
- a capacidade de correlacionar informação, de a processar e de otimizar decisões;
- o acesso a vários sistemas através de um mesmo ponto, o que se traduz numa utilização mais simplificada, flexível e eficaz;
- aumentos de produtividade, facilitando a execução de tarefas complexas envolvendo diferentes sistemas.

# Capítulo 3

## 3. Arquitetura do Sistema

### 3.1. O Arduíno

O Arduíno é uma plataforma com que se pode interagir através de hardware e de software. Ele pode programar-se para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Os componentes de entrada podem ser sensores, botões ou potenciômetros. Os componentes de saída podem ser Led's, motores, cartões de memória, entre outros.



Figura 4 - Arduíno Pro Mini e Uno R3. [20]

Neste trabalho optou-se por utilizar o Arduíno Pro Mini, pois possui dimensões reduzidas o que permite a sua integração em sistemas em que sejam utilizados vários Arduínos, ou a replicação do mesmo projeto, e ainda o seu baixo custo, o que viabiliza a utilização de vários microcontroladores para determinados fins. O Arduíno Uno R3 também foi utilizado em situações específicas, tal como na utilização do módulo *ZigBee*.

A placa UNO R3 e Arduíno Pro mini utilizados neste trabalho, são compostos por um Atmel AVR, um cristal ou oscilador (relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada, para que a operação seja na velocidade correta), e ainda é alimentado a 5 volts. A placa ainda contém 14 entradas digitais, 6 analógicas, um botão *reset* para reiniciar o microcontrolador, uma conexão USB, que pode ser usado como fonte de energia e ponte de comunicação com um computador, e ainda um conector *jack* que serve para alimentação do Arduíno com uma fonte externa.

A tabela mostra as especificações detalhadas dos microcontroladores usados.

**Tabela 1 - Características do Arduino Pro Mini. [20]**

Microcontroladores	ATmega168 e ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7 – 12 V
Digital I/O pins	14 (6 podem ser usadas como PWM)
Analog Input Pins	6
Clock speed	16MHz
Flash memory	32 kB (ATmega328P) Em que 0,5 kB é usado para o bootloader

Atualmente, o microcontrolador Arduino possui uma infinidade de aplicações desde a automação em sistemas elétricos nas habitações, até à construção de robôs controlados remotamente.

### 3.1.1. TTL CP2102

O CP2102 é um tipo controlador ponte USB para UART interligado que fornece uma solução simples para a ligação RS232. É uma boa alternativa à RS-232 pois ocupa menos espaço. O CP2102 inclui um controlador de função USB 2.0, um oscilador e uma EEPROM, e ainda comunicação série assíncrona (UART) com sinais de controlo. [15]



Figura 5 - TTL CP2102. [15]

Na seguinte tabela especifica-se os pinos de saída deste controlador [15]:

Tabela 2 - Características do CP2102. [15]

PIN	Descrição
VCC	Fornecimento integrado de 5V
RTS	Envio da saída de controlo
RXD	Entrada de dados assíncronos (Receção UART)
TXD	Saída de dados assíncronos (Transmissão UART)
GND	Porta Ground

Este pequeno módulo serial foi muito útil no projeto, pois ajudou na conexão dos Arduínos pro-mini, e ainda na configuração dos restantes módulos do projeto.

## 3.2. O Bus I2C

O I2C, ou IIC (Inter-Integrated Circuit), é um barramento série que foi desenvolvido pela empresa holandesa Philips, é utilizado na conexão de periféricos de baixa velocidade a uma placa mãe, que neste caso é o Arduíno. Desta forma possibilita a utilização de grande quantidade de componentes padronizados, os quais podem realizar diversas funções, além de possibilitar a troca eficaz de informações entre eles. [16]

Este protocolo permite a comunicação entre diversos componentes através de um barramento de dois fios: o fio de transmissão de dados (SDA) e o de transmissão do sinal *clock* (SCL). As tensões típicas utilizadas são de 5 volts ou 3.3 volts, embora sejam permitidas a utilização de outras tensões noutros sistemas.

A comunicação implementada por este protocolo é regida pelo modelo mestre – escravo sendo possível a existência de vários mestres. A figura seguinte mostra a estrutura do protocolo IIC.

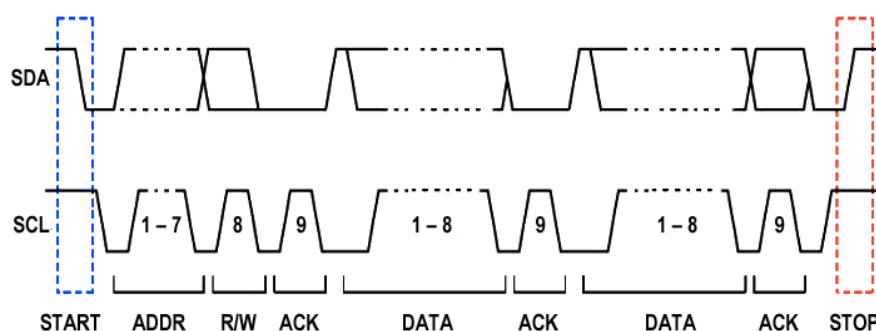


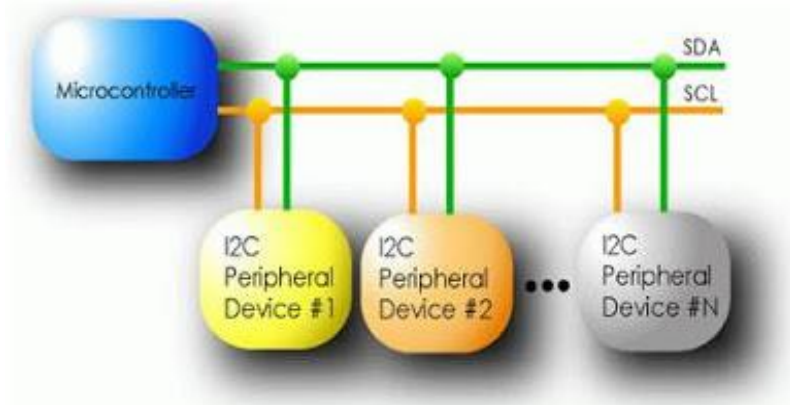
Figura 6 - Estrutura do protocolo IIC. [16]

De início, os sinais SCL e SDA têm valores lógicos altos. O início do protocolo, dá-se quando o SDA desce para o nível lógico baixo e após um determinado tempo, o SCL desce igualmente para o nível lógico baixo. Esta transição, com um pouco de desfasamento de tempo, é interpretada pelo escravo como o início da comunicação série. Em seguida, o mestre envia dados sempre sincronizados por um *clock* e gerado pela mesma linha SCL.

A cada oito bits trocados entre o mestre e o escravo, é gerado um sinal de reconhecimento. Quando o mestre envia os bits de dados, quem responde com o sinal de reconhecimento é o escravo. Caso seja este a enviar bits de dados, quem responde é o mestre. De seguida, depois do *start bit*, o mestre envia o endereço do dispositivo, uma vez que é possível ter vários dispositivos ligados ao barramento SCL e SDA. [16]

O barramento IIC é utilizado para facilitar a integração de circuitos de aplicações como por exemplo sensores e conversores, com um sistema de controlo, de modo que eles possam trabalhar com as suas sinas de maneira direta.

Este barramento tem uma característica muito interessante que é a possibilidade de utilizar no mesmo sistema componentes de tecnologias construtivas diferentes sem que haja incompatibilidade, nem conflitos na comunicação. Na figura seguinte pode-se ver o funcionamento do IIC.



**Figura 7 - Esquema do barramento IIC. [16]**

A transmissão da informação entre os dispositivos é feita através de 2 fios (Serial Data SDA e Serial Clock SCL) que no Arduino Uno são os pinos 4 (SDA) e 5 (SCL).

O número de “nós” num único barramento é limitado tanto pelo tamanho do endereço, como por restrição do espaço, pois a capacidade total máxima é algo em torno dos 400pF, o que impede o funcionamento correto do barramento.

A distância normal de trabalho do barramento IIC é de aproximadamente 1 metro.

No estado neutro do barramento IIC é mantido o valor digital alto em ambas as linhas de comunicação. Para se iniciar a comunicação, o SDA é trazido o valor baixo pelo Master. Para haver escrita no barramento de dados, o SCL pulsa, e a cada impulso, o valor em SDA é lido como um bit, começando o MSB. [16]

### 3.1. Endereçamento de dispositivos

O barramento IIC é do tipo multi-mestre, ou seja, pode ser conectado a mais do que um dispositivo de controlo.

Os dispositivos ligados ao barramento IIC têm um endereço fixo (cada componente recebe um endereço específico), podendo assim configurá-los para transmitir ou receber dados. Esse endereço é normalmente composto por 7 bits, sendo o limite teórico de 127 dispositivos, já que com 7 bits podemos ter 127 valores diferentes.

Além dos 7 bits que definem o endereçamento, existe ainda um último bit, fazendo o total de 8 bits, que indicam se é uma operação de leitura ou escrita (read/write).

Neste caso, o Arduino, funcionando como master, insere estes 7 bits no início da transmissão, ajustando o oitavo bit. [16]

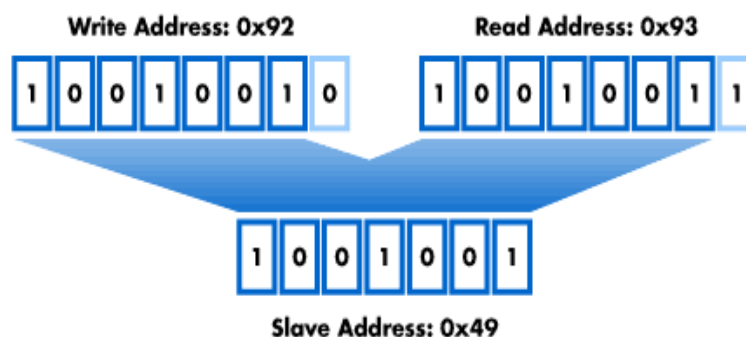


Figura 8 - Esquema de endereçamentos. [16]

Como se pode ver no exemplo acima, o dispositivo possui dois endereços (0x92 e 0x93), sendo que o valor que nos interessa é o 0x49, que é obtido desconsiderando o último bit de qualquer um dos endereços anteriores. [16]

Este protocolo é um dos mais práticos a ser usado, pois é de baixo custo, de pouca ocupação de espaço, e com possibilidade de manutenção fácil, uma vez que cada dispositivo pode ser protegido separadamente.

### 3.4. Módulo ESP8266

O módulo ESP8266 é um microcontrolador que já possui os requisitos para se conectar à internet, ou seja, é como um Arduino com integração *Wi-Fi*.

Este módulo permite que microcontroladores se conectem a uma rede sem fios fazendo conexões TCP/IP, usando um conjunto de comandos.

Outro ponto importante é que este módulo é incrivelmente pequeno, o que ajuda muito na poupança de espaço nos projetos. Este módulo tem um grande sucesso no mundo da eletrônica, pois o seu custo é baixo, de valor similar a um microcontrolador sem interface de internet. [14]

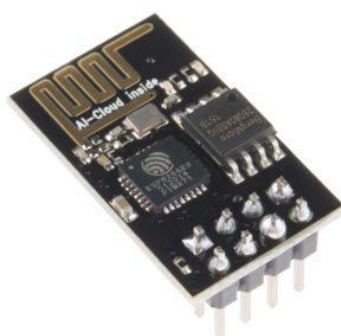


Figura 9 - Módulo ESP8266. [14]

Na seguinte tabela mostra alguns detalhes desta placa.

Tabela 3 - Especificações do ESP8266. [14]

CPU	32 bit RISC Tensilica Xtensa LX106 a 80/160 MHz
RAM	64 Kb
FLASH	QSPI Externo – de 512 Kb até 4 MB
WI-FI	IEEE 802.11 – b/g/n

Se compararmos o ESP8266 com o Arduino, este tem um poder de processamento maior, porém existem poucas GPIO's para usar nesta versão. Esta versão conta apenas com 4 GPIO's para uso, sendo que dois são para comunicação série. Para resolução deste problema de falta de pinos, existem versões mais robustas como o do ESP8266-12, que é exatamente o mesmo, mas com mais GPIO's disponíveis.

### 3.4.1. Aplicações do ESP8266

Este microcontrolador tem uma imensidão de usos, pois conta com um poder de processamento e Wi-Fi embutido nele próprio. Além disso, as versões menores, como as 01 ou 09, são usadas como uma “Ponte Serial-Wi-Fi”, já que tem poucos pinos. Sendo assim, é possível receber dados por um aplicativo WEB e enviar esses dados para um Arduino, sendo o oposto também possível.



Figura 10 - Aplicações de uso do ESP8266. [14]

Algumas das aplicações mais usadas com o ESP8266 são:

- Automação residencial;
- Rede de sensores;
- Comunicação Wireless entre MCU's (Micro controller Unit);
- Aplicativos e páginas WEB para controlo geral;
- Monitoramento de informações remotamente;
- Tomadas inteligentes;
- Camaras IP.

Por fim, este pequeno módulo é muito interessante no mundo da eletrónica devido á sua versatilidade, pois é possível fazer-se coisas muito interessantes com um módulo relativamente pequeno, móvel e com conectividade ao *Wi-Fi*.

### 3.5. Tecnologia ZigBee

A tecnologia *ZigBee* é um protocolo definido por uma junção de empresas de diferentes segmentos de mercado, chamados “*ZigBee Alliance*”. Este protocolo permite a comunicação com baixo consumo de energia e baixas transmissões para aplicações de monitorização e controlo [7]. O *ZigBee* utiliza camadas *MAC* (*Medium Access Control*) e *PHY* (*Physical Layer*) e ainda a definição 802.15.4 do *IEEE* (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) que opera em frequências livres. [8]



Figura 11 - Esquema de aplicação da tecnologia. [10]

Esta tecnologia evoluiu com a pesquisa que existiu nas redes sem fios, que possibilitou o nascimento de várias alternativas e protocolos de comunicação, como principal premissa a garantia de transmissão de dados com altas taxas de frequência, tornando os equipamentos que o constituem mais caros e pouco apelativos para aplicações de menor dimensão. [9] A tecnologia nasceu em 2002 com o crescente número de soluções oferecidas no mercado das comunicações sem fios.

### 3.5.1. Módulos ZigBee

Os protocolos de comunicação de curto alcance e banda estreita, podem operar nas frequências de 868 MHz, na Europa, e a 915 MHz, na América, e ainda no global com 2,4 GHz, com uma capacidade de transmissão de 250 Kbps. [11]

Nas aplicações onde o *ZigBee* opera, o tempo de operação é baixo e usa uma forma eficiente que permite o consumo de energia baixo, aumentando assim o período de vida útil da bateria. Devido ao consumo baixo de energia pode ser utilizado em aplicações de sistemas embebidos. Para além dos módulos *ZigBee* existe ainda comunicação por *Bluetooth*, *GSM/GPRS* e o *Wi-Fi*.

Para este projeto utiliza-se o *ZigBee*, pois é aquele que mais se adequa para a monitorização e controlo do sistema.

### 3.5.2. Modos de operação da Rede ZigBee

Há dois modos de operação da Rede *ZigBee* para que o dispositivo possa transferir informações, nos quais são apresentados a seguir:

- **Beaconing** – Nesta operação todos os dispositivos com funções de router, transmitem durante algum tempo um sinal para confirmação da presença perante os outros routers da mesma rede. Os restantes nós da rede só precisam de estarem ativos para receberem um sinal, mas esses dispositivos devem ser configurados para saberem em que período ocorrerá o sinal, pois neste modo (*Beaconing*) a maioria dos dispositivos permanecem inativos. [6]
- **Non- Beaconing** – Nesta operação, grande parte dos nós da rede permanecem com os seus recetores ativos, ou seja, consumindo mais energia. Neste modo de operação, os dispositivos devem ser alimentados com fontes de energia mais potentes e duradoras. [6]

### 3.5.3. Comunicação com os Módulos ZigBee

Os módulos são acoplados em placas muito utilizadas no Arduino, as chamadas “Shields”. Esses módulos *ZigBee*, conhecidos como *XBee*/*XBee-Pro*, são configurados através de comandos AT (“AT command mode”). O mais comercializado é o *XBee-Pro* Série 2, pois neste é possível enviar comandos de configuração de um módulo a outro, e desta forma, não é necessário que o módulo esteja fisicamente ligado a uma porta USB para que a configuração seja feita, e ainda é possível reconfigurar todos os módulos de uma rede a partir de qualquer um deles.

Para fazer a configuração de cada um dos módulos de maneira simples, a empresa Digi desenvolveu uma atualização de *firmwares* e outras funções. [6]

### 3.5.4. XBee

No SIGEE é utilizado um *XBee* de 2mW com antena – Série 2 (ZigBee Mesh), apresentado na figura 12 como exemplo. Este módulo é acoplado num *Shield* para a comunicação com o Arduino. Permite a criação de redes em malha baseado no *firmware* em malha da *XBee ZigBee*. [11]



Figura 12 - XBee 2mW com antena - Série 2. [12]

Este módulo usa o protocolo de rede IEEE 802.15.4, e permite que a comunicação seja bastante eficiente entre os microcontroladores, computadores, etc... Este microcontrolador suporta redes de ponto a ponto e redes de multipontos.

Possui ainda onze pinos digitais de entrada e saída, sendo que quatro deles podem ser utilizados no modo analógico.

Para configurar este módulo é necessário ter como atualização os *firmwares*, que a empresa Digi desenvolveu. Além disso, também é necessário o *software* desenvolvido pela mesma empresa, que permite a configuração do módulo de uma maneira simples para qualquer utilizador. [11]

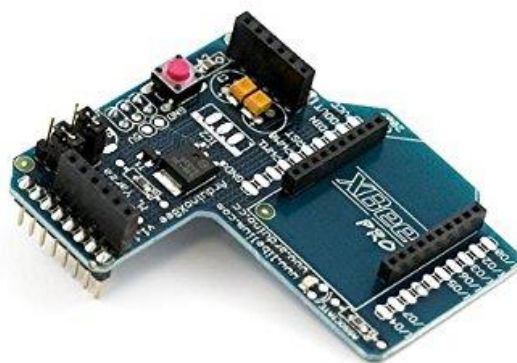
De seguida na tabela estão as especificações técnicas do *XBee*.

**Tabela 4 - Especificações do *XBee* [12]**

RF Family/Standard	802.15.4
Protocol	ZigBee
Modulation	DSSS
Frequency	2.4 GHz
Data Rate	250 kbps
Power – Output	1 dBm
Sensitivity	-96 dBm
Serial Interfaces	UART
Antenna Type	Integrada
Voltage - Supply	2,1 V ~ 3,6 V
Current – Receiving	38 mA ~ 40 mA
Current – Transmitting	38 Ma ~ 40 mA
Operating Temperature	-40 °C ~ 85 °C
Range	120 m

### 3.5.5. Shield – XBee

O *shield – XBee* é um módulo para acoplar ao Arduino Uno R3, potencializando-o com determinadas capacidades para a comunicação sem fios, usando o protocolo modificado *ZigBee* da Maxstream. No entanto, este *shield* é compatível com qualquer módulo *XBee*. [11]



**Figura 13 - Shield Xbee. [12]**

Com este *shield*, o módulo pode comunicar até 30 metros dentro de casa, ou 90 metros sem grandes obstáculos. Ele pode ser usado como uma substituição serie/USB, ou pode-se ainda colocar em modo de comando e configurá-lo para uma velocidade de opções de rede de transmissão e malha. Também fornece pinos para uso de pinos digitais de 2 a 7. E entradas digitais nos pinos 8 a 13.

### 3.6. Tomada re:dy

A tomada utilizada no projeto é a tomada EDP re:dy (figura 14). Esta tomada utiliza o protocolo de comunicação *ZigBee*, e as suas características permitem a comunicação do Arduíno com os diversos módulos. [11]



Figura 14 - Tomada re:dy [12]

Na tabela seguinte são apresentadas as características desta tomada.

Tabela 5 - Características da tomada EDP re:dy+. [12]

<b>Especificações Técnicas</b>	
Descrição	Tomada com comando remoto sem fios e com medidor de energia integrado
Índice de Proteção	IP40
Classe de Proteção	I
Material	Policarbonato V0
Alimentação de Energia	100~250VAC, 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 de 20 metros
Medição de Energia	Medida de potência até 3680 W; Classe de precisão 2

# Capítulo 4

## 4. Descrição do Estudo

Neste trabalho tem-se como objetivo controlar um sistema inteligente de gestão de energia elétrica em uma habitação utilizando vários microcontroladores, fazendo a comunicação sem fios com as tomadas presentes nos eletrodomésticos.

Em seguida apresenta-se a montagem prática do projeto, os códigos utilizados, as respetivas descrições e ainda as simulações.

### 4.1. Resultados

#### 4.1.2 – Montagem prática

Nesta etapa do projeto foi feita a montagem prática dos módulos. Antes de iniciar qualquer montagem, foi feita uma implementação dos mesmos, no *software* Fritzing.

Para começo, implementou-se os Arduínos com o protocolo de comunicação IIC, tendo em noção também os *datasheets* dos Arduínos (colocados nos Anexos).

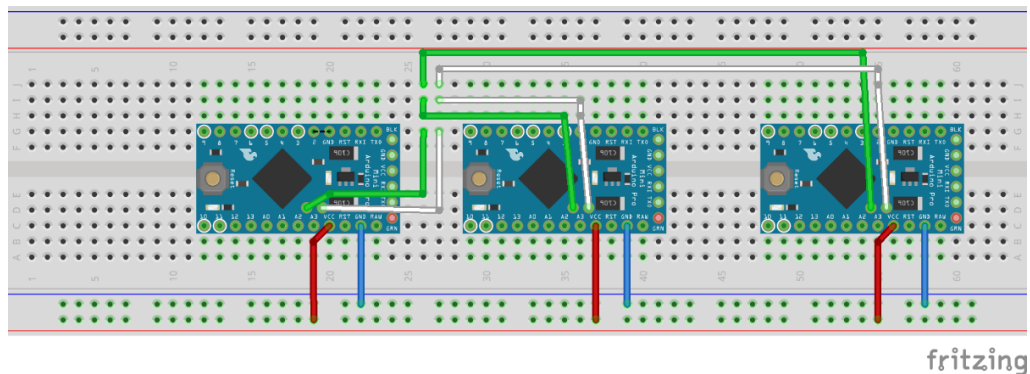


Figura 15 – Implementação dos Arduínos com IIC.

Depois da implementação no Fritzing passou-se para a montagem com os componentes físicos, o processo foi simples, derivado também à ajuda do *software* e do estudo antes da implementação.

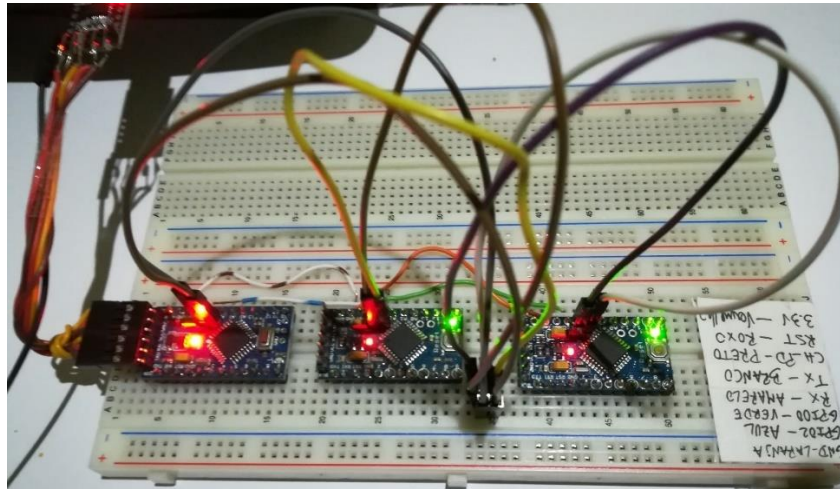


Figura 16 - Arduínos com protocolo IIC.

De seguida, para se trabalhar com o IIC nos Arduínos, temos que dar um *include* na biblioteca *Wire*. No início de qualquer *sketch* tem que se incluir uma linha `#include<Wire.h>`. Após se incluir a biblioteca, é necessário inicializá-la dentro do *setup* com o `Wire.begin()`.

Em seguida, apresenta-se a descrição das principais funções usadas no código do protocolo IIC:

- **Wire.beginTransmission (endereço)** - envia o endereço do dispositivo pela linha SDA, sinalizando o dispositivo correspondente que haverá uma comunicação. Todos os dispositivos “escutam” essa informação, mas apenas o dispositivo que possui o endereço informado estará apto a se comunicar.
- **Wire.write (memória)** - a maioria possui diversos registradores que podem ser gravados, e precisamos informar em qual registrador se quer a informação.
- **Wire.write(valor)** - envia o valor (sempre 1 byte) pela SDA para o dispositivo informado anteriormente. O dispositivo possui um registrador (ou memória) aguardando pela informação, e os outros dispositivos ignoram esta comunicação. O comum é enviarmos uma informação (um byte) em cada operação.
- **Wire.endTransmission** - Após enviarmos a informação, devemos finalizar a operação com essa linha, liberando o dispositivo e o barramento I2C para novas operações.

### 4.1.3 – Configuração do XBee

Na segunda etapa foi feito a montagem dos módulos do *XBee*. Na imagem seguinte podemos ver a montagem para a configuração do *XBee*, para que a comunicação entre este módulo e a re:dy+ seja possível.

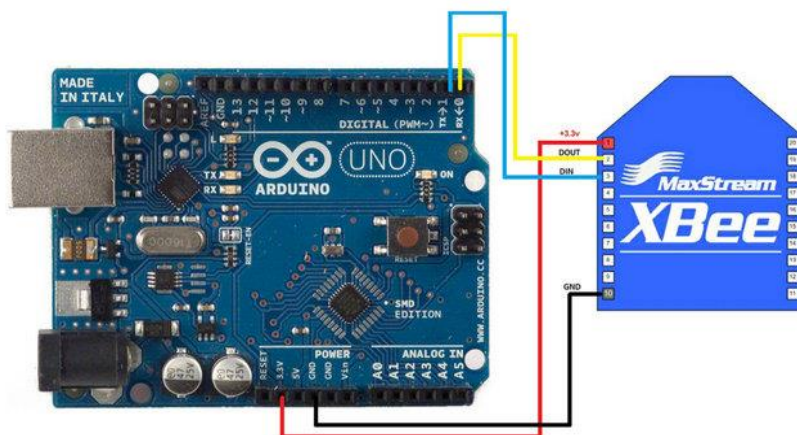


Figura 17 - Configuração do XBee.

O *XBee* vai utilizar a estrutura malha, mas apenas irá fazer comunicação entre o módulo de controlo e a tomada inteligente. Esta escolha foi feita para comunicação entre o coordenador (módulo de controlo) e o *End Device* (a re:dy+ no nosso caso) o *XBee* irá ser o coordenador da rede.

Em seguida faz-se um *reset* ao Arduino para que haja uma limpeza, das portas do Arduino e códigos antigos que ainda estejam inseridos.

Para iniciar a configuração o *jumper* do *Shield* do *Xbee* tem que estar em modo USB. Para configuração do módulo *XBee* existe dois modos de operação, por API e por comando AT. O modo de comando AT é o mais simples e indicado para conexões ponto-a-ponto, já o modo de comando API, que é o utilizado no projeto, tem um funcionamento baseado no envio e receção de *frames*, ou seja, é um funcionamento em que é possível analisar a estrutura das *frames* e obter informações necessárias para o sistema inteligente e automação residencial, e extremamente confiável na transmissão de dados.

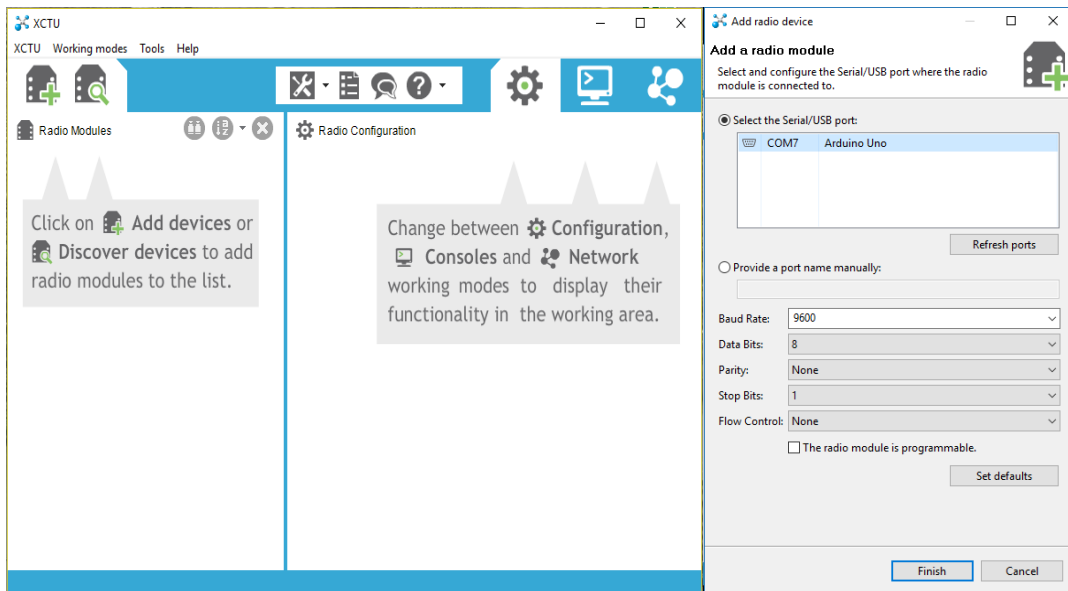


Figura 18 - Interface do XCTU.

No software XCTU é adicionado o módulo *XBee*, usando o ícone *Add devices*, aí escolhemos a porta série em que os módulos foram ligados à porta USB, e assim o programa irá detetar a porta COM. Com o módulo identificado e selecionado, o software apresenta o módulo *XBee*, tal como apresentado na seguinte figura.

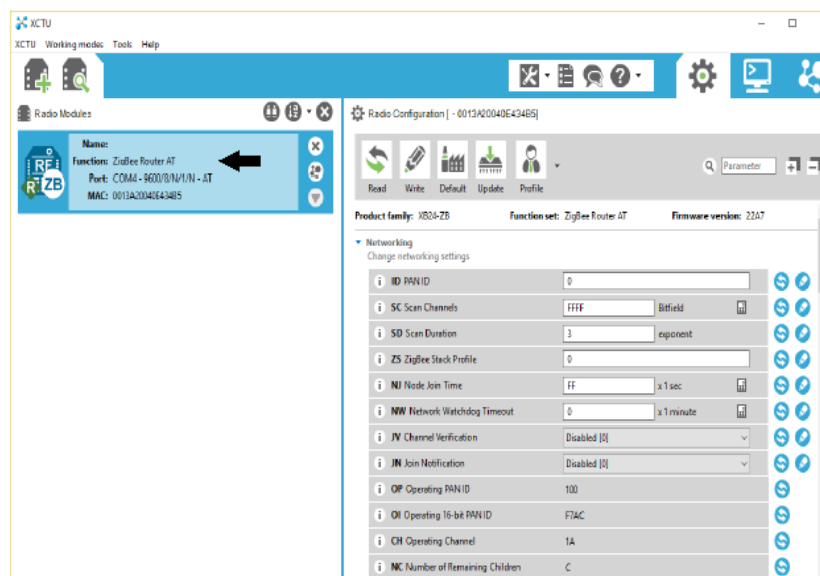
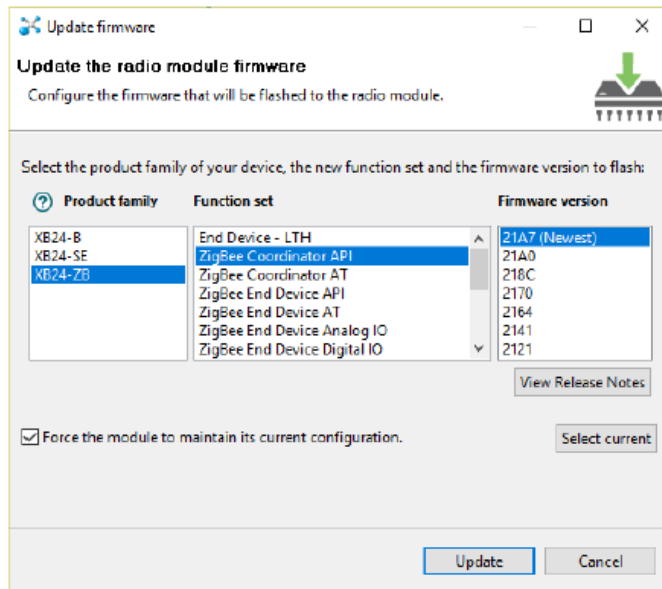


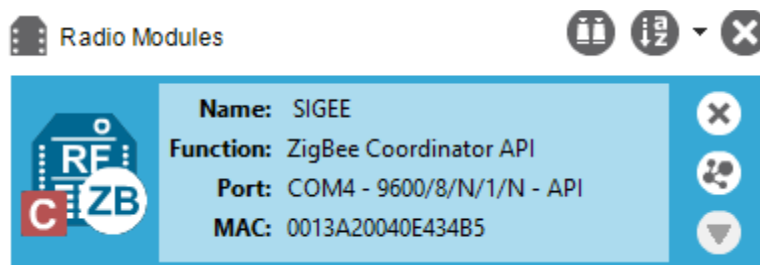
Figura 19 - Identificação do Módulo.

O *XBee* está configurado para operar em modo Router AT, e a configuração que se pretende para este projeto é a de Coordinator API. Para resolver isso faz-se um *update* ao *firmware* tal como demonstrado na figura seguinte.



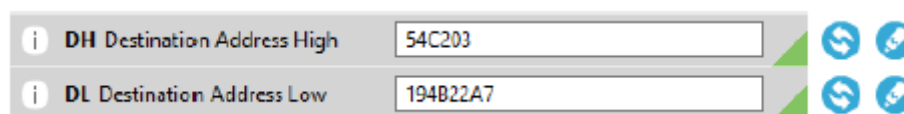
**Figura 20 - Update Firmware.**

Após este procedimento estar concluído, o *ZigBee* torna-se como Coordinator API, e de seguida fazem-se outras configurações para a rede.



**Figura 21 - Modo Coordinator API.**

No passo seguinte, foi alterado dois campos o DH Destination Address High, onde se situa a primeira parte do endereço, e o DL Destination Adress Low que é o segundo endereço da tomada (*End Device*).



**Figura 22 - Endereços do XBee Coordinator.**

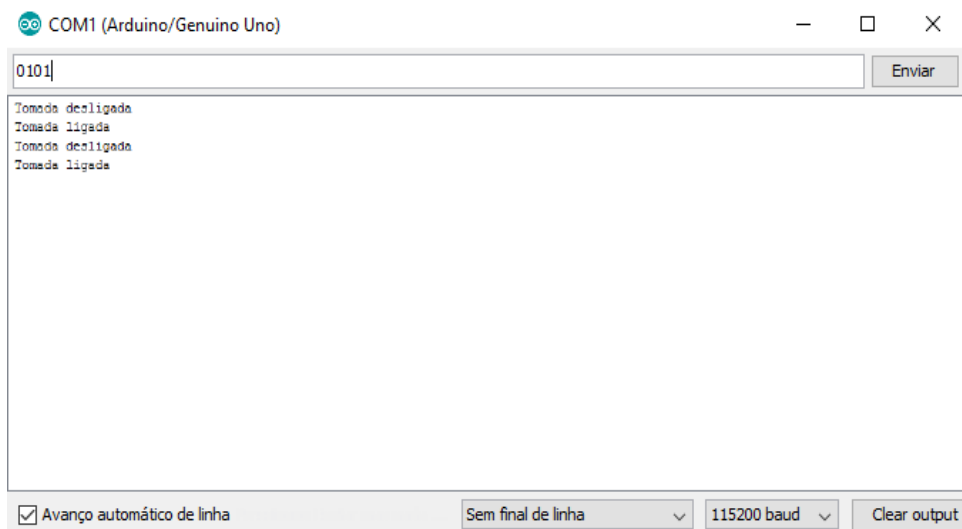
O SH Serial Number High corresponde ao DH Destination Address High, e o SL Serial Number Low ao DL Destination Address Low. Para guardar estes parâmetros é só clicar no ícone *Write* do programa do XCTU.

O Endereço de rede do *XBee* que foi atribuído encontra-se na parte de trás do módulo, que é o Coordenador da rede. O DH Destination High está em primeiro e o DL Destination Address Low em segundo, tal como evidenciado na figura seguinte.



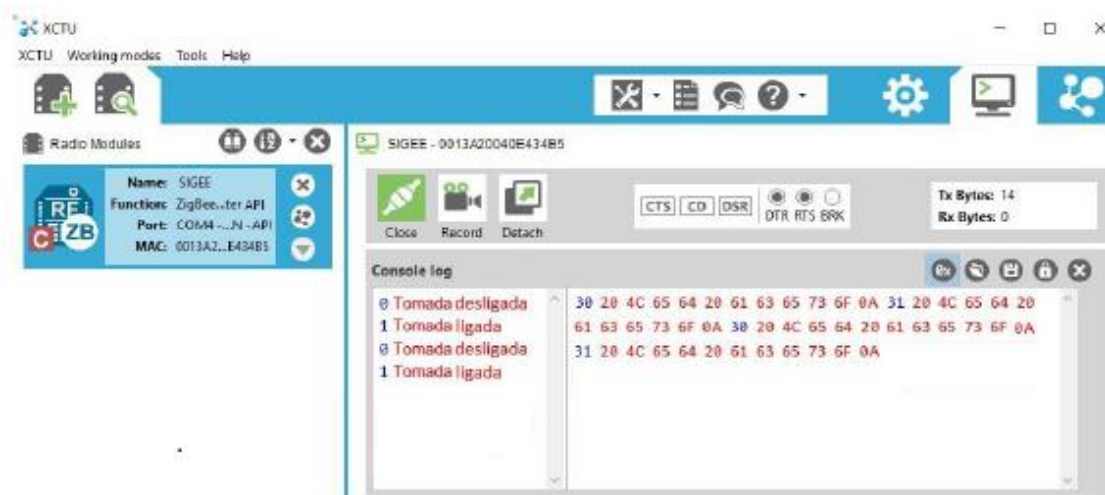
**Figura 23 - Endereços utilizados.**

Com os seguintes endereços usados e atribuídos no XCTU, dá-se assim por finalizado a atribuição do *End Device*. O próximo passo será realizado no *software* Arduino com uma sequência de números (utilização do 0 e 1) para simulação do ON e OFF da “tomada inteligente”.



**Figura 24 – Simulação.**

Nesta simulação foi introduzido o comando 0 para a tomada desligada, e o comando 1 para a tomada ligada, o retorno na simulação foi certa e era o que se pretendia. Em seguida utiliza-se o XCTU em modo consola para a mesma sequência de números.



**Figura 25 - Sequência final no XCTU.**

A sequência de números introduzida foi a mesma que na simulação do Arduino, o processo é exatamente o mesmo, sendo o número 0 para a tomada desligada, e o número 1 para a tomada ligada. Assim pode-se comprovar que funciona igualmente bem tal como na simulação anterior.

#### 4.1.4 – Configuração do Esp8266

Nesta fase, para a configuração do módulo Wi-fi foi feito em primeiro lugar um esquema do circuito que se vai implementar na *breadboard*, com base no *datasheet* do ESP8266-01, uma vez que em primeiro vai ser necessário de atualizar o *firmware* do ESP8266-01, enviando o código para a sua memória *Flash*. [18]

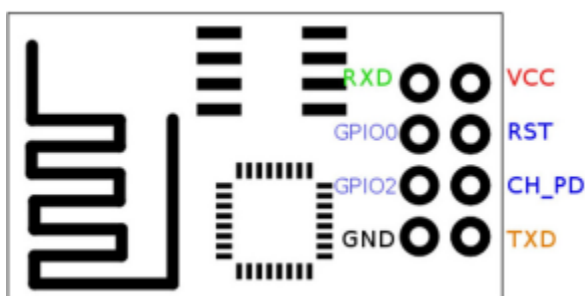
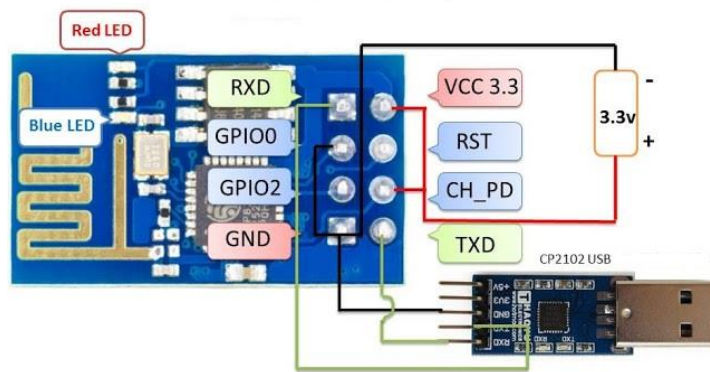


Figura 26 - Datasheet do Esp8266. [14]

1. GND é o *Ground*.
2. GPIO0 e GPIO2 são saídas que podem ser usadas com propósito de ser controladas, tal como, um Led, uma lâmpada, etc....
3. RXD é um pino onde se vai receber os dados pela porta série.
4. TXD é um pino onde irá transmitir os dados pela porta série.
5. CH\_PD é um pino para poder apagar e ativar o ESP- 01, se foi colocado a 0 volts, se apaga, se for 3,3 volts acende.
6. RESET é um pino para fazer *reset* ao ESP- 01.
7. VCC é onde se alimenta o ESP-01. Este funciona a 3,3 volts, a corrente deve ser maior que 200 mA.

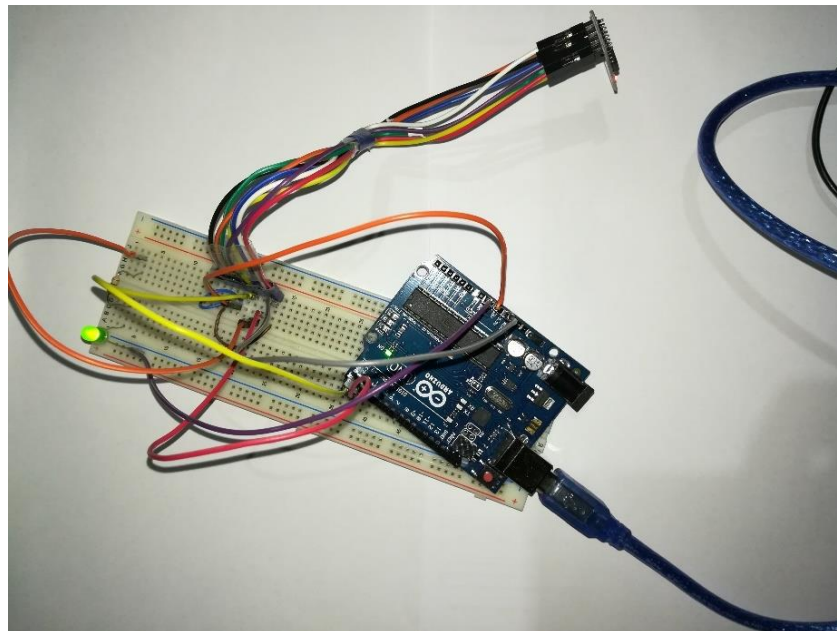
Depois de haver um estudo do módulo Wi-Fi, da sua estrutura e seu funcionamento, resta fazer a montagem do circuito para que possa ser programado, tal como evidenciado na figura seguinte.



**Figura 27 - Esquema de programação do ESP8266.**

No pino GPIO0 vai ser ativado o modo de programação do módulo que, depois de programado, retira-se a ligação naquele pino.

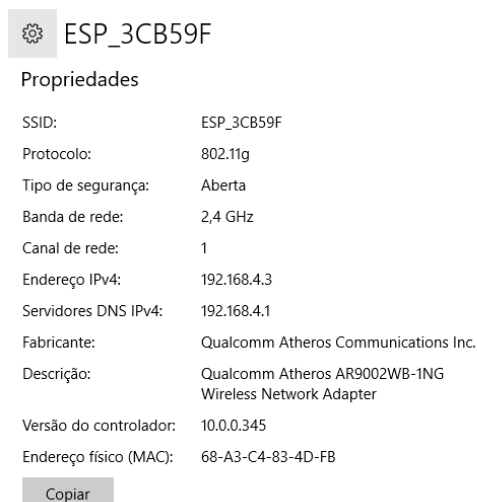
No procedimento a seguir vamos inserir um Led ao sistema (pino GPIO2), para que mais tarde possa ser controlado via Wi-Fi, por uma página WEB ou uma aplicação de telemóvel. [19]



**Figura 28- Montagem do ESP8266 incluído o Led.**

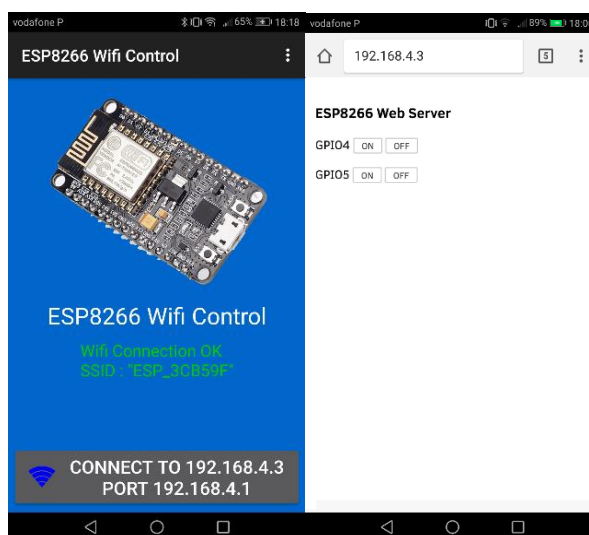
Como se pode verificar na imagem acima, o Led já está inserido no nosso sistema, mais tarde pode ser introduzido um relé e/ou uma lâmpada ou qualquer outro dispositivo. Na programação foi usada a biblioteca do `<ESP8266WiFi.h>` colocada nos anexos.

Em seguida conectamo-nos à rede Wi-Fi do ESP8266-01, e vemos as propriedades da sua rede.



**Figura 29 - Propriedades de rede do ESP8266.**

Após ver as propriedades, e retirar o mais importante que é o IP do módulo, basta utilizá-lo e aceder à página WEB, ou aceder a uma aplicação e inserir o IP, para que se possa controlar, no nosso caso, o Led. [19]



**Figura 30 - Aplicação para o telemóvel ou página Web.**

Optou-se por testar uma aplicação simples, que se pode descarregar pela google play store, e o seu funcionamento foi bastante razoável, apesar de ser demasiado simples.

Pela página WEB pode acrescentar-se mais botões GPIO's, e ser claramente uma boa solução para mais tarde introduzir outros módulos ao projeto e serem controlados por Wi-Fi.

## Capítulo 5

### 5. Conclusões finais e desenvolvimentos futuros

#### 5.1. Conclusões finais

Concluído este trabalho verifica-se que é possível implementar um sistema inteligente de gestão de energia elétrica, com tecnologias de baixo custo, envolvendo várias tarefas. Esta dissertação incidiu sobretudo na comunicação dos eletrodomésticos, na “tomada inteligente” e ainda a utilização do sistema Wi-Fi.

De princípio, houve necessidade de estudo da comunicação IIC, e respectiva implementação para que fosse possível a comunicação entre os Arduínos, e ainda com os outros módulos agregados, e para futuramente agregar outros.

Foi feito um estudo sobre o *ZigBee*, conceitos teóricos e práticos relacionados com protocolos de comunicação com “tomadas inteligentes”, análise de protocolos de comunicações existentes no mercado, escolhendo esses mesmos pelo preço e qualidade. Após a escolha, desenvolveu-se um módulo para controlo da tomada inteligente, para que fosse feita a implementação dos módulos e ainda a configuração do software XCTU. Por fim é programada a tomada para desligar e ligar de acordo com indicações que lhe são dadas através do *software*.

Posteriormente, partiu-se para a criação do módulo Wi-fi, tendo sido necessário fazer as respetivas ligações e atualizar o *firmware* do módulo para ser programado. Depois inseriu-se o código, e fez-se uma simulação com um Led, mais tarde poderá ser um relé e uma lâmpada, para que possa ser ligada ou desligada.

A principal conclusão que se pode retirar é que esta implementação numa habitação apresentará grandes vantagens, como a redução da fatura de eletricidade do consumidor, um maior aproveitamento dos recursos disponíveis e uma maior qualidade de utilização, beneficiando os utilizadores e o meio ambiente.

Relativamente aos resultados que foram apresentados são limitados, pois este projeto necessita ainda de mais módulos agregados e mais informações, que mais tarde

poderão ser implementadas. Desta forma a possibilidade de ter um sistema inteligente integrado e funcional ainda não foi possível.

Em suma, os objetivos traçados foram em grande parte cumpridos apesar das dificuldades que foram aparecendo durante o projeto.

## **5.2. Trabalhos e Desenvolvimentos Futuros**

Nesta secção serão apresentadas possíveis propostas para continuação deste trabalho. No entanto, tais propostas não foram desenvolvidas devido ao tempo e por estarem fora dos objetivos do projeto.

- Desenvolver futuramente uma aplicação para smartphone para gestão e monitorização.
- Propor modelos de privacidade, uma vez que as *Smart Grids* revelam informações detalhadas sobre o dia-a-dia do utilizador.
- Comunicação com o sistema de gestão e armazenamento de energia.
- Comunicação com o sistema de contagem de energia.
- Comunicação com site(s) de previsão meteorológica.

## Referências

- [1] Relatório Síntese, Eficiência Energética em Edifícios- Factos e Tendências.
- [2] A. Vidigal, “Smart Grids - As redes de distribuição de energia do futuro”, em: INESC TEC Porto, Junho 2011.
- [3] IEA, International Energy Agency. Technology Roadmap: Smart Grids. 2011.
- [4] Renato Nunes, “Integração de Serviços para Edifícios Inteligentes”, Tese de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST- Instituto Superior Técnico, Julho 1995.
- [5] Energias de Portugal (EDP), EDP Distribuição – InovGrid, em: [www.edpdistribuicao.pt]. (acedido em 15/06/2017)
- [6] Portugal inova nas Smart Grids, em: [www.janzce.pt]. (acedido em 25/06/2017)
- [7] T. Mendes, “Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações”, UBI- Universidade da Beira Interior, Covilhã, Outubro de 2013.
- [8] T. Mendes, “Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações”, UBI- Universidade da Beira Interior, Covilhã, Outubro de 2013.
- [9] Teleco - Inteligência em Telecomunicações ,em:[<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee>]. (acedido em 4/07/2017)
- [10] H. Malafaya, L. Tomás, J. P. Sousa, “Sensorização sem fios sobre ZigBee e IEEE 802.15.4”, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [11] ZigBee press Release: ZigBee Remote Control 2.0: Updated Standard for Radio Frequency-Based Remote Controls.
- [12] Gonçalo Praça. “Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica- ZigBee”, ESTIG-Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, Bragança, Outubro 2016.
- [13] <http://www.digikey.com/product-detail/en/digi-international/XB24-Z7WIT-004/602-1098-ND/1942304>. (acedido em 3/10/2017)
- [14] <https://pt.wikipedia.org/wiki/ESP8266>. (acedido em 25/09/2017)
- [15] <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf>. (acedido em 2/06/2017)
- [16] <http://www.arduino.br/arduino/i2c-protocolo-de-comunicacao>. (acedido em 25/06/2017)
- [17] <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/cp2102.pdf>. (acedido em 2/06/2017)
- [18] <https://www.esp8266basic.com> (acedido em 16/10/2017)

- [19] Schwartz, M. “Open Home Automation”. 2015. Disponível em:  
<https://openhomeautomation.net/control-a-lamp-remotely-using-the-esp8266-wifi-chip>.
- [20] <https://www.engineersgarage.com/electronic-components/arduino-pro-mini-pinout>. (acedido em 6/03/2017)

# Anexos

## A. Código fonte do IIC do Master

```
#include <Wire.h> //inicialização da biblioteca

void setup()
{
  Wire.begin(); // o endereço IIC é conectado para mestre
}

void loop()
{
  Wire.beginTransmission(1);
  Wire.write('H');           //enviando um byte para
                             o escravo
  Wire.endTransmission();   // paragem de transmissão

  delay(500);               // delay de 5 segundos

  Wire.beginTransmission(1);
  Wire.write('L');
  Wire.endTransmission();

  delay(500);

  Wire.beginTransmission(2);
  Wire.write('H');
  Wire.endTransmission();

  delay(500);

  Wire.beginTransmission(2);
  Wire.write('L');
  Wire.endTransmission();

  delay(500);
}
```

## B. Código fonte do IIC do Slave

```
#include <Wire.h> //inicialização da biblioteca

const byte slaveId = 1;

void setup()
{
  Wire.begin(slaveId);
  Wire.onReceive(receiveEvent);

  pinMode(13,OUTPUT);
  digitalWrite(13,LOW);
}

void loop()
{
}

void receiveEvent(int howMany)
{
  char inChar;

  while(Wire.available() > 0)
  {
    inChar = Wire.read();

    if (inChar == 'H')
    {
      digitalWrite(13, HIGH);
    }
    else if (inChar == 'L')
    {
      digitalWrite(13, LOW);
    }
  }
}
```

### C. Código fonte da configuração da tomada re:dy

```
int valores = 0; // A String criada que armazena  
o estado da tomada
```

```
String estado;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
pinMode(2, OUTPUT); //O pino 2 foi definido
```

como saída.

```
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() // O módulo aguarda que seja
```

recebida a ordem de ligar ou desligar a tomada.

```
{
```

```
if (Serial.available() > 0)
```

```
{
```

```
valores = Serial.read(); //Desligar a tomada e
```

armazenamento do seu estado

```
if(valores == '0')
```

```
{
```

```
digitalWrite(2, LOW);
```

```
estado = "desligada";
```

```
}
```

```
else if(valores == '1') //Ligar a tomada e
```

armazenar o seu estado

```
{
```

```
digitalWrite(2, HIGH); 32
```

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

```
}
```

```
Serial.print(" Tomada "); //Mensagem de  
confirmação de estado.
```

```
Serial.print(estado);
```

```
Serial.prite(10);
```

```
}
```

```
}
```

## D. Código fonte do Módulo Wi-Fi

```
//inicialização da Biblioteca
```

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
const char* ssid = "ssid";
```

```
const char* password = "password";
```

```
WiFiServer server(80);
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  delay(10);
```

```
// Pino usado para controlo do led GPIO2
```

```
pinMode(4, OUTPUT);  
digitalWrite(4, 0);
```

```
// conexão á internet
```

```
Serial.println();  
Serial.println();  
Serial.print("Connecting to ");  
Serial.println(ssid);
```

```
WiFi.begin(ssid, password);
```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
  delay(500);  
  Serial.print(".");  
}
```

```
Serial.println("");  
Serial.println("WiFi connected");
```

```
// inicio do servidor
```

```
server.begin();  
Serial.println("Server started");  
Serial.println(WiFi.localIP());  
}
```

```
void loop() {  
  WiFiClient client = server.available();  
  if (!client) {  
    return;
```

```
}
```

```
Serial.println("new client");  
while(!client.available()){  
  delay(1);  
}
```

```
String req = client.readStringUntil('\r');  
Serial.println(req);  
client.flush();
```

```
String buf = "";
```

```
// Para cada botão adicionado é usado  
uma nova linha no buffer
```

```
buf += "HTTP/1.1 200 OK\r\nContent-Type:  
text/html\r\n\r\n<!DOCTYPE HTML>\r\n";  
buf += "<html lang='en'><head><meta  
name='viewport' content='width=device-width,  
initial-scale=1, user-scalable=no'>\r\n";  
buf += "<title>ESP8266 Web Server</title>";  
buf += "<style>.c{text-align: center; }  
div,input{padding:5px;font-size:1em; }  
input{width:80%;} body{text-align: center;font-  
family:verdana;} button{border:0;border-  
radius:0.3rem;background-color:#1fa3ec;color:#fff;line-  
height:2.4rem;font-size:1.2rem;width:100%;} .q{float:  
right;width: 64px;text-align: right;}</style>";  
buf += "</head>";  
buf += "<h3>ESP8266 Web Server - System  
Logs</h3>";  
buf += "<p>GPIO0 <a  
href='\"?function=led4_on\"'><button>ON</button></a>  
<a  
href='\"?function=led4_off\"'><button>OFF</button></a>  
</p>";  
buf += "</html>\n";
```

```
client.print(buf);  
client.flush();
```

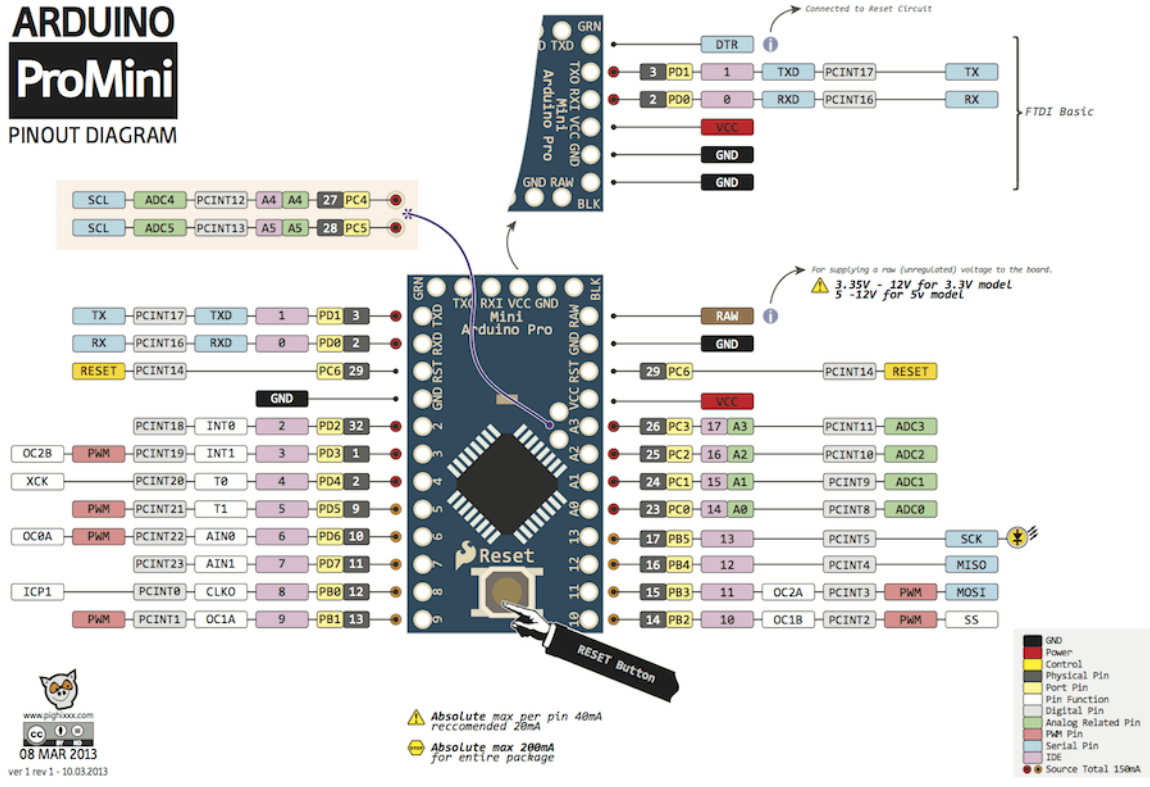
```
//Adiciona o controlo da GPIO
```

```
if (req.indexOf("led4_on") != -1)  
  digitalWrite(4, 1);  
else if (req.indexOf("led4_off") != -1)  
  digitalWrite(4, 0);
```

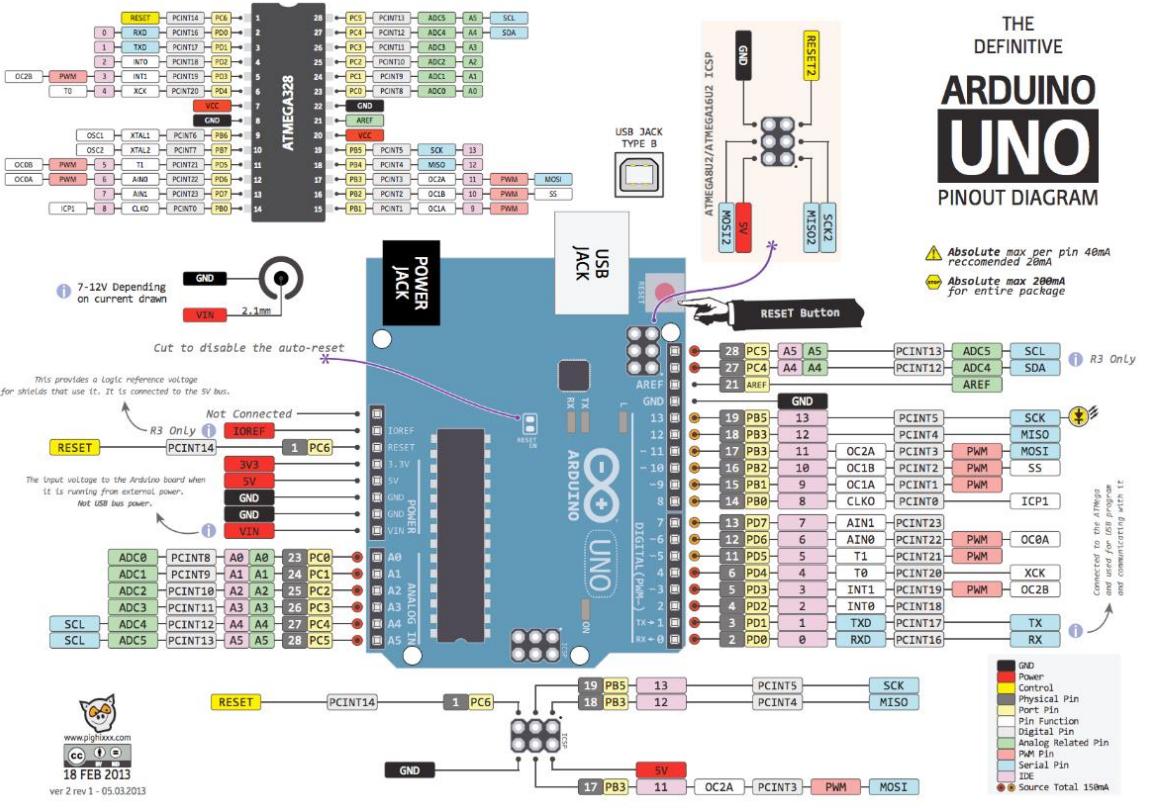
```
else {  
    Serial.println("invalid request");  
    client.stop();  
}  
Serial.println("Client disconnected");  
}
```

# E. Datasheet dos Arduínos

## THE UNOFFICIAL ARDUINO ProMini PINOUT DIAGRAM



www.pjrc.com  
08 MAR 2013  
ver 1 rev 1 - 10.03.2013

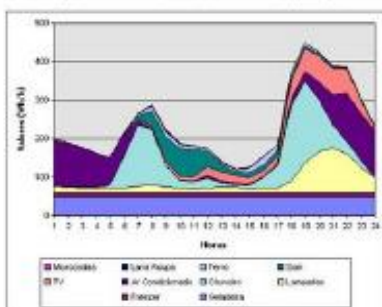
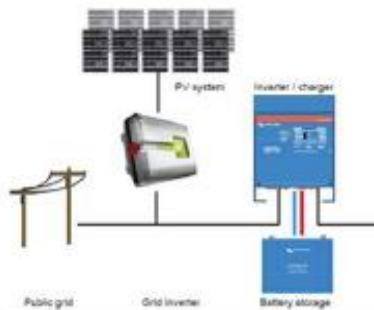
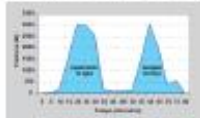


www.pjrc.com  
18 FEB 2013  
ver 2 rev 1 - 05.03.2013

## F. Esquema do SIGEE

### Previsão meteorológica horária

10H	11H	12H	13H	14H	16H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H
☀	☀	☀	☀	☀	☀	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
23°	24°	26°	27°	25°	28°	27°	25°	24°	23°	22°	21°	21°	22°	21°	20°	19°	19°	18°	18°	16°	16°	19°	21°



Comunicação com eletrodomésticos ou tomadas com controlo remoto	Comunicação com previsão IPMA ?	Comunicação com smartphones	Comunicação com WEB e Sistemas externos
Comunicação com sistema de gestão e armazenamento de energia	Sistema aprendizagem sobre hábitos de consumo	Sistema penidas de activação de cargas	Sistema Estatístico e de reporting
Comunicação com sistema de contagem de energia	Desagregação de consumos	"Datalogger"	Configurações
Base de dados			

SIGEE - Sistema Inteligente de Gestão de Energia Elétrica