



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

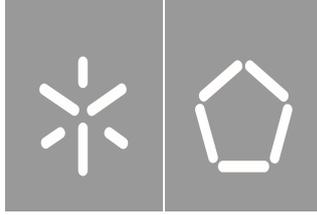
João Pedro Montenegro Cunha ZeroSkin: Sensorização

João Pedro Montenegro Cunha

ZeroSkin: Sensorização

UMINHO | 2023

Abril de 2023



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

João Pedro Montenegro Cunha

## ZeroSkin: Sensorização

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Eletrónica  
Industrial e  
Computadores  
Instrumentação e Microsistemas  
Eletrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Luís Gonçalves**

**Abril de 2023**

## Agradecimentos

Só foi possível alcançar este momento devido a todo o apoio que me foi prestado por quem me era próximo, não necessariamente por ajuda académica, mas por todo o incentivo que me manteve motivado a continuar.

Começo por agradecer a uma pessoa que infelizmente já não está presente, mas sempre me recebeu de braços abertos quando necessário, o meu avô. De igual maneira quero agradecer à minha avó que de igual forma foi incansável a me prestar apoio e carinho. Aos meus pais que sem eles nada disto teria sido possível e ao meu irmão que me encaminhou a envergar por esta área de conhecimento e lhe estou muito agradecido por isso.

Ao Professor Doutor Luís Gonçalves, orientador da dissertação, o meu sincero obrigado que sempre estava disposto a ajudar quando as dúvidas, que me impediam de avançar, surgiam e me fazia recomendações de como melhorar.

Também sou imensamente agradecido a todos os meus amigos que me acompanharam nesta jornada, desde os mais antigos até às amizades mais recentes, por não só enfrentarem as batalhas do dia-a-dia comigo, mas por todos os bons momentos passados em lazer.

O meu agradecimento também ao departamento de civil e ao projeto (“ZeroSkin+ - Development of a 3D printed modular panel for holistic renovation of residential buildings, based on recycled plastic and natural materials”. Reference - NORTE-01-0145-FEDER-000058 - co-funded by the European Regional Development Fund (FEDER) through Norte Regional Operational Programme) em que estou inserido, quer pela proposta quer pelo financiamento deste trabalho.

Todos os agradecimentos aqui escritos são pouco em comparação com toda a gratidão que tenho a estas pessoas e espero poder retribuir todo o carinho e apoio que me foi dado.

O meu humilde obrigado

## Resumo

A dissertação insere-se no projeto *ZeroSkin*, um projeto que pretende fornecer uma solução a baixo custo para renovação da fachada de edifícios que não vão de encontro com os objetivos europeus para 2050 em termos de eficiência energética. A dissertação acrescenta inteligência à fachada com a capacidade de sensorizar o meio, recolhendo dados para a integração da fachada numa casa inteligente.

A dissertação resulta em duas versões de protótipos de sensores com comunicação sem fios. A comunicação será assegurada pelos microprocessadores Xbee que comunicam através do protocolo de comunicação *Z-Wave*, evitando interferências com os restantes equipamentos wireless presentes na habitação, garantido um alcance até 100 metros em ambiente urbano.

A primeira das versões possui capacidade de medir a temperatura ambiente, a humidade relativa e a luminosidade. Esta versão consegue medir temperatura num intervalo de -50 até 150 graus celsius, medir humidade relativa entre 30 e 90 % e medir iluminância entre 0 e, aproximadamente, 1000 lux.

A segunda versão foi desenvolvida para garantir o correto funcionamento da fachada, detetando falhas através da intrusão de água, possuindo sensores de vazamento instalados nos pontos críticos da fachada renovada. As medições destes sensores foram divididas em três intervalos, ausência de água, presença de alguma humidade e presença de água.

O protótipo final resultou num protótipo de baixo custo, baixa manutenção, dimensões reduzidas e baixa pegada na fachada, baixo consumo energético e autónomo energeticamente.

A autonomia do módulo de sensores é assegurada através de uma bateria de lítio, capaz de alimentar o módulo durante 9 dias, ligada a um gestor de carga, alimentada por um painel solar. Resultando num módulo compacto e capaz de permanecer em funcionamento durante longos períodos, desde que exposto esporadicamente a luz solar.

A suportar as funcionalidades que o hardware desenvolvido possui, um programa em *Python* controla as comunicações no recetor central, enviando comandos, processando os dados recebidos, terminando a apresentar ao utilizador e gravando em ficheiro os dados processados.

Palavras-Chave: Wireless, Sensores, Temperatura, Humidade relativa, Luminosidade.

## Abstract

The dissertation is part of the project ZeroSkin, a project that want give a rentable solution for the renovation of the building's facade, on building where the energy efficient do not meet the 2050 european objectives. The dissertation add intelligence to the façade with the capability of sensing the environmental, collecting data for the integration of the façade in a smart home.

The dissertation results in two versions of the prototypes with wireless communication. The communication will be assured by the Xbee microprocessors which communicate thought the Z-Wave communication protocol, avoiding interference with others wireless equipment present in the habitation, guaranteed a range of 100 meters in urban environment.

The first version of the prototype has the capacity to measure ambient temperature, relative humidity and luminosity. This version is capable of measure temperature in a range of 50 to 150 Celsius, measure relative humidity between 30 and 90 % and measure illuminance between 0 and, approximately, 1000 lux.

The second version has developed to guarantee the correct façade perform, detecting faults through the intrusion of water, having four leak sensors which will be instigated in the critical points of the renovated façade. The sensor's measurement was divided in three gaps, lack of water, some condensation and water presence.

The final prototype result in a prototype with low cost, low maintenance, small dimensions and low footprint in the façade, low energy consumption and energetic autonomous.

The sensor module's autonomy is assured thought a lition battery, capable of feed the module during 9 days in function, connected at a charge gestor feed by a solar cell. Resulting in a compact module and capable of maintaining functions during long periods, meanwhile sporadic exposure to sun light.

Supporting the hardware functionalities developed, a program in Python controls the communications in the central receptor, sending commands, processing the data received, finishing showing the user and writing in a document the data processed.

Keywords: Wireless, Sensors, Temperature, Relative humidity, luminosity

## Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de equações.....	viii
Índice de tabelas.....	ix
Lista de acrónimos.....	x
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Projetos com objetivos semelhantes ao projeto de dissertação.....	2
1.3. Objetivos pretendidos da dissertação.....	3
1.4. Requisitos do projeto para a dissertação.....	3
1.5. Conhecimentos para cumprir a dissertação.....	4
1.6. Material necessário para completar a dissertação.....	5
2. Revisão da literatura.....	7
2.1. Sensores.....	7
2.1.1. Sensor de temperatura.....	8
2.1.2. Sensor de luminosidade/exposição solar.....	10
2.1.3. Sensor de humidade atmosférica.....	13
2.1.4. Sensor de vazamento ou inundação.....	14
2.2. Coleta de energia.....	16
2.2.1. Baseada em rádio frequência.....	16
2.2.2. Baseada em energia solar.....	16
2.2.3. Baseada em energia eólica.....	17
2.3. Redes de sensores.....	17

2.3.1.	Topologia em estrela.....	18
2.3.2.	Topologia em árvore .....	18
2.3.3.	Topologia em malha .....	18
2.4.	Protocolos wireless.....	19
2.4.1.	Bluetooth.....	19
2.4.2.	ZigBee.....	19
2.4.3.	Z-Wave .....	20
3.	Projeto e implementação.....	22
3.1.	Protótipo preliminar.....	24
3.2.	Protótipo final em PCB .....	32
3.3.	Software.....	37
3.3.1.	Estrutura das tramas de comunicação .....	38
3.3.2.	Funções de cálculo das grandezas físicas.....	38
3.3.3.	Algoritmo do software .....	42
3.3.4.	Interface com o utilizador.....	46
3.4.	Recolha e armazenamento de energia .....	48
3.5.	Custo da solução apresentada.....	50
4.	Ensaios experimentais.....	53
4.1.	Testes em ambiente controlado.....	53
4.2.	Testes em ambiente real .....	59
5.	Conclusão e trabalho futuro.....	64
5.1.	Conclusão.....	64
5.2.	Trabalho futuro .....	65
6.	Bibliografia.....	67

## Índice de figuras

Figura 1: Estrutura do protótipo desenvolvido .....	7
Figura 2: Circuito do termopar [10].....	9
Figura 3: Fotorresistências – detecção em função do comprimento de onda [12] .....	11
Figura 4: Fotodiodo - corrente em função da iluminação [11] .....	12
Figura 5: Fototransistor - corrente em função da iluminação [11] .....	13
Figura 6: Topologias de redes de sensores [22] .....	18
Figura 7: Configuração de parâmetros - XTCU .....	23
Figura 8: Configurações do ciclo de sono - XTCU.....	24
Figura 9: Configuração do pino de saída digital - XTCU.....	25
Figura 10: Circuito com a inserção do regulador de tensão.....	26
Figura 11: Sensor de vazamento.....	27
Figura 12: Circuito do sensor de vazamento resistivo .....	28
Figura 13: Esquemático do módulo de sensores .....	28
Figura 14: Estado final da protoboard .....	29
Figura 15: Circuito de alimentação do módulo .....	29
Figura 16: Circuito de aquisição dos valores de temperatura .....	30
Figura 17: Circuito de aquisição dos valores de humidade.....	30
Figura 18: Circuito de aquisição dos valores de luminosidade.....	31
Figura 19: Circuito de detecção de falhas na fachada .....	32
Figura 20: Esquemático do circuito do módulo de sensores.....	33
Figura 21: Visualização 3D da PCB desenvolvida.....	34
Figura 22: Módulo Xbee e antena [37] .....	35
Figura 23: Protótipo do módulo de sensores com capacidade de sensorização do meio.....	35
Figura 24: Protótipo do módulo de sensores com capacidade de detecção de falhas na fachada	36
Figura 25: Modelo 3D do encapsulamento do módulo de sensores.....	36
Figura 26: Desenho 3D da tampa inferior do encapsulamento.....	37
Figura 27: Desenho 3D da tampa superior do encapsulamento .....	37
Figura 28: Estrutura da mensagem API [33] .....	38
Figura 29: Resposta do sensor de luminosidade à intensidade luminosa [38] .....	39
Figura 30: Aproximação da variação da resposta com a temperatura a uma reta [38].....	40

Figura 31: Resposta do sensor de humidade relativa em função da temperatura [39] .....	41
Figura 32: fluxograma do programa principal .....	44
Figura 33: Fluxograma da função de processamento de dados.....	45
Figura 34: Interface com o utilizador .....	47
Figura 35: Painel solar 8x18 cm .....	49
Figura 36: Gestor de carga MPPT CN3791 .....	50
Figura 37: Teste de conexão no programa XTCU .....	53
Figura 38: Termómetro auxiliar .....	54
Figura 39: Gráfico da variação da corrente consumida, utilizando uma resistência de 10 $\Omega$ em série, sendo o fator de conversão de 0,1 A/V .....	56
Figura 40: Gráfico da tensão de alimentação na ativação do módulo de sensores .....	57
Figura 41: Gráfico da tensão de alimentação do módulo de sensores em sono .....	57
Figura 42: Teste de sincronismo em Pycharm.....	59
Figura 43: Teste ao sensor de vazamento .....	60
Figura 44: Resultado Pycharm, sem presença de água .....	60
Figura 45: Resultados Pycharm, com presença de água (em absorção pelo sensor) .....	60
Figura 46: Resultados em Pycharm, com presença de água.....	61
Figura 47: Gráfico dos valores de temperatura .....	62
Figura 48: Gráfico dos valores de humidade relativa.....	62
Figura 49: Gráfico dos valores de luminosidade.....	63

## Índice de equações

Equação 1: Equação de Steinhart-Hart.....	8
Equação 2: Equação de Callendar-Van Dusen .....	9
Equação 3: Equação da humidade relativa [13] .....	13
Equação 4: Equação reduzida da reta .....	39
Equação 5: fórmula de ajuste da resposta do sensor de luminosidade com a temperatura.....	40
Equação 6: Equação de cálculo da luminosidade .....	40
Equação 8: Interpolação da reatância capacitiva segundo a temperatura .....	41
Equação 9: Interpolação da humidade relativa segundo a reatância.....	41
Equação 10: fórmula de cálculo do consumo do módulo.....	48
Equação 11: cálculo do consumo do módulo .....	48
Equação 12: fórmula de dimensionamento da bateria .....	48
Equação 13: Cálculo do consumo médio do módulo de sensores para 5 minutos.....	58
Equação 14: Consumo durante 1 hora.....	58
Equação 15: Cálculo do tempo de alimentação com uma carga .....	58
Equação 16: Aproximação para dias .....	58

## Índice de tabelas

Tabela 1: Características de alguns tipos de termopares [10] .....	10
Tabela 2: Comparação entre ZigBee e Bluetooth [25].....	20
Tabela 3: Tabela com o custo dos componentes utilizados comuns às duas versões.....	51
Tabela 4: Tabela com o custo dos componentes utilizados na versão mais complexa.....	51
Tabela 5: Tabela com o custo dos componentes utilizados na versão mais simples .....	52

## Lista de acrónimos

MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor Transistor de efeito de campo metal - óxido
NTC	Coeficiente de temperatura negativo
PTC	Coeficiente de temperatura positivo
RF	Rádio frequência
PCB	Circuito impresso em placa
ac	Corrente alternada
dc	Corrente continua
°C	Celcius
HVAC	Sistema de ar condicionado
ADC	Conversor analógico para digital
IoT	Internet das coisas
ISM	Banda de frequência rádio destinada à indústria, ciência e medicina
GPIO	Pinos de entrada/saída para uso geral
CMOS	Semicondutor metal-óxido de simetria complementar
UART	Recetor-transmissor assíncrono universal
RC	Circuito composto por uma resistência e um condensador
SMD	Tecnologia de montagem superficial

## 1. Introdução

De forma a organizar o documento a melhor transparecer o conteúdo da dissertação, inicia-se por apresentar um enquadramento a explicar a necessidade de tal projeto, segue-se para a motivação para a sua realização, aborda-se os objetivos que se pretende alcançar, resume-se os requisitos estabelecidos à dissertação e termina-se a demonstrar a organização da restante dissertação.

A comissão europeia publicou pela primeira vez um mapa energético até 2050. A comissão declarou que a maneira mais eficiente economicamente de reduzir emissões em ordem para manter o aquecimento das alterações climáticas abaixo dos 2°C, seria através da redução das emissões em habitação [1].

Em Portugal, apenas em 1990 foram definidos os primeiros requisitos térmicos para edifícios [32]. Até essa data não existia qualquer regulamentação acerca da eficiência energética, tal dependia apenas dos proprietários e dos construtores da habitação, não havendo, por isso, uniformidade. O que resulta numa necessidade de consumo energético para colmatar estas ineficiências na construção, tanto a nível da temperatura de conforto como a nível da luminosidade e a nível da humidade.

De modo a reduzir o consumo energético neste setor, sem comprometer o conforto das habitações, uma melhoria das fachadas destas é crítico. Esta melhoria iria de encontro com os objetivos europeus para 2050 em termos de transição de energia.

### 1.1. Enquadramento

O projeto ZeroSkin, em desenvolvimento ao tempo do documento, pretende fornecer uma solução rentável e sustentável para ir de encontro com os objetivos europeus de 2050, no que diz respeito à eficiência das habitações. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de painéis pré-fabricados, impressos numa impressora 3D, partindo de plásticos reciclados, fixados numa estrutura metálica inserida na fachada existente.

Com os avanços tecnológicos em que se vive, especialmente com a IoT (internet das coisas), em que se pretende conectar os diversos objetos do quotidiano à internet para comunicarem entre si e com o utilizador, atribuir estas capacidades ao edifício, mais especificamente à fachada, para além de interessante, produz dados relevantes para a gestão do

edifício. Podendo fornecer diversas informações acerca desta e das condições que a rodeiam sem ser necessário uma inspeção física, que pode ser de difícil acesso.

Para o controlo de objetos ubíquos torna-se necessária a recolha de dados, através da sensorização, das grandezas físicas de interesse, reunidas num único ponto, para determinar a resposta pretendida para cada condição. Embora o projeto tenha como objetivo todo o sistema de controlo de objetos, a dissertação foca-se na recolha de dados para tal sistema.

## 1.2. Projetos com objetivos semelhantes ao projeto de dissertação

São apresentados projetos semelhantes ao projeto que esta dissertação está inserida, contudo, apesar de semelhante ao projeto global, nem todos apresentam o objetivo desta dissertação, sensorização do meio ambiente.

Um dos projetos que apresenta o objetivo de comunicar e controlar o sistema de HVAC (ar condicionado) é o apresentado em [27], contudo este foca-se em obter dados acerca do interior das divisões, sendo esta uma das principais diferenças da dissertação. De forma idêntica o projeto [28] tem como objetivo otimizar o funcionamento do HVAC partindo de dados recolhidos por sensores.

O projeto [29] apresenta um método de implementação idêntico ao desta dissertação e do projeto onde a dissertação está inserida. Contudo, apresenta um objetivo diferente. O objetivo do projeto é desenvolver uma fachada inteligente, com os dados recolhidos da exposição solar controlar as persianas automáticas e realizar o ajuste da iluminação artificial da divisão. De encontro ao projeto supracitado é apresentado este [30] que apresenta o mesmo objetivo, o controlo das persianas, contudo o último foca-se apenas em como realizar o controlo das persianas.

Diversos projetos acerca de fachadas inteligente apresentam semelhanças quer nos objetivos quer nos métodos de implementação. O seguinte artigo apresenta as dificuldades encontradas bem como direções futuras a seguir, [31], tendo sido inserido num jornal acerca do tema das fachadas [32].

### 1.3. Objetivos pretendidos da dissertação

O projeto *ZeroSkin* pretende acompanhar o grande avanço tecnológico, como é o caso da internet das coisas, em que todos os objetos possuam capacidade de comunicação e interação entre eles. Como tal, é necessário integrar a inteligência necessária para que o projeto possua tais capacidades. Assim é requerido o desenvolvimento de um módulo capaz de comunicar o estado da fachada (renovada), sem qualquer intervenção humana, bem como sensorizar o meio ambiente em que a fachada está inserida. Para determinar e comunicar o estado da fachada almeja-se determinar os pontos críticos desta e, aí inserir sensores que detetem degradação ou algum tipo de mal funcionamento que necessite de uma intervenção.

Para sensorizar o meio ambiente em que a fachada está inserida pretende-se recolher, através de sensores expostos, a iluminância, a temperatura do meio bem como a humidade relativa. Cada módulo é detentor de um sensor para cada grandeza física a ser estudada, recolhendo assim todos os dados no ponto em que for inserido.

Os dados obtidos pelos diversos sensores abordados nos parágrafos acima são recolhidos no microprocessador integrado no módulo, que é responsável por juntar as diferentes medições de cada sensor numa única mensagem e a transmitirá através de comunicação sem fios.

Por último, destina-se que os dados de toda a fachada sejam centralizados num único ponto para cruzamento destes e realização das ações necessárias. Então define-se um recetor central que irá possuir a capacidade de processar os dados recolhidos, simplificando assim os diversos módulos e reduzindo o custo que estas funcionalidades acrescentam.

Como supracitado, o objetivo da dissertação é desenvolver uma solução para o problema apresentado, mas com o menor custo possível encontrado, abdicando da precisão e exatidão dos resultados que não são fulcrais para o resultado.

### 1.4. Requisitos do projeto para a dissertação

Com vista o estado final do projeto, pretende-se que os módulos de sensores sejam pouco intrusivos, por isso a solução tem de possuir dimensões reduzidas e formato de possível integração na fachada do edifício.

Como apresentado nos objetivos da dissertação a solução terá de possuir capacidade de medir grandezas físicas do meio ambiente, a temperatura, a humidade relativa e a iluminância na fachada. Também tem de ser capaz de detetar qualquer degradação ou mau funcionamento da fachada instalada através da inserção de sensores nos pontos críticos.

Os dados acima são tem de ser comunicados de forma sem fios, de forma a reduzir a pegada na fachada, e recolhidos num recetor central, desta forma serão processados de forma centralizada. Retirando complexidade dos diversos módulos, e cruzando os dados recolhidos nos diferentes pontos para realizar o controlo dos objetos ubíquos. Uma vez que estes requisitos têm de ser cumpridos priorizando o custo, de forma a obter um projeto rentável.

Além do presente, os diversos módulos na fachada devem possuir a sua própria fonte e armazenamento de energia, de forma a funcionarem autonomamente, aumentando a simplicidade de instalação, reduzindo a necessidade e o custo da manutenção.

São desenvolvidos dois módulos diferentes, módulos que possuam apenas capacidade de sensorizar o meio ambiente, módulos que possuam apenas capacidade de detetar falhas e degradação da fachada.

### 1.5. Conhecimentos para cumprir a dissertação

Com base nos objetivos e nos requisitos da dissertação esperam-se os seguintes conhecimentos:

- Na área da eletrónica no desenvolvimento dos circuitos:
  - Circuitos dos sensores;
  - Circuito de alimentação;
  - Armazenamento de energia.
- Na área de microprocessadores para:
  - Recolha de dados dos diversos circuitos de sensores;
- Nas áreas de microcontroladores, e processamento de sinal, para:
  - Desenvolver um recetor central, com a capacidade de processar todos os dados recebidos.
- Nas áreas de redes *wireless* e de radiofrequência para:

- A transmissão dos dados entre o recetor central e os módulos de sensores, comunicação sem fios.
- Nas áreas de gestão de base de dados e programação para:
  - Tratar os dados no recetor central;
  - Cruzar os dados dos diferentes módulos;
  - Guardá-los num único documento, de forma a desenvolver um sistema de controlo.

## 1.6. Material necessário para completar a dissertação

Estima-se para a dissertação a seguinte lista de material abaixo enumerada:

- Microprocessador capaz de recolher os dados dos diversos sensores e que possua capacidade de comunicação sem fios;
- Antena para aumentar o alcance da emissão e receção de dados;
- Sensor de temperatura para determinar a temperatura do meio;
- Sensor de humidade relativa para medir a humidade relativa presente no ar;
- Sensor de iluminância para recolher a luz incidente na fachada onde o módulo está inserido;
- Sensor de vazamento para detetar falhas ou degradação da fachada através da intrusão de água;
- MOSFET para desativar o circuito de sensorização quando não em uso;
- Bateria para armazenar energia suficiente para alimentar o módulo durante quinze dias sem nenhuma recarga;
- Célula solar fotovoltaica para recolher energia do meio de forma a preservar a vida útil do módulo sem cargas;
- Gestor de carregamento solar de baterias para conectar a célula solar fotovoltaica à bateria e fazer gestão desta;

- Regulador de tensão para manter a alimentação do módulo numa tensão constante, uma vez que a tensão nos terminais da bateria varia consoante o nível de carga;
- Pequenos componentes eletrónicos para desenvolver os circuitos de sensorização, como resistências e condensadores.

## 2. Revisão da literatura

Este capítulo aborda os principais conceitos retratados na dissertação. Começando por uma breve apresentação acerca dos sensores, passando para os sistemas de *energy harvesting*, terminando com as redes de sensores e os protocolos *wireless*.

Torna-se fundamental esta contextualização inicial para dar conhecimento geral da temática da dissertação, desta forma será mais facilmente perceptível o porquê das decisões futuras tomadas e quais seriam as restantes opções. O protótipo do módulo de sensores desenvolvido apresenta a seguinte composição, Figura 1, ao longo da dissertação são abordadas separadamente as partes integrantes do protótipo.

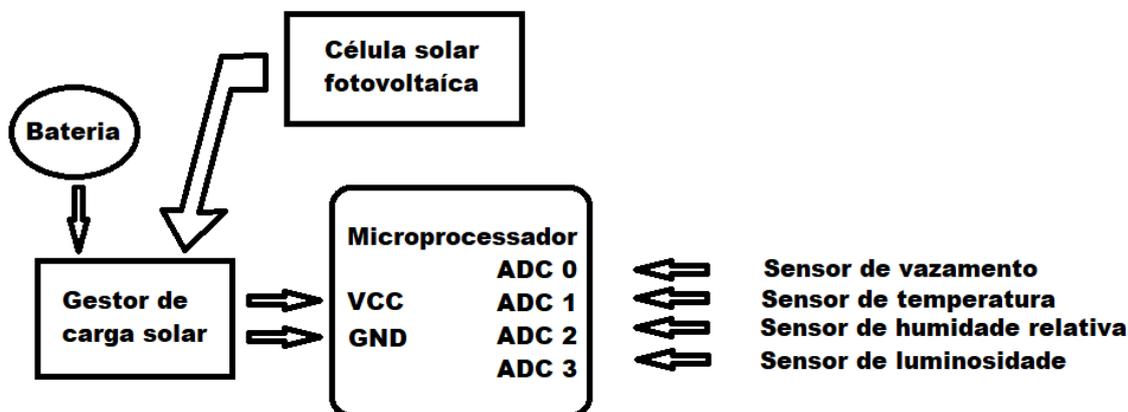


Figura 1: Estrutura do protótipo desenvolvido

Atualmente, o projeto em que a dissertação está inserida é um tema de interesse para diversas universidades e investigadores, uma vez que se trata de um problema global e que se pretende resolvido até 2050 para atingir os *European goals* 2050 [1]. Existindo por isso projetos semelhantes como é exemplo o *RenoZEB* [2] entre outros [3][4][5].

### 2.1. Sensores

Os sensores são dispositivos que recolhem estímulos físicos ou químicos e reagem aos estímulos produzindo um sinal de natureza elétrica [6]. Na dissertação são inseridos quatro sensores diferentes, sendo eles: sensor de temperatura, sensor de iluminância, sensor de humidade atmosférica e sensor de vazamento ou inundação.

### 2.1.1. Sensor de temperatura

Os sensores de temperatura são sensores que conseguem medir temperatura em diferentes estados físicos, pode ser de um gás, de um líquido ou de um sólido. A dissertação pretende medir a temperatura atmosférica, ou seja, de um gás. Para conseguir medir nestes diferentes estados existem diferentes tipos de sensores e diferentes princípios de medição. Os sensores de temperatura mais comuns podem-se dividir em quatro tipos [7]:

#### *Termistor*

Podem ter tamanho reduzido uma vez que consiste em dois terminais revestidos por vidro ou resina epóxi, que medem a temperatura através da variação da resistência. Existem dois tipos de termístores os NTC (*negative temperature coefficient*) e os PTC (*positive temperature coefficient*), sendo mais comumente usados os termístores NTC para aplicações de medição. Os condutores são feitos a partir de uma mistura de óxidos metálicos como cobre, níquel, cobalto, ferro ou magnésio. Estes tipos de sensores são muito sensíveis a variações de temperatura, mas conseguem medir um pequeno intervalo de temperatura, tipicamente entre -90 graus centígrados e 130 graus centígrados [8].

Apresentam baixa linearidade aquando da variação da resistência em função da temperatura, sendo por isso utilizada a equação de Steinhart-Hart para determinar uma aproximação da curva do termistor.

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3$$
$$R^{BT} = e^{TA+TC[\ln(R)]^3-1}$$

*Equação 1: Equação de Steinhart-Hart*

Onde R é a resistência do termistor, T a temperatura em kelvins e A, B e C são constantes de ajuste das curvas determinadas pelo processo de calibração.

Geralmente os coeficientes A, B e C dos termístores são fornecidos pelo fabricante para um determinado intervalo de temperatura, de modo a permitir a calibração do sensor.

#### *Termorresistência*

O princípio de funcionamento das termorresistências é semelhante ao dos termístores, a temperatura é medida pela variação da resistência no condutor. Um aumento da resistência no

condutor provoca uma diminuição do potencial à saída do sensor, mantendo a corrente constante, segundo a lei de Ohm. É usualmente utilizada platina pelas suas características de resistência em relação à temperatura, revestido com vidro ou cerâmica. É um sensor que se encontra operacional num intervalo de temperatura grande, possui boa precisão e exatidão bem como uma linearidade razoável. Por estas características é utilizado em aplicações de instrumentação e de controlo de processo [9].

Apresentando uma resposta não linear, a resistência em relação à temperatura é descrita pela equação de Callendar-Van Dusen:

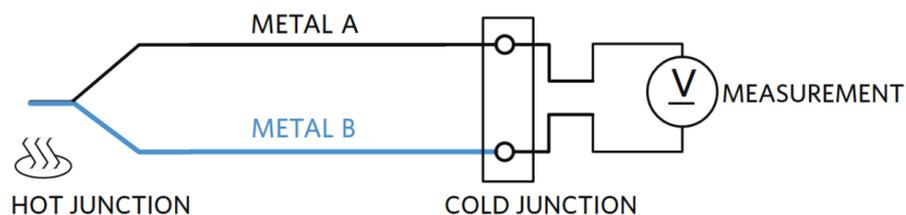
$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3)$$

*Equação 2: Equação de Callendar-Van Dusen*

Onde, T é a temperatura (°C), R(T) é a resistência à temperatura T e R0 é a temperatura a zero graus centigrados. Em sensores de platina de 100 Ohms (conhecidas como PT100) o coeficiente “C” é habitualmente aproximada a zero, e em aplicações de gama reduzida de temperatura (exemplo 0-100 °C), também é desprezado o coeficiente “B”, linearizando a relação resistência-temperatura com a constante A = 0.00385 °C<sup>-1</sup> e R0 = 100 Ω.

### *Termopar*

São utilizados na indústria, nos automóveis e em equipamentos para consumidores. É um sensor que não necessita de alimentação e opera num intervalo de temperatura muito amplo, acima de 2000 °C [10]. Possui também a característica de ter uma resposta rápida. Possui dois condutores de metais diferentes conectados em duas junções, uma onde se pretende medir a temperatura e uma segunda que serve como referência, Figura 2.



*Figura 2: Circuito do termopar [10]*

A diferença de material nos condutores provoca uma tensão entre eles quando sujeitos a uma temperatura que não a de referência, utilizando o efeito de Seebeck. Esta tensão pode ser

usada para calcular a temperatura medida. Existem alguns tipos de termopares, representados na

Tabela 1: Características de alguns tipos de termopares [10]

Type	Temperature Range (°C) (Short Term)	Sensitivity ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	Conductor Alloys
K	-180 to +1300	41	Chromel (90% Ni, 10% Cr)
			Alumel (95% Ni, 2% Mn, 2% Al, and 1% Si)
J	-180 to +800	55	100% Fe
			Constantan (55% Cu, 45% Ni)
N	-270 to +1300	39	Nicrosil (84.1% Ni, 14.4% Cr, 1.4% Si, 0.1% Mg)
			Nisil (95.6% Ni, 4.4% Si)
R	-50 to +1700	10	87% Pt, 13% Rh
			100% Pt
S	-50 to +1750	10	90% Pt, 10% Rh
			100% Pt
B	0 to +1820	10	70% Pt, 30% Rh
			94% Pt, 6% Rh
T	-250 to +400	43	100% Cu
			Constantan
E	-40 to +900	68	Chromel
			Constantan

Tabela 1: Características de alguns tipos de termopares [10]

### *Circuito integrado baseados em semicondutores*

Estes sensores realizam a medição de temperatura de PCB (circuitos impressos em placa) ou a temperatura do meio envolvente, possuindo uma variedade de aplicações desde os computadores de uso pessoal a sistemas de controlo industriais.

O princípio de funcionamento do circuito integrado é medir a temperatura a que está a operar utilizando as propriedades físicas dos transístores bipolares. Para tais aplicações, o sensor térmico mais simples pode ser obtido com um diodo conectado a um transístor, quer seja um BJT (transístor bipolar) ou um MOSFET (transístor de efeito de campo)

#### 2.1.2. Sensor de iluminância

##### 2.1.2.1. Fotorresistência

Este sensor baseia-se no princípio de que a luz consegue separar os eletrões, criando, assim, movimento de partículas com carga, gerando corrente. Muitos são os materiais em que este efeito ocorre, grande parte dos materiais necessitam de uma grande quantidade de energia, contudo em alguns materiais com uma pequena quantidade de luz é possível verificar este efeito, Figura 3.

A sensibilidade destes sensores varia com o comprimento de onda da luz recebida e possui uma resposta não linear, resistência em função de luz incidida [11]. Consoante o material utilizado na fabricação pode-se dividir as fotos resistências em dois tipos, intrínseco e extrínseco. Intrínseco utiliza materiais base como sílica e germânio, extrínseco utiliza materiais dopados com impurezas, dopantes.

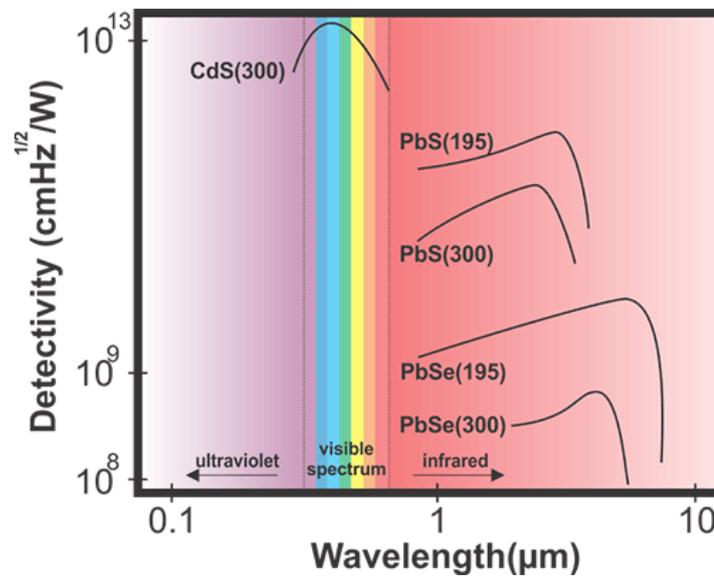


Figura 3: Fotoresistências – detecção em função do comprimento de onda [12]

### Fotodíodo

O modo de construção dos fotodíodos é idêntico à de qualquer outro diodo, com pequenas exceções, estes não são revestidos com uma cobertura opaca, e a construção é otimizada para permitir a exposição da junção PN à luz. Assim, o material é transparente o suficiente para deixar a luz incidir no diodo e ocorrer a separação dos elétrons, permitindo a passagem de corrente no sentido inverso do diodo.

A corrente em função da iluminação incidente pode ser aproximada a uma resposta linear, numa ampla escala, como se pode observar na Figura 4, e o tempo de resposta ronda os 250ns [11].

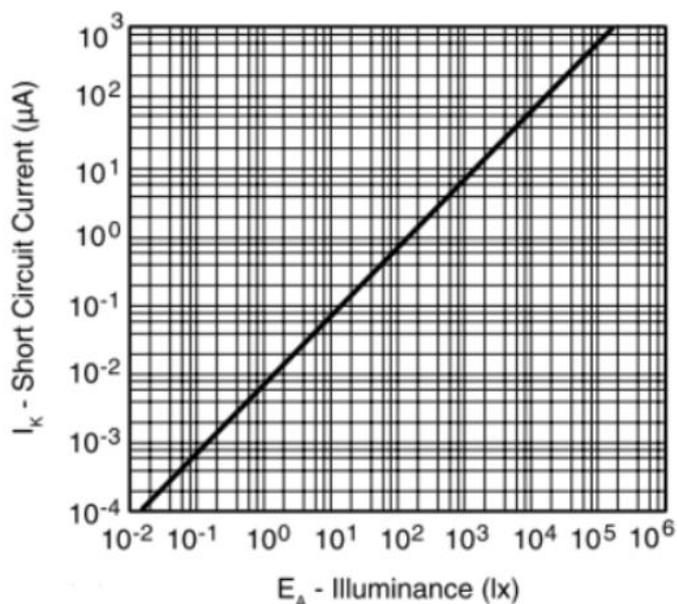


Figura 4: Fotodiodo - corrente em função da iluminação [11]

O fotodiodo também apresenta variação na sensibilidade consoante o ângulo de incidência da luz.

#### Fototransístores

São transístores que à semelhança do fotodiodo não são revestidos por uma superfície opaca, no caso dos fototransístores é a junção base emissor que pode ser afetada pela luz. Ao contrário dos fotodiodos, estes conseguem produzir correntes de saída muito superiores, tipicamente mil vezes superior, Figura 5. Em contrapartida, apresenta um tempo de resposta muito superior a variações de luminosidade, impedindo este sensor de detetar feixes de luz modulados a grandes frequências [11].

Tal como no fotodiodo a corrente em função da incidência de luz apresenta razoável linearidade como a Figura 5 apresenta:

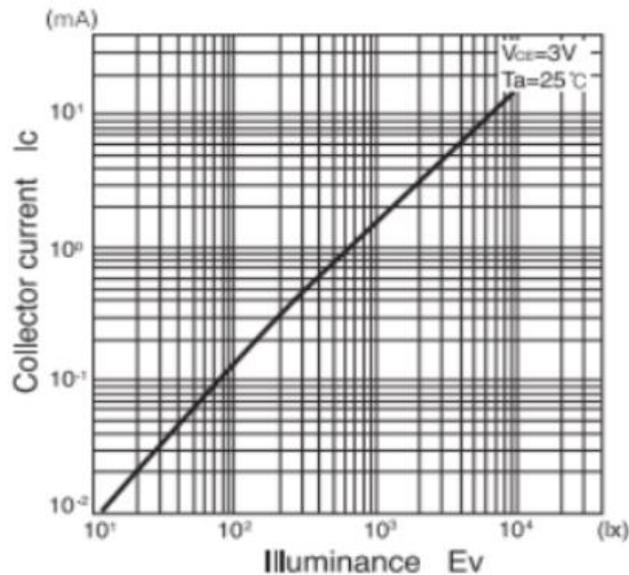


Figura 5: Fototransistor - corrente em função da iluminação [11]

Tal como no fotodíodo, o fototransistor apresenta uma variação de sensibilidade consoante o ângulo de incidência da luz.

### 2.1.3. Sensor de humidade atmosférica

Humidade é definida pela quantidade de vapor de água presente num gás, pode ser medida em termos de humidade absoluta ou humidade relativa. Quando o caso de estudo é a atmosfera faz mais sentido medir em termos de humidade relativa, uma vez que o vapor de água é um componente da ar. A humidade relativa é calculada pela razão percentual de água que existe no ar e a humidade de saturação. Para o cálculo da humidade relativa (RH) utiliza-se a seguinte expressão:

$$RH = \frac{P_w}{P_s} * 100\%$$

Equação 3: Equação da humidade relativa [13]

$P_w$  representa a pressão parcial de vapor de água do ar e  $P_s$  é a pressão de vapor nas condições de equilíbrio, também chamada pressão de vapor de saturação. Apesar de existirem vários tipos de sensores de humidade, desde sensores óticos, gravimétricos, resistivos, piezoresistivos, magnetoelásticos e capacitivos, apenas são abordados os sensores resistivos, pela sua simplicidade e os sensores capacitivos, porque têm uma presença no mercado de cerca de 75 % no mercado de todos os sensores de humidade [13].

### *Sensor de humidade resistivo*

Os sensores de humidade resistivo apresentam como fundamento de funcionamento o princípio da condução. São utilizados materiais no sensor de humidade que variam a resistência consoante a humidade presente no ar envolvente. O sensor absorve a humidade presente aumentando a condutividade. Geralmente são alimentados com uma tensão AC (corrente alternada) de modo a evitar a polarização do sensor e apresentam como resultados uma variação linear da saída inversamente proporcional à humidade presente [13].

### *Sensor de humidade capacitivo*

Dentre os vários tipos de sensores de humidade disponíveis, este tipo é o que apresenta maior presença nos mercados, uma vez que oferecem diversas vantagens como o baixo consumo energético e a durabilidade.

Tipicamente estes sensores são constituídos por dois elétrodos cobertos por uma camada dielétrica que é sensível às variações de humidade, estas variações provocam uma alteração na capacidade [14].

Um grande problema dos sensores de humidade com filmes sensíveis à humidade é a histerese, uma vez que a desumidificação dos filmes é muito lenta. Para além da histerese e resposta demorada, estes sensores apresentam mais problemas como o baixo sinal de saída e a variação com a temperatura. Contudo apresentam grande sensibilidade para um baixo custo de fabrico, sendo por isso o tipo mais comercializado [13].

#### 2.1.4. *Sensor de vazamento ou inundação*

Os sensores de vazamento ou inundação podem apresentar diversas configurações, mas o método de funcionamento é relativamente simples. Caso exista água no local onde o sensor está implementado, a condutividade entre os dois contactos vai aumentar, detetando assim um vazamento ou inundação [15].

A sua aplicação na dissertação não acrescenta funcionalidades ao sistema de controlo de objetos ubíquos, que futuramente será realizado, mas apresenta um papel fundamental na deteção de falhas do sistema da fachada. Uma vez que as placas aplicadas na fachada devem isolar o edifício do exterior, ou seja, caso seja detetada água entre a nova fachada aplicada e a fachada existente no edifício, ocorreu uma falha, quer por deterioramento de alguma placa quer pela instalação defeituosa destas.

Os sensores utilizados normalmente nestas aplicações apresentam dois métodos de funcionamento distintos, através de uma resistência que varia a sua resistividade ou através de um condensador que varia a capacidade consoante a quantidade de água que se encontra presente.

#### *Sensor de vazamento resistivo*

Dos tipos de sensores abordados, este é o que apresenta resultados menos precisos e menos exatos. Contudo estes apresentam um custo mais reduzido, apresentando uma qualidade razoável tendo em conta o preço.

O princípio de funcionamento é baseado na condutividade do material presente entre as duas pontas de prova que, consoante a quantidade de água presente, aumenta a condutividade do material fazendo a tensão entre os polos dos sensores diminuir. Tendo em conta esta diminuição é possível determinar a quantidade de água presente.

Um erro que pode ser induzido neste sensor é que a constituição do material que separa os polos. Para cada aplicação num material diferente o sensor tem de ser calibrado, pois cada um apresenta uma condutividade diferente consoante a sua constituição [16].

#### *Sensor de vazamento capacitivo*

O princípio de funcionamento tem como fundamento a estrutura elétrica da água, que apresenta uma natureza dipolar, quando um campo elétrico externo é aplicado as moléculas carregadas alinham-se com o campo elétrico onde as cargas positivas se deslocam em direção do campo e as cargas negativas na direção oposta do campo, resultando num campo elétrico oposto ao campo externo [17].

Quanto maior for a quantidade de água presente na superfície a aplicar o sensor, maior será o campo elétrico formado pela água, oposto ao campo do sensor, resultando num campo elétrico geral mais fraco e, portanto, numa tensão menor entre os polos do sensor. Através de um ADC (conversor de analógico para digital), lendo o potencial num dos polos do sensor é possível aferir a presença e a quantidade de água à semelhança do tipo de sensor abordado anteriormente.

## 2.2. Coleta de energia

De forma a prolongar o tempo sem manutenção dos módulos de sensores é preciso prolongar o tempo de vida útil da unidade de armazenamento de energia, uma vez que este é o ponto crítico para a redução da autonomia. Para estender este prazo uma das soluções é inserir a recolha de energia do ambiente (*energy harvesting*). Esta recolha pode ser feita a partir da pressão, vibração, luz ou movimento. Apesar de existirem mais hipóteses de recolha de energia do que as abordadas a seguir, algumas não se adequam ao tema da dissertação, daí a sua exclusão.

### 2.2.1. Baseada em rádio frequência

Como o nome indica a energia é convertida partindo de ondas de rádio recebidas e transformadas em corrente contínua (DC). Contudo, existem imensas variáveis na recolha deste tipo como, a distância da antena emissora, a intensidade do sinal emitido, o ganho da antena, a eficiência da conversão do sinal de rádio frequência para energia, entre outros.

Para a implementação desta solução existem duas opções, os módulos de sensores que possuem duas antenas de RF (rádio frequência), sendo uma meramente para comunicação e outra para a recolha de energia ou apenas uma antena de rádio que sirva os dois propósitos. A última opção é a mais simples, quer a nível de *hardware*, quer a nível de complexidade de *software* [18]. Contudo, quer se use uma ou duas antenas para a comunicação de rádio, a energia recolhida é bastante baixa, sendo necessário a aplicação de circuitos à saída da unidade de recolha, quer seja para o consumo direto da energia, recolha em supercondensadores, ou carregamento de baterias. Consoante o destino final da energia o circuito aplicado varia, mas em todas as situações é necessário um.

### 2.2.2. Baseada em energia solar

Apesar de ser uma fonte de energia abundante no ambiente, os investigadores têm de maximizar a eficiência da recolha de energia através da energia solar, uma vez que durante a noite não existe exposição solar. Deste modo este sistema tem a limitação de ter de satisfazer as necessidades energéticas diárias durante as horas de luz.

As células solares fotovoltaicas, de maneira simplificada, possuem uma junção elétrica semicondutora composta de silício. Quando exposta à radiação solar, separam os eletrões que transportam a energia, através de um regulador de saída, é armazenando-a em

supercondensadores ou baterias ou mesmo a combinação dos dois. Um sistema de recolha de energia baseado em energia solar pode recolher energia na ordem dos  $\mu\text{W}$  (*microwatts*) até MW (*megawatts*), consoante a área da superfície exposta e consoante a intensidade da iluminação. Para um dia de sol, sem nuvens, o nível de potência ronda os cem *watts* por metro quadrado. Para uma aplicação interior, a recolha de energia desce para valores em torno de dez *watts* por metro quadrado [18].

Consoante a aplicação é possível determinar a área de painel fotovoltaico necessária, sendo fácil conjugar diferentes módulos para atingir tal superfície. Contudo a área disponível para a aplicação pode ser reduzida, tornando este método de recolha de energia inviável, porque pode ser preciso uma área considerável.

### 2.2.3. Baseada em energia eólica

A energia gerada a partir do vento é um exemplo da eletricidade gerada mais rapidamente. Sendo uma técnica vantajosa para alimentar módulos de sensores *wireless*. Contudo a produção é imprevisível, uma vez que nem o vento tem intensidade suficiente para produzir energia e a sua intensidade é muito variável e imprevisível [19].

Esta recolha de energia é realizada através da de turbinas e rotores que convertem o movimento rotacional em energia elétrica usando o princípio indução eletromagnética. Apesar de existirem dois tipos principais de turbinas eólicas, turbinas de eixo vertical e de eixo horizontal, existem estudos para o desenvolvimento de dispositivos de estado sólido capaz de colher energia através de fenómenos de vibração [20].

Apesar das várias configurações de turbinas, a inserção de uma na fachada da habitação seria bastante intrusiva e com a impossibilidade da produção de energia torna-se inviável para o aplicação.

### 2.3. Redes de sensores

A dissertação apresenta como objetivo desenvolver um modulo de sensores com capacidade de comunicação *wireless*, como tal, torna-se inevitável fazer uma pequena abordagem acerca das topologias das redes de sensores. Este assunto é abordado detalhadamente, fornecendo o desenvolvimento histórico no seguinte documento [21].

Na Figura 6 apresenta-se algumas das possíveis topologias de redes de sensores, a topologia em estrela (*star*), em árvore (*tree*) e a malha (*mesh*), respetivamente.

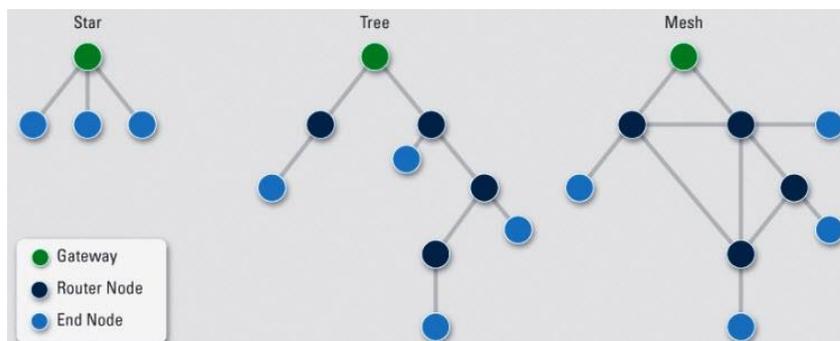


Figura 6: Topologias de redes de sensores [22]

### 2.3.1. Topologia em estrela

Nesta topologia cada um dos nós (módulo de sensores) comunica diretamente com um recetor central, sendo este responsável por todas as comunicações. Nesta topologia cada nó não tem conhecimento de outros nós uma vez que não existe a comunicação entre eles.

Esta topologia permite uma comunicação de baixa latência entre os nós e o recetor central, bem como permite um baixo consumo dos nós e um controlo de comunicação simples. Estando apenas limitado o número de nós pela capacidade de conexões do recetor central e a distância entre cada nó e o nó central.

### 2.3.2. Topologia em árvore

Também denominada de topologia de estrela em cascata, porque apresenta na mesma comunicação dos nós para um recetor. Contudo, de modo a aumentar o tamanho da rede, o recetor comunica com outros recetores posicionados acima na árvore.

A principal vantagem como supracitado é a capacidade de expansão da rede, mas apresentam também vantagens como a fácil deteção de erros. O principal problema desta rede é a estrutura complexa, se algum recetor avaria todo o seu ramo colapsa.

### 2.3.3. Topologia em malha

Ao contrário das topologias anteriores nesta topologia não existe uma hierarquia, todos os nós comunicam entre si.

A principal vantagem desta topologia é a facilidade do aumento do alcance das comunicações, uma vez que qualquer nó pode servir como intermediário à comunicação. Contudo aumenta a complexidade de gestão da comunicação com o aumento de nós na rede.

## 2.4. Protocolos wireless

Acerca dos protocolos de comunicação wireless, bem como qualquer um dos assuntos abordados acima, podia-se dedicar o estado de arte exclusivamente a este assunto, devido à extensa informação existente e aos diversos protocolos desenvolvidos. Como tal, com os objetivos da dissertação em mente, os protocolos abordados a baixo são os mais comumente utilizados para aplicação de *IoT*, o *Bluetooth* e o *ZigBee* [21]. Para além destes dois protocolos é abordado o protocolo de comunicação *Z-Wave*.

### 2.4.1. Bluetooth

O protocolo é denominado Bluetooth em homenagem ao rei da Dinamarca e Noruega Harald Blåtand (Harald Bluetooth traduzindo para inglês), porque tal como o rei uniu as diferentes tribos, o protocolo procura unir diferentes tecnologias [23].

O principal foco deste protocolo é eliminar os cabos na conexão entre dispositivos garantindo fiabilidade, baixo consumo e baixo custo. Contudo, este protocolo apresenta uma comunicação de curto alcance.

O protocolo opera na faixa ISM (*Industrial, Scientific, Medical*) centrada nos 2,4GHz, possui setenta e nove canais com 1MHz de espaçamento da onda portadora. Os dispositivos comunicam entre si formando uma rede denominada *piconet*, na qual se podem interligar até oito dispositivos, sendo um deles o mestre e os outros os escravos. A velocidade de transferência de dados pode chegar a 3Mbps [24].

### 2.4.2. ZigBee

Criado em 2006, o protocolo *ZigBee* teve origem na analogia entre o modo como as abelhas se movimentam e o funcionamento da malha em rede. O protocolo é gerenciado por um consórcio de empresas denominado *ZigBee Alliance*, atualmente com mais de trezentos membros. Com bases nas funcionalidades do IEEE 802.15.4, o objetivo do *ZigBee* é a transmissão de dados de baixos requisitos para dispositivos com necessidades de baixo consumo energético [25]. O protocolo para além do baixo consumo energético apresenta baixa complexidade e baixa latência.

Opera em dezasseis canais diferentes, na Europa, com espaçamento em banda de 5MHz, com a banda de funcionamento centrada em torno dos 2,4GHz. Pode operar em diversas topologias, desde topologia em estrela, árvore ou malha, consoante os requisitos da aplicação.

Visto que apresenta objetivos semelhantes ao Bluetooth, torna-se inevitável surgir uma comparação entre estes dois protocolos, Tabela 2.

	ZigBee	Bluetooth
Standard	802.15.4	802.15.1
Requisitos de Memória	4-32KB	250KB+
Vida de bateria	Anos	Dias
Nós por mestre	65000+	7
Taxa de dados	250Kb/s	3Mb/s
Alcance	300m	10m

Tabela 2: Comparação entre ZigBee e Bluetooth [25]

#### 2.4.3. Z-Wave

Desenvolvido pela empresa dinamarquesa Zensys, o protocolo foi introduzido num sistema de controlo de lâmpadas em 1999. Evoluiu para a frequência de banda em torno dos 900 MHz por parte do Z-Wave.

Este protocolo foi desenvolvido para transportar pequenas quantidades de data em pequenas a médias distâncias, ideal para aplicações com sensores. À semelhança do protocolo ZigBee é um protocolo de baixo consumo energético. Apresentando como diferenças:

- a interoperabilidade dos dispositivos, que no Zigbee só é garantida com pré planeamento, enquanto no Z-Wave é quase sempre garantida;
- a banda de frequência, o Z-Wave operando em torno dos 868 MHz evita a interferência do WiFi e dispositivos de Bluetooth, tornando-se ideal para a aplicação em dispositivos de smart home.
- a técnica de modulação, no Zigbee utiliza a técnica de dispersão do espectro, alargando a largura de banda, enquanto o Z-Wave usa a técnica de mudança de frequência

Atualmente a última versão do protocolo utiliza as bandas de frequências consoante a parte do mundo em que está em utilização, podendo variar desde os 865.2 até aos 926.3 MHz. Na Europa a largura de banda varia entre os 868.4 até aos 869.85 MHz [26].

### 3. Projeto e implementação

Este capítulo descreve a implementação para a dissertação. Abordando algumas características dos componentes utilizados e a abordagem adotada para o desenvolvimento da dissertação. Desenvolvimento que passou por diversas fases de implementação do hardware, *breadboard*, *protoboard* e protótipo final em PCB. Complementando com o software desenvolvido e terminando com o sistema de recolha e armazenamento de energia que alimenta todo o módulo.

Adquiriu-se o microprocessador, para estudar o seu funcionamento e testar se cumpria os requisitos que se lhe pediam. Simultaneamente foram adquiridos três sensores, o sensor de temperatura, o sensor de iluminância e o sensor de humidade relativa.

Foi adquirido o módulo Xbee Sx 868 RF, que inclui um microprocessador Silicon LABS e um transceiver Analog Devices ADF7023, que apresenta como características [33]:

- Dimensões reduzidas (3,38 \* 2,21 \* 0,32 cm)
- Alimentação requerida entre 2,4 – 3,6 V
- Consumos:
  - 40mA ativo
  - 45mA em receção/transmissão
  - 1,8µA a dormir
- Comunicação wireless:
  - numa gama de frequências entre 863.15 – 869.85 MHz
  - capaz de atingir até 2,5 km em linha de visão, em ambiente urbano
  - capaz de atingir até 100 m em habitação
- GPIO com 4 ADC

Como sensor de temperatura adquiriu-se o CMOS (semicondutor metal-óxido de simetria complementar) de precisão LMT86, apresenta as seguintes características [34]:

- Alimentação requerida entre 2,2 – 5,5 V
- Saída analógica linear inversamente proporcional à temperatura
- Corrente quiescente de 5,4µA
- Ampla faixa de temperatura entre -50 – 150°C

Como sensor de iluminância adquiriu-se o foto-transistor TEPT5700, apresenta as características abaixo [35]:

- Angulo de sensibilidade  $\pm 50^\circ$
- Sensibilidade idêntica ao olho humano (440 – 800nm), com o pico a 570nm

Como sensor de humidade relativa adquiriu-se o HS12SP, um sensor capacitivo que varia a sua impedância consoante a humidade absorvida e apresenta as seguintes características [36]:

- Funcionamento na faixa de temperatura entre 0 – 50°C
- Funcionamento na faixa de humidade relativa entre 30 – 90%

A conectividade entre as placas Xbee já vem pré-configurada para o envio de mensagens, contudo, para a aplicação pretendida é necessário alterar algumas configurações. Relativamente à comunicação é necessário configurar os módulos de sensores para comunicarem apenas para o recetor central, a comunicação entre eles não é pretendida. No recetor central este tem de reenviar a mensagem por UART, então esta configuração teve de ser ativa.

Através do programa do microprocessador, o XTCU, estas configurações são todas possíveis de alterar e guardar no Xbee pretendido, Figura 7.

A recolha de valores por parte dos ADC, necessitou da ativação dos portos como ADC e a seleção de uma frequência de amostragem. De forma a cumprir o requisitos e objetivos da dissertação, a recolha dos dados dos sensores é feita uma vez a cada 5 minutos.

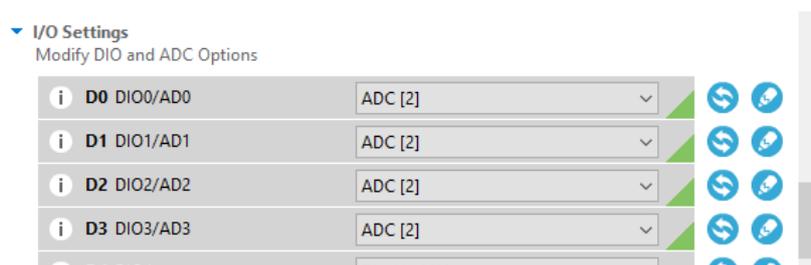


Figura 7: Configuração de parâmetros - XTCU

A comunicação dos dados recolhidos é feita automaticamente à frequência de amostragem, uma vez estabelecida a rede de Xbee.

Contudo, apesar da comunicação dos dados recolhidos ser automático, como a placa Xbee não possui capacidade de tratamento dos dados, estes resultados necessitam ser tratados de forma a retornar as grandezas físicas medidas. Para tal, a alteração das configurações do recetor central que para além de dos dados serem recebidos na placa, esta reenvia os dados através da UART (recetor-transmissor assíncrono universal) para uma unidade com capacidade de tratamento dos dados, o computador pessoal.

Como a dissertação é um passo intermédio para um projeto final, utilizou-se o computador pessoal como unidade de tratamento e armazenamento, tornando mais versátil para as versões futuras e maior facilidade de integração num sistema de casa inteligente.

### 3.1. Protótipo preliminar

Com os resultados no computador a representarem as grandezas físicas, utilizou-se uma *breadboard*, devido a nenhuma ligação realizada ser permanente, para desenvolver e calibrar os circuitos do módulo de sensores.

O sensor de iluminância varia a corrente com a intensidade de luminosidade incidente, com o conhecimento do modo de funcionamento, através de um ADC e da lei de Ohm, é possível determinar o valor de corrente a atravessar numa resistência em série com o sensor e, por sua vez, a intensidade luminosa que incide neste.

Como o módulo de sensores não necessita recolher dados continuamente. Definiu-se colocar a placa a dormir quando não utilizada, de forma a poupar energia. Relativamente ao Xbee, consegue-se estabelecer, através das configurações da placa, Figura 8, se é pretendido um funcionamento contínuo ou não, definindo o tempo em que deve permanecer ativo e o tempo de sono, realizando um ciclo de sono.

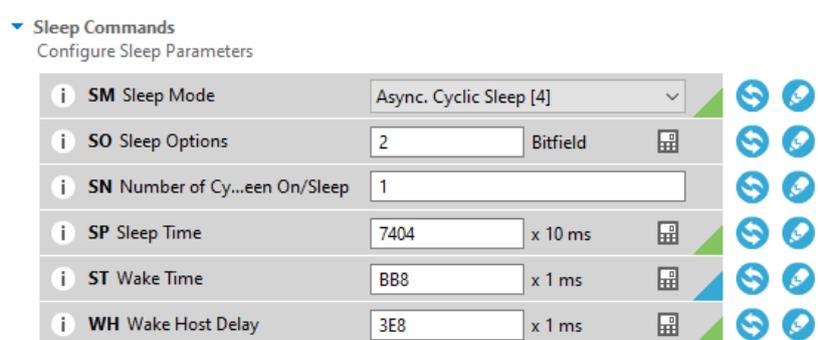


Figura 8: Configurações do ciclo de sono - XTCU

Mesmo com o Xbee desativo, o circuito de sensores continuaria a ser alimentado de igual maneira e desta forma a consumir energia. Visto que existem opções para desativá-lo, foi o que se implementou com recurso a um MOSFET. Ativando um porto no Xbee como uma saída digital, Figura 9, responsável pela ativação (valor de entrada na gate) de um MOSFET *channel P*, saída a “zero” e desativação, saída a “um”.

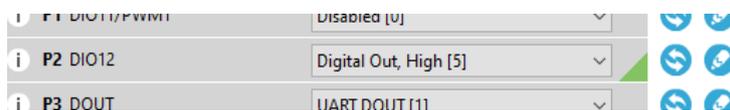


Figura 9: Configuração do pino de saída digital - XTCU

O MOSFET escolhido para integrar o protótipo foi o PMF170XP da Nexperia, devido ao seu baixo custo, à baixa corrente de vazamento (máximo de  $10\mu\text{A}$ ) e rápido tempo de ligação (aproximadamente 16 ns).

A alimentação do circuito de sensores é feita através deste MOSFET, fornecendo assim controlo sobre ela e possibilitando que seja ligada apenas quando necessária.

Visto que a alimentação do módulo é realizada através de uma bateria, as baterias não mantêm a tensão nos seus terminais constante, variando consoante o seu nível de carga. Esta variação levaria à indução de erros nas medições realizadas pelo módulo, quer através da variação da tensão do circuito de sensores quer pela variação da tensão de comparação no ADC. Como tal, para estabilizar num valor fixo recorreu-se a um regulador de tensão colocado na saída da bateria/entrada do sistema de alimentação. Este regulador mantém, independentemente do nível de carga da bateria, a alimentação a 3V.

O regulador escolhido para a aplicação foi da série XC9265 da Torex. Algumas características para a escolha foram a tensão de entrada permitida, que suporta o intervalo de tensão da bateria entre totalmente carregada (4,2 V) e pouca carga (3,4 V), a tensão e corrente disposta à saída do regulador, assim como a corrente de quiescência do regulador, que ronda os 260 nA.

O circuito dos módulos do módulo de sensores ficou com o esquemático apresentado na Figura 10, sendo a alimentação da bateria representada pelos portos (3.3V e GND)

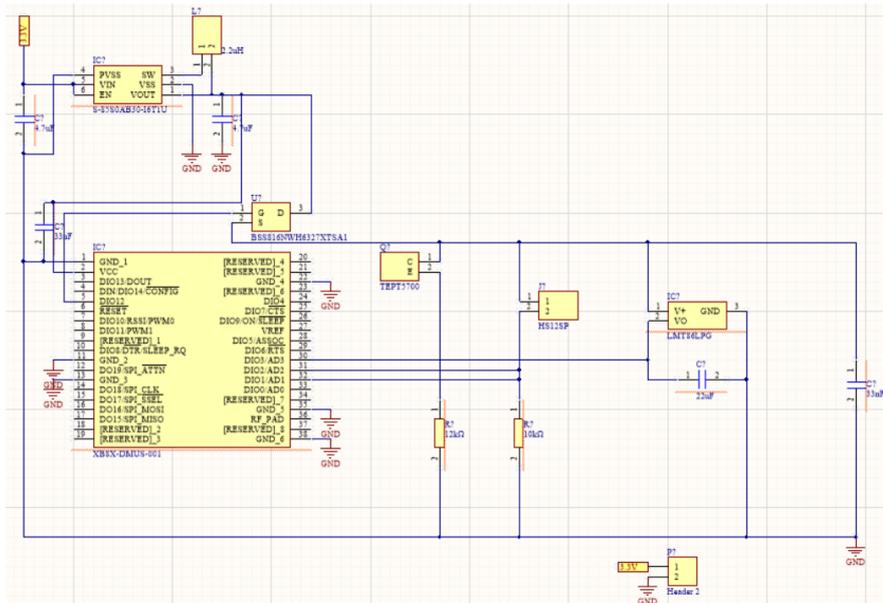


Figura 10: Circuito com a inserção do regulador de tensão

Assim, o Xbee e o Mosfet são alimentados com 3 V resultantes do regulador de tensão e o circuito de sensores é alimentado com uma tensão de 2,7 V resultantes da queda de tensão no MOSFET.

Para obter os valores dos componentes da Figura 10, com o auxílio de um termómetro e higrómetro calibraram-se os circuitos de sensores de temperatura e de humidade relativa. Não foi possível arranjar um luxímetro de modo a conseguir calibrar as medições realizadas pelo sensor de luminosidade, as calibrações foram feitas apenas com base em suposições teóricas.

Com a calibração, visto que o ADC é de dez bits, ou seja, satura a uma tensão de 2,5V, é possível medir a temperatura entre os -37 e os 150 graus Celsius, a humidade relativa é possível de medir entre, aproximadamente, 40% até aos 90% e a iluminância entre 0 e, aproximadamente, 1000 lux.

O sensor de vazamento será dimensionado na forma de um sensor resistivo capaz de detetar a presença de água. O material escolhido para a solução foi o cobre pelas suas características físicas, alta condutividade elétrica e por não reagir com água, apenas formando oxidação com o oxigénio, mas sendo uma reação lenta.

Para o formato do contato do sensor, sendo que o objetivo é inseri-lo num encaixe entre duas placas da fachada, optou-se por fitas de cobre. Estas fitas possuem grande maleabilidade,

permitem a solda a outros componentes e torna simples a escolha do tamanho pretendido para o contacto.

Para a aplicação, as fitas de cobre encontram-se com as dimensões e o espaçamento fixo, fazendo variar apenas a condutividade do material a separar as fitas através da presença ou ausência de água, variando com a quantidade presente. O material utilizado para testes foi cartão das embalagens convencionais, um material permeável e que retém a humidade quando exposto a ela. Embora existam materiais com maior durabilidade para cumprir este efeito, como o objetivo é impedir a intrusão de água, o cartão consegue cumprir o pretendido de uma forma sustentável. Devido à performance apresentada nos testes, manteve-se o cartão como o material escolhido para o protótipo do sensor. Resultando na seguinte apresentação (sem o isolamento das fitas/contatos), Figura 11, apenas é apresentada uma face do sensor, representando um terminal, sendo a outra face, o outro terminal do sensor.



*Figura 11: Sensor de vazamento*

A implementação do sensor de vazamento ficou com o seguinte esquemático, Figura 12.

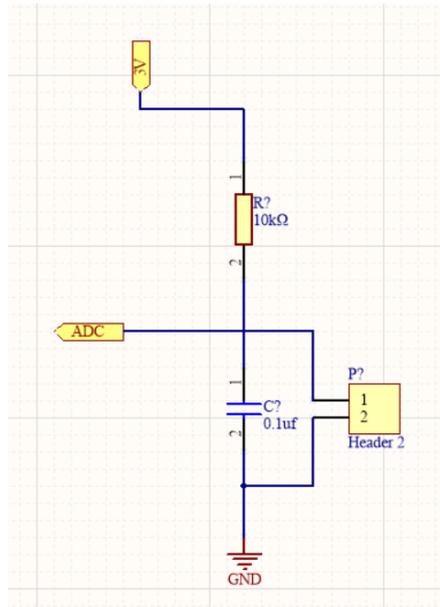


Figura 12: Circuito do sensor de vazamento resistivo

Resultando no circuito completo implementado no esquemático da Figura 13.

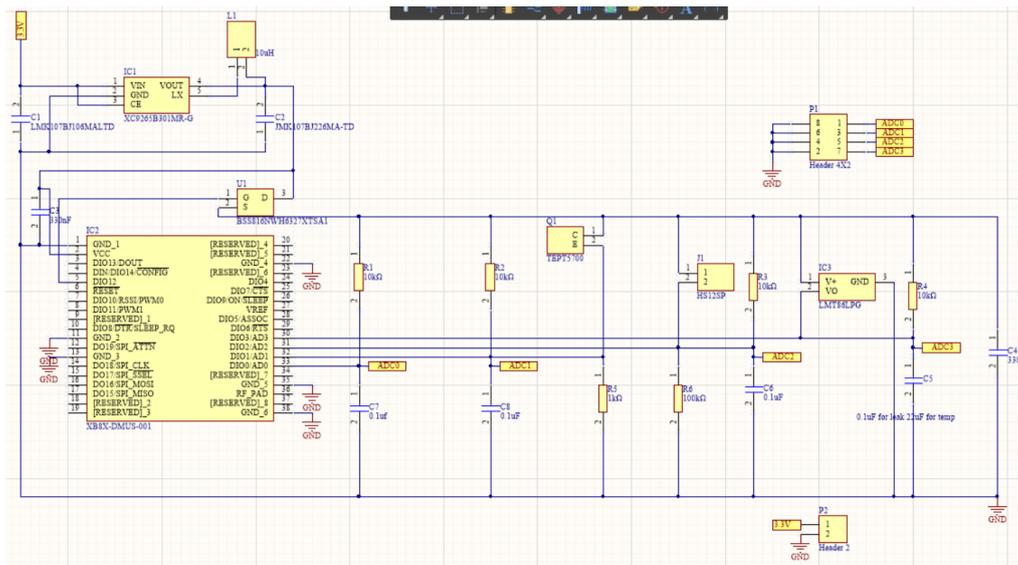


Figura 13: Esquemático do módulo de sensores

Consolidando os circuitos, o protótipo preliminar migrou-se para uma *protoboard*, apresentada na Figura 14.

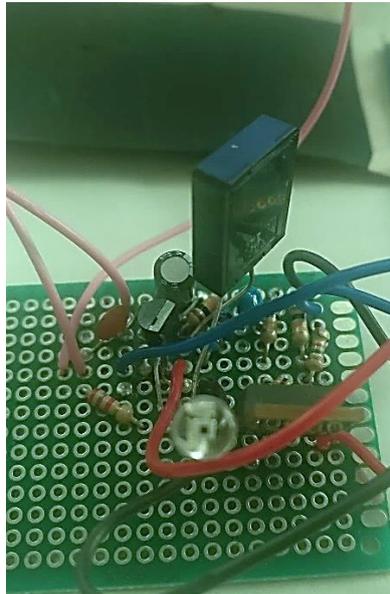


Figura 14: Estado final da protoboard

De forma a simplificar o esquemático do protótipo preliminar desenvolvido, foi decomposto nas suas diversas partes e explicada cada uma delas. Começando pela parte de alimentação, composta pelas vias de ligação ao exterior, um regulador de tensão para fixar a tensão fornecida ao circuito em torno dos 3 V, dois condensadores e uma bobine requeridos pelo regulador, um condensador acoplado à alimentação do Xbee e um MOSFET responsável por desligar o circuito de sensores quando o Xbee está a dormir, como apresentado na Figura 15.

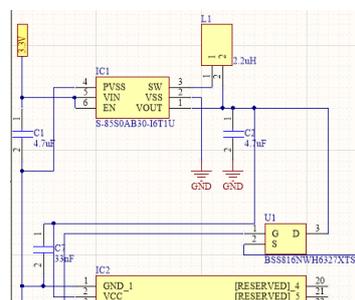


Figura 15: Circuito de alimentação do módulo

Responsável pela recolha dos valores de temperatura do meio, adquiriu-se o sensor LMT86, um sensor de temperatura CMOS de precisão, que será inserido no esquemático da Figura

16, simplificado ao máximo, apenas com a adição de um condensador para acelerar a resposta à saída do sensor ao ativar o módulo, com vista o objetivo do custo.

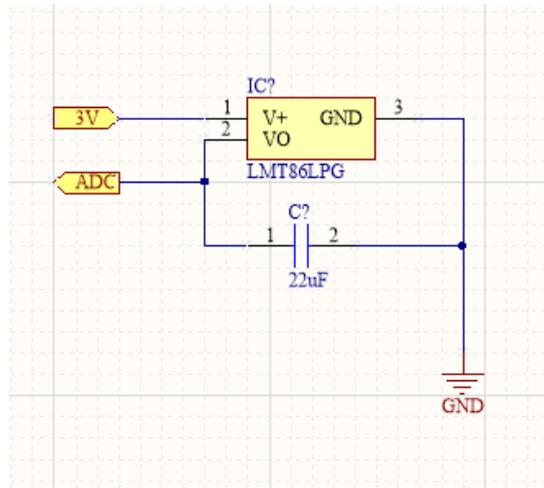


Figura 16: Circuito de aquisição dos valores de temperatura

Para a recolha dos valores de humidade relativa adquiriu-se o sensor HS12SP, um sensor capacitivo de humidade relativa, e inseriu-se no seguinte circuito, Figura 17. O circuito consiste num divisor de tensão, onde no sensor é considerada a impedância do sensor e através do *datasheet*, descobre-se a humidade relativa medida por ele. Aquando da explicação do software, o método de cálculo será explicado mais detalhadamente, tornando mais compreensível.

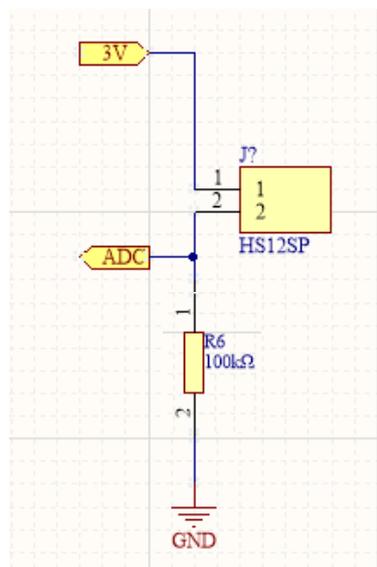


Figura 17: Circuito de aquisição dos valores de humidade

Os dados de luminosidade incidente na fachada ficaram a cargo do sensor TEPT5700, um sensor de luminosidade fototransistor NPN, inserido no circuito abaixo, representado na Figura

18. A corrente que atravessa o fototransistor é proporcional à luminosidade incidente no sensor então, com a inserção de uma resistência fixa em série resulta numa queda de tensão consoante a corrente, possível de ler através do ADC.

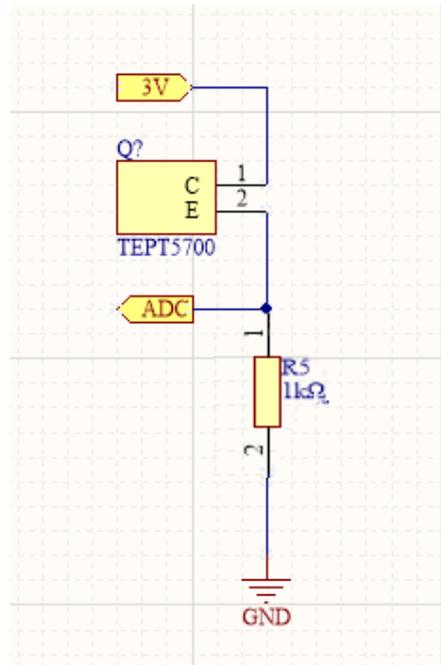


Figura 18: Circuito de aquisição dos valores de luminosidade

Responsável pela deteção de fachas na fachada, através da deteção de intrusão de água, temos o sensor de vazamento ou inundação, desenvolvido para a aplicação e inserido no esquemático abaixo demonstrado, na Figura 19. O princípio de funcionamento do circuito é um divisor de tensão. Variando a quantidade de água altera o valor resistivo do sensor o que resulta num valor diferente lido pelo ADC.

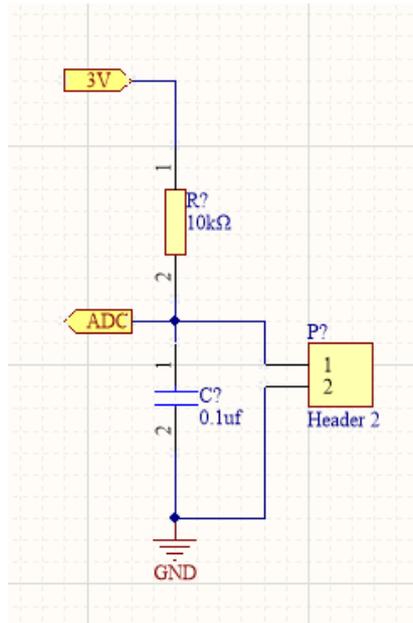


Figura 19: Circuito de detecção de falhas na fachada

### 3.2. Protótipo final em PCB

A consolidar o *hardware* necessário para o módulo de sensores funcionar corretamente foi realizado um protótipo final desenvolvido em PCB. Desta forma consegue-se um melhor acabamento para o circuito, bem como a redução do espaço ocupado por este, que é um dos requisitos da dissertação.

Implementou-se duas versões diferentes de módulos, sendo uma versão constituída exclusivamente por sensores de vazamento para detetar a falha das placas da fachada (versão mais simples e mais barata) e uma segunda que possuem os sensores para sensorizar o meio a que a fachada está exposta, sensor de temperatura, sensor de humidade relativa, sensor de luminosidade.

Esta segunda versão, mais complexa, necessita de uma menor quantidade de módulos, visto que com a colocação de apenas um módulo por fachada é suficiente para a recolha dos valores a que está exposta.

A versão mais simples, possui quatro sensores de vazamento, permitindo verificar os quatro os pontos críticos de cada placa da fachada. Estes pontos críticos são as quatro extremidades, onde é realizado o encaixe com a placa seguinte. Assim, como o ponto crítico de

uma placa é comum com as placas conectadas a este ponto, por isso necessita-se de um módulo por cada quatro placas.

A PCB desenvolvida apresenta o circuito representado no esquemático da Figura 20.

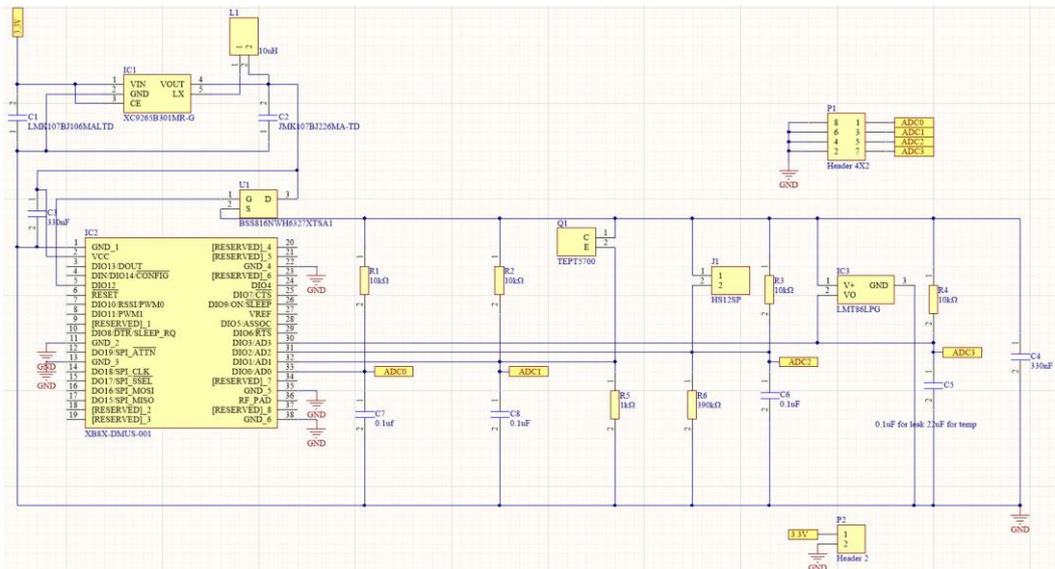


Figura 20: Esquemático do circuito do módulo de sensores

Através dos modelos 3D dos componentes, disponíveis para o programa Altium, é possível apresentar uma representação 3D da PCB desenvolvida, Figura 21, com a representação de

alguns componentes, de forma demonstrar uma aproximação do aspeto final, a disposição dos componentes, bem como uma estimativa do tamanho com a inserção dos componentes.

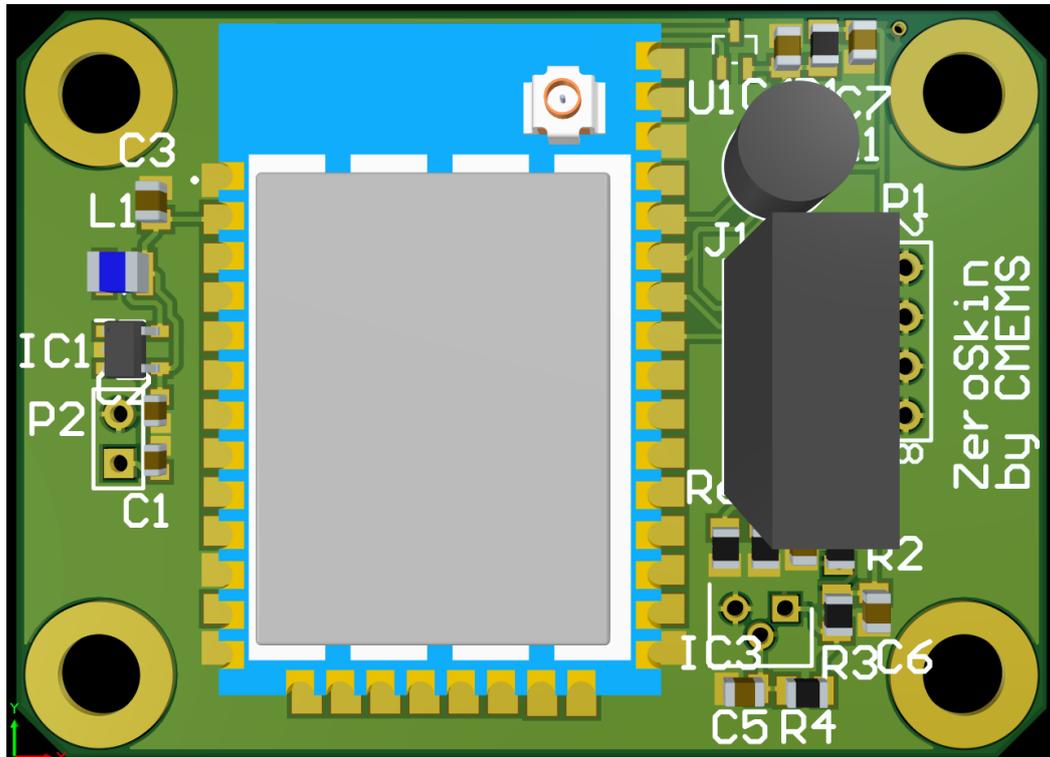


Figura 21: Visualização 3D da PCB desenvolvida

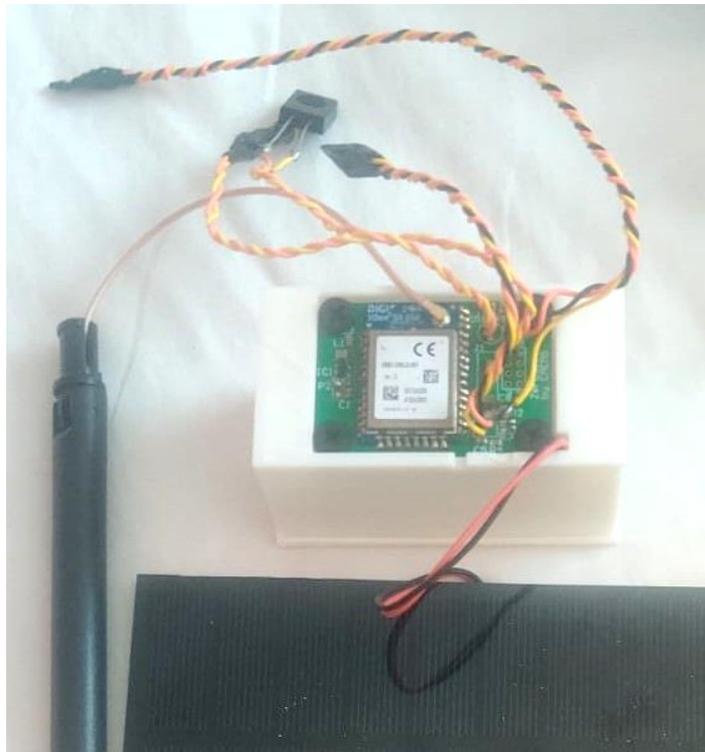
À figura acima acresce ao módulo a antena do Xbee, que, como é amovível, não se encontra representada no esquema, apenas o seu conector no canto superior direito do Xbee. Alternativamente, com o sacrifício do alcance das comunicações, o módulo pode ser implementado com um Xbee com antena integrada, quer com uma antena PCB ou com uma antena acoplada.

Na figura seguinte, Figura 22, apresenta-se o Xbee com uma antena externa, é possível comparar o tamanho das antenas utilizadas em comparação com o microprocessador Xbee. Estas possuem um cabo maleável permitindo a colocação distanciada do Xbee, contudo o tamanho delas ainda é considerável. Mas desta forma garante-se que o poder de comunicação não é o problema para a solução pretendida.

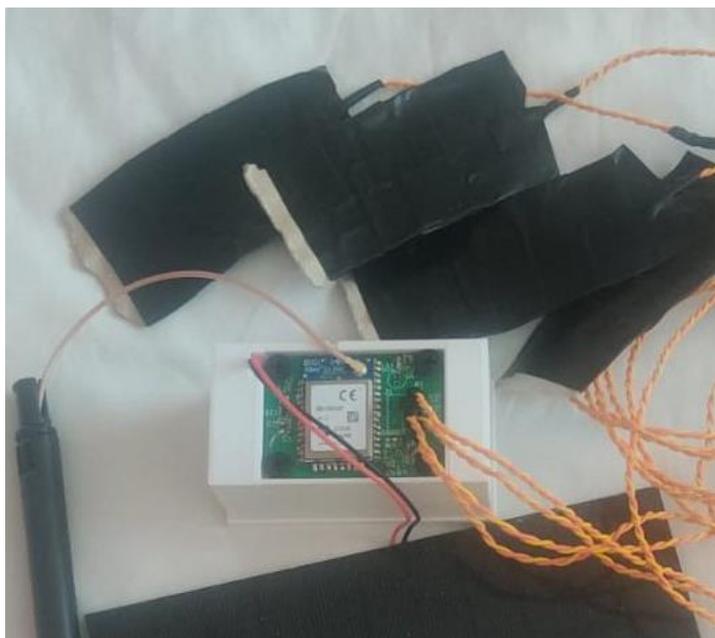


*Figura 22: Módulo Xbee e antena [37]*

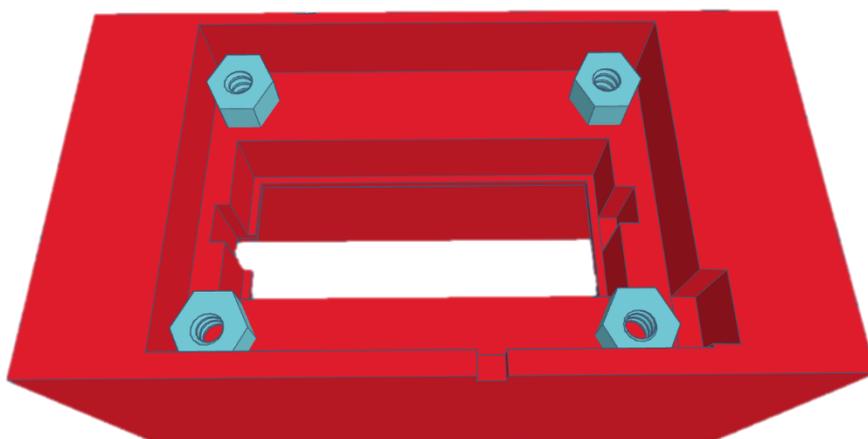
O desenvolvimento apresentado resultou nas versões finais, em PCB, apresentadas nas figuras. A Figura 23 com protótipo com capacidades de sensorização do meio e a Figura 24 com o protótipo com capacidades de detecção de falhas na fachada, com os componentes devidamente soldados e com a solução integrada no encapsulamento impresso em 3D, com o modelo demonstrado na Figura 25.



*Figura 23: Protótipo do módulo de sensores com capacidade de sensorização do meio*

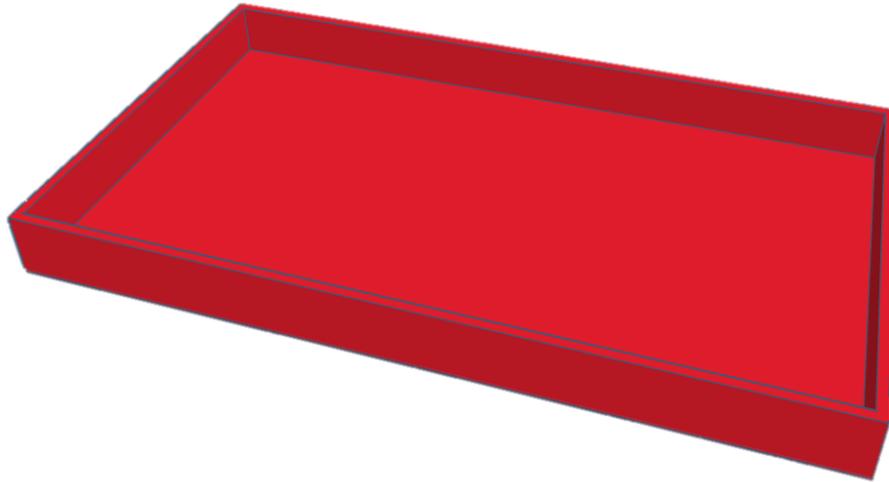


*Figura 24: Protótipo do módulo de sensores com capacidade de detecção de falhas na fachada*

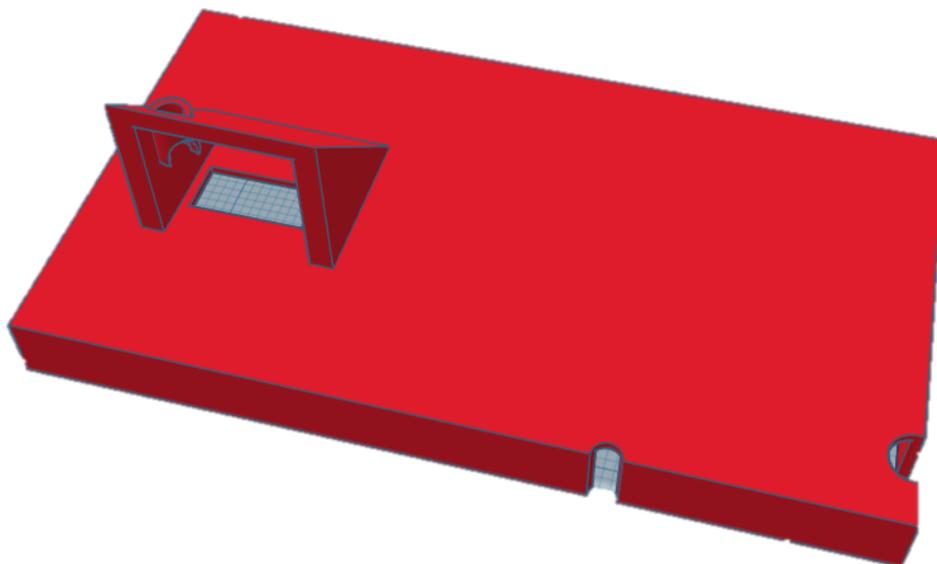


*Figura 25: Modelo 3D do encapsulamento do módulo de sensores*

A completar o encapsulamento dos módulos de sensores foram desenhadas uma tampa inferior e uma tampa superior para proteger os componentes das condições atmosféricas. Na Figura 26 apresenta-se o desenho da tampa inferior, já impressa e integrada nas soluções da Figura 23 e Figura 24. Na Figura 27 apresenta-se o desenho da tampa superior, que ainda não foi impressa porque pode sofrer alterações de modo a melhorar a integração no projeto em que a dissertação está inserida.



*Figura 26: Desenho 3D da tampa inferior do encapsulamento*



*Figura 27: Desenho 3D da tampa superior do encapsulamento*

### 3.3. Software

No recetor central, no computador pessoal, de modo a implementar todo o funcionamento do hardware desenvolvido como um conjunto, foi desenvolvido um software.

O software tem como requisitos e objetivos:

- Permitir a conectividade com o recetor central (placa Xbee), via UART;
- Enviar duas mensagens, para ativar/desativar a saída digital;
- Receber uma mensagem, com os dados lidos pelos ADC;
- Processar os dados lido pelo ADC;

- Apresentar as grandezas medidas ao utilizador;
- Armazenar os dados num ficheiro para utilização independente.

O programa escolhido para o desenvolvimento do software foi o PyCharm, para a linguagem de Python. De modo a obter como resultados, a comunicação UART entre o computador pessoal e o recetor central e processar os dados recebidos.

### 3.3.1. Estrutura das tramas de comunicação

Para tais objetivos é necessário estabelecer a comunicação UART e decompor a mensagem recebida nas suas diversas componentes para separar o conteúdo de interesse da informação necessária para a comunicação. De modo a atingir o pretendido estudaram-se os diferentes tipos de formatos de mensagens do Xbee de forma a optar por um.

O tipo de mensagem escolhido foi o API sem caracteres de escape. Este tipo possui a estrutura de um byte de delimitador inicial, um a dois bytes com o tamanho da mensagem, quatro bytes com a identificação do tipo de mensagem, seguido de n bytes com o conteúdo da mensagem e terminando com um byte da soma de verificação, como se pode ver na Figura 28: Estrutura da mensagem API [33].

Start delimiter	Length		Frame data								Checksum
			Frame type	Data							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n	n+1
0x7E	MSB	LSB	API frame type	Data							Single byte

Figura 28: Estrutura da mensagem API [33]

À decomposição supracitada acresce ainda a decomposição do conteúdo da mensagem, só assim se consegue saber o valor recolhido por cada um dos ADC. Para cada valor dos ADC dois bytes são atribuídos, sendo que estão os quatro ADC ativos, o conteúdo da mensagem será na seguinte ordem, ADC0, ADC1, ADC2, ADC3.

### 3.3.2. Funções de cálculo das grandezas físicas

A função do sensor de temperatura criada, como a tensão medida é inversamente proporcional à temperatura e este sensor apresenta uma resposta linear, acrescentou-se as características da resposta do sensor. Isto é, à tensão obtida no ADC multiplicou-se o coeficiente angular, o rácio entre a tensão e a temperatura do sensor e somou-se coeficiente linear, a tensão correspondente a uma temperatura de zero graus Celcius. Resultando na Equação 4.

$$y = mx + b$$

Equação 4: Equação reduzida da reta

Onde:

- Declive angular,  $m = -0.0109$
- Tensão no ADC,  $x = \text{temp\_int} * 2.5 / 1023$
- Declive linear,  $b = 90$

A função de iluminância, utilizando o valor de tensão lido no ADC divide-se pelo valor da resistência em série para deste modo ter a corrente que atravessa o foto-transistor. Através do *datasheet* consegue-se determinar o valor de iluminância (lumin) correspondente à corrente e assim determinar o rácio entre as duas grandezas, corrente e luminosidade ( $\text{lumin}_{\text{ratio}}$ ). Uma vez que existem variações no sensor com a variação da temperatura (temp), este ajuste também foi adicionado ( $\text{temp}_{\text{ratio}}$ ), resultando na equação final, com os seus devidos ajustes consoante os testes e os resultados esperados segundo o *datasheet*. Abaixo, Figura 29 e Figura 30, apresenta-se a resposta esperada para o sensor de luminosidade segundo o *datasheet* [38].

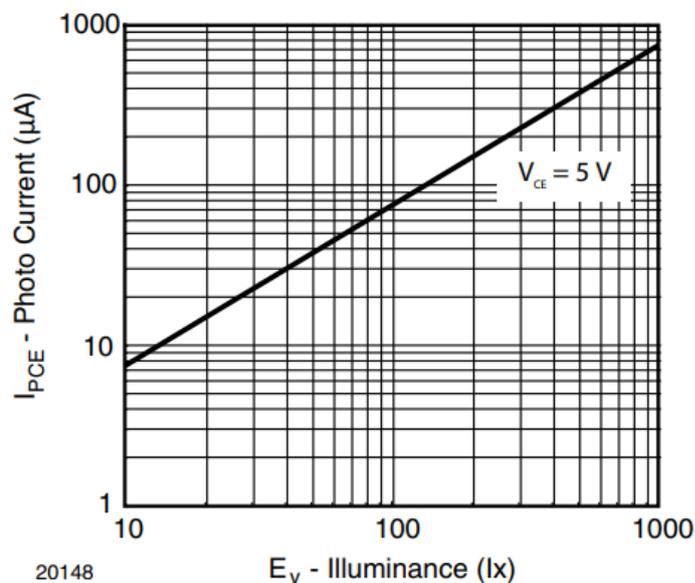


Figura 29: Resposta do sensor de luminosidade à intensidade luminosa [38]

Através do gráfico apresentado, determina-se o ratio entre a corrente em resposta à iluminância, obtendo um coeficiente de, aproximadamente, 1,25.

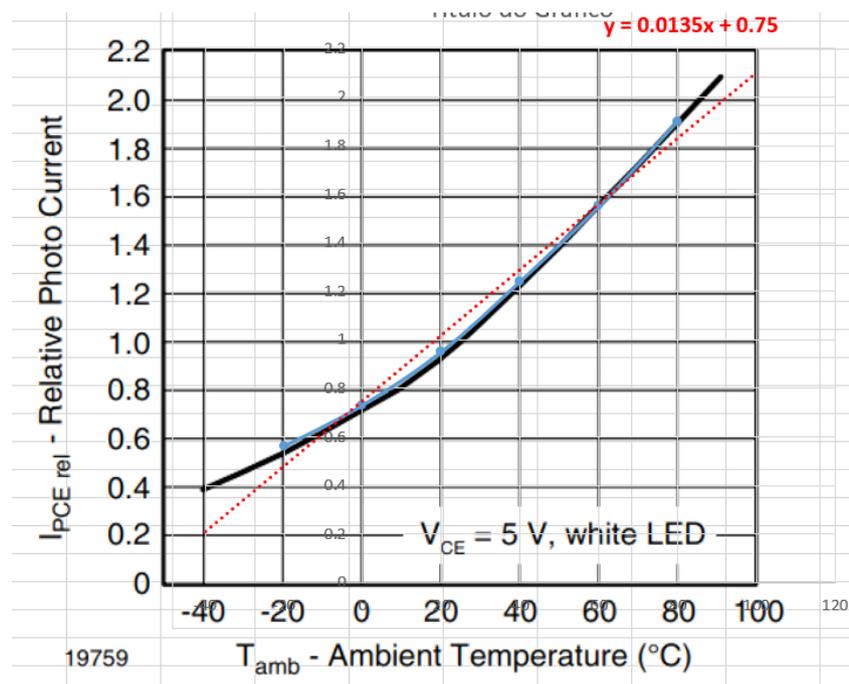


Figura 30: Aproximação da variação da resposta com a temperatura a uma reta [38]

De forma idêntica ao ratio entre a corrente de saída em relação à iluminância, consegue-se aproximar o ratio da variação da corrente em relação à temperatura. Através da aproximação do gráfico a uma reta, o declive da reta corresponde a uma aproximação do coeficiente de variação de corrente com a temperatura. Resultando o ajuste de temperatura na seguinte fórmula, Equação 5:

$$temp_{Ratio} = (0,0135 * temp + 0,75)$$

Equação 5: fórmula de ajuste da resposta do sensor de luminosidade com a temperatura

Com os ajustes calculados acima, a fórmula de cálculo da intensidade luminosa incidida no sensor de iluminância possui a seguinte fórmula, Equação 6:

$$lumin = ADC_{analog} * (lumin_{ratio} * temp * temp_{ratio} + b)$$

Equação 6: Equação de cálculo da luminosidade

A função de humidade relativa, utilizando a tensão lida no ADC, através da equação do tempo de carga de um circuito RC (circuito composto por uma resistência e um condensador) determina-se a capacidade do sensor. Com a capacidade calcula-se a reatância capacitiva do sensor e por interpolação do gráfico fornecido pelo *datasheet* [39], Figura 31, primeiro da reatância capacitiva do sensor segundo a temperatura e por fim da humidade relativa segundo a reatância,

determina-se a humidade relativa utilizando o valor de reatância do sensor e a temperatura calculada anteriormente.

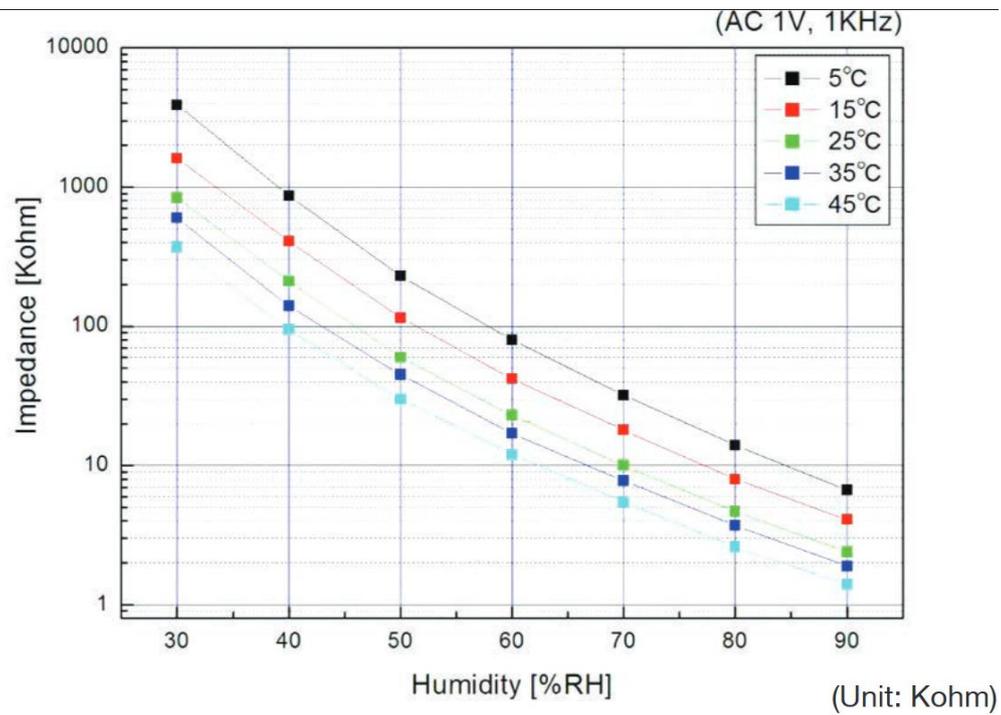


Figura 31: Resposta do sensor de humidade relativa em função da temperatura [39]

De modo a obter a humidade relativa utiliza-se as duas expressões abaixo definidas, Equação 7 e Equação 8, para fazer a interpolação do gráfico anterior, Figura 31. Onde através da Equação 7 determina-se  $R1$  e  $R2$  segundo a temperatura medida e a Equação 8 determina-se a humidade relativa partindo do valor de  $R1$  e  $R2$ .

$$R1 = \frac{r_{\min} - r_{\max}}{temp_{\max} - temp_{\min}} * (temp - temp_{\min}) + r_{\max}$$

Equação 7: Interpolação da reatância capacitiva segundo a temperatura

$$H = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{R1 - R2} * (aux_r - R2) + h_{\min}$$

Equação 8: Interpolação da humidade relativa segundo a reatância

Na Equação 7, utilizam-se as variáveis  $r_{min}$  e  $r_{max}$  que representam a reatância mínima e máxima, respectivamente para um valor de humidade relativa com a variação de temperatura,  $temp_{max}$  e  $temp_{min}$ . E a variável  $temp$  que representa a temperatura medida.

Na Equação 8, utilizam-se as variáveis  $h_{max}$  e  $h_{min}$  que correspondem à humidade máxima e mínima do intervalo,  $R1$  e  $R2$  os resultados da Equação e por último  $aux$  que corresponde à reatância calculada no sensor da medição.

A função de vazamento, realizados os testes aos sensores, adicionou-se duas condições. Sabendo o valor de tensão lido pelo ADC e sabendo, através dos ensaios experimentais, a que tensão corresponde a presença de grande quantidade de água, bem como de pequena quantidade, e ainda a tensão de ausência de água, definiu-se os intervalos para as três situações. Embora a presença de uma pequena quantidade de água já seja um alerta para uma falha, pode-se dever apenas a condensação, gerando apenas um aviso. Enquanto se a quantidade de água presente seja grande, um alerta será gerado para que a fachada seja inspecionada e seja realizada manutenção se necessário.

### 3.3.3. Algoritmo do software

Após as calibrações, quer do hardware quer das funções de calculo no software, implementou-se o ciclo de sono no módulo de sensores. Para que tal aconteça não só no microprocessador, mas também no circuito de sensores, o recetor central para além de receber os dados, tem de enviar duas mensagens para cada leitura. Antes de efetuar a leitura tem de enviar uma mensagem para que a saída digital que controla o *MOSFET* de alimentação ative com o nível zero e assim ative o circuito de sensores. Após a leitura tem de enviar nova mensagem para que a saída digital regresse ao valor um e desative o circuito de sensores, poupando energia.

As duas mensagens são semelhantes, ambas começam com o envio de três caracteres, (0x2B), responsável por submeter o microprocessador ao modo de comando. Com o modo de comando ativo envia-se o comando para alterar a configuração, neste caso ativar/desativar a saída. Ambas as mensagens possuem os mesmos campos e valores, com a diferença do valor atribuído à saída, sendo para a saída ativa, 0x05, e para desativar a saída, 0x04.

O envio das mensagens precisou de uma resolução complexa, visto que o microprocessador não realiza nenhum aviso que saiu do sono, a única mensagem que envia é já com os dados e a saída tem de ser ativada antes que tal aconteça de forma a obter os dados pretendidos. Por outro lado, se a mensagem de ativação da saída for enviada demasiado cedo nunca ativa a saída, ou seja, a mensagem não apresenta medições corretas. A solução encontrada foi guardar o tempo de quando a primeira mensagem é recebida e, retardar o programa durante um tempo próximo ao tempo de sono, para que a mensagem de ativação seja enviada aquando de o microprocessador voltar a acordar. Os dados da primeira mensagem são descartados, contudo esta mensagem é muito importante porque permite sincronizar o programa de tratamento de dados com o microprocessador garantindo que as próximas leituras serão corretas. Resultando num programa cujos fluxogramas podem ser representados na Figura 32 e Figura 33.

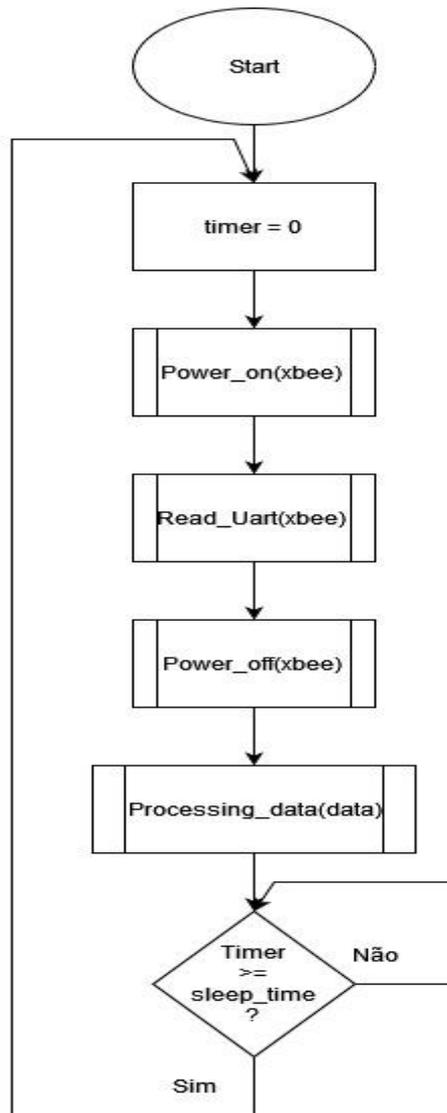


Figura 32: fluxograma do programa principal

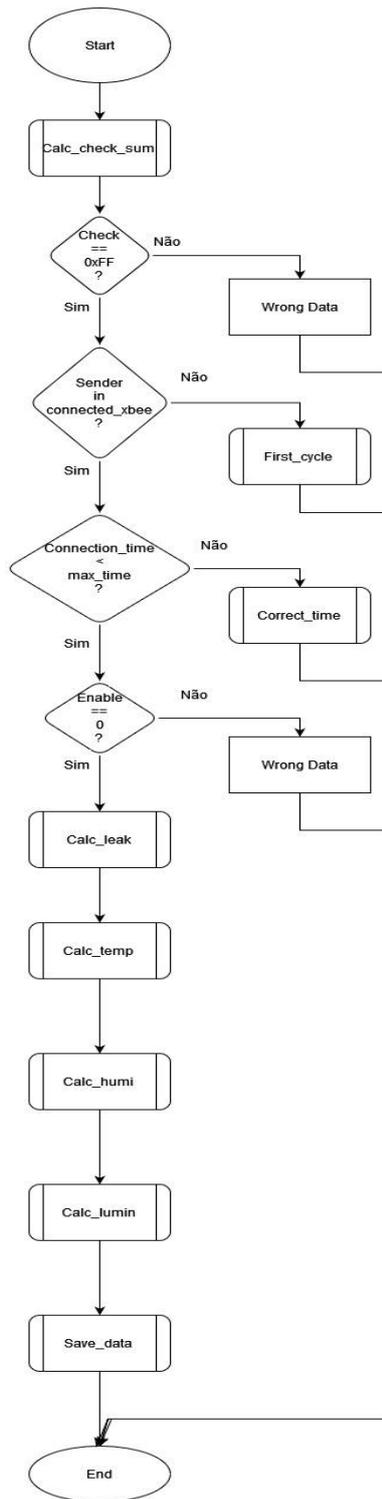


Figura 33: Fluxograma da função de processamento de dados

Através dos fluxogramas acima apresentados, pode-se observar que o programa se encontra dividido em 2 subprogramas. Um responsável pela troca de mensagens com o módulo de sensores e responsável por manter os tempos sincronizados. Após a troca de mensagens e

terminada a conexão com o módulo, o segundo subprograma, *processing\_data*, é responsável pelo processamento dos dados recebidos na mensagem, decompondo, tratando e guardando os dados no ficheiro.

Esta modularidade do programa permite manter o correto funcionamento do primeiro subprograma com os módulos, sem alterações ou com alterações mínimas, caso a aplicação pretendida seja diferente.

Como o segundo subprograma é que decifra a mensagem recebida, caso a aplicação seja diferente, apenas este tem de ser alterado para os novos dados pretendidos. Para facilitar esta alteração o subprograma foi dividido nas diversas componentes que se lhe pedem, existindo um ficheiro/uma função para cada um dos dados pretendidos, separando estes dos cálculos necessários para decompor a mensagem.

Visto que o objetivo é recolher as leituras dos diferentes módulos num único sítio, após tratados, estes dados serão armazenados num documento com referência ao módulo de onde foram recolhidos, para posteriormente serem integrados num sistema de controlo de uma casa inteligente ou apenas automatizar utensílios que o controlo dependa destas grandezas. Como por exemplo persiana, janela, ar condicionado, luz, entre outros.

Sobre o documento que reúne todos os dados foi desenvolvido ainda um outro programa. Este não automatiza os utensílios do quotidiano ainda, mas fornece uma interface simples para o utilizador conseguir consultar as condições a que a fachada está sujeita quando pretender. Pretende-se fornecer diferentes modos de consulta de forma a ir de encontro com o que o utilizador possa pretender.

#### 3.3.4. Interface com o utilizador

Foi desenvolvido um segundo programa porque deste modo o programa é independente e a interface pode ser facilmente alterada ou ter funcionalidade acrescentadas sem a necessidade de qualquer alteração no programa de recolha de dados.

O problema que pode resultar desta implementação, uma vez que se baseia na consulta e leitura de dados do ficheiro onde estão a ser guardados os dados recolhidos pelos módulos, é a concorrência pelo documento. Embora este problema seja pouco provável de acontecer, pois o tempo de abertura para escrita de dados é reduzida, é um problema que tem de ser considerado

Abaixo apresenta-se o *template* atual do interface desenvolvido, na Figura 34. Um interface básico, visto que o objetivo não é o desenvolvimento de uma interface, mas sim um sistema de controlo. Contudo, caso se torne interessante esta interface, otimizações conseguem ser implementadas para ir de encontro com o pretendido.

As opções de consulta disponibilizadas são reduzidas, porque no momento de implementação apenas dois módulos se encontravam em funcionamento, sendo por isso todas as opções de consulta abordadas com as três opções disponibilizadas.

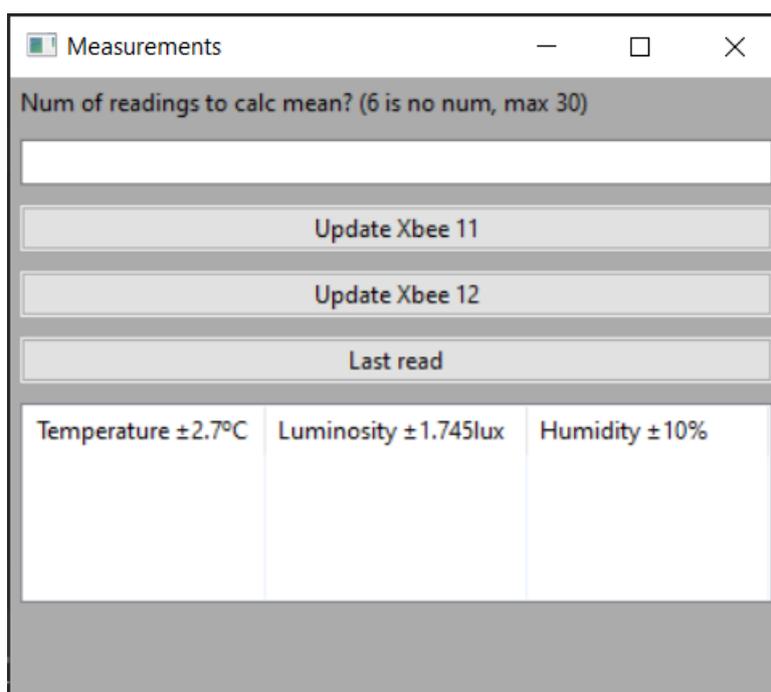


Figura 34: Interface com o utilizador

Nesta interface foram disponibilizados três métodos de consulta acerca dos dados para o utilizador. Pode consultar os dados de cada um módulo de sensores, uma vez que apenas se encontram desenvolvidos dois módulos neste momento. Sobre qualquer um dos módulos pode escolher o número de amostras que integram a média dos resultados, sendo escolhidas seis amostras por predefinição. O limite de trinta amostras a integrarem a média prende-se com as funções de implementação do método de consulta, contudo, como cada leitura é efetuada de cinco em cinco minutos, com o limite máximo de leituras estima-se a média de leituras do módulo durante duas horas e meia. A complementar estas duas opções de consulta, o utilizador por consultar a uma leitura realizada por qualquer um dos módulos.

### 3.4. Recolha e armazenamento de energia

Como requisitos a nível de alimentação foram definidos que a bateria devia possuir capacidade necessária para manter o módulo de sensores em funcionamento, sem necessidade de alimentação externa, durante quinze dias. Mas ainda, deveria ser capaz de recarregar durante um dia.

Para o dimensionamento da bateria, de modo a garantir a condição acima tem de se determinar e medir o consumo do módulo nos seus diferentes modos, quando em sono e quando ativo. Com os valores de consumo de corrente (em modo ativo e em modo desativo) e sabendo a duração de cada modo é possível calcular o consumo médio do módulo ( $I_{med}$ ) com o funcionamento pretendido, Equação 10 e Equação 11, e, por sua vez, calcular a capacidade da bateria capaz de garantir o funcionamento durante um período ( $N_{horas}$ ), Equação 912.

$$I_{med} = \frac{I_{ativo} * t_{ativo} + I_{desativo} * t_{desativo}}{t_{ativo} + t_{desativo}}$$

*Equação 7: fórmula de cálculo do consumo do módulo*

$$I_{med} = \frac{50 * 48 + 1 * 3552000}{48 + 3552000} = 0,5 \text{ mA}$$

*Equação 8: cálculo do consumo do módulo*

$$Capacidade = I_{med} * N_{horas}$$

*Equação 9: fórmula de dimensionamento da bateria*

Através das fórmulas apresentadas determinou-se que uma bateria 18650, com uma tensão de 3,7 volts nos seus terminais e uma capacidade de 2500mAh (miliampere-hora), teoricamente, cumprirá os requisitos exigidos para a solução.

À *priori*, foi definido qual seria o método de *energy harvesting* a implementar na dissertação. O método escolhido é recorrendo a células solares, pois a energia solar está disponível em abundância em qualquer lugar, embora apresente uma intensidade menor na fachada norte. Mas em comparação com as restantes opções, apresenta uma pegada mais pequena no projeto total em função dos benefícios que fornece.

Dimensionada a bateria, de modo a manter o funcionamento mesmo em condições de luminosidade baixas, durante um tempo prolongado, como requisito, o dispositivo de recolha de energia deve possuir potência para carregar totalmente a bateria em quatro horas. Torna-se necessário garantir que a célula solar possua potência suficiente para garantir que a carga é realizada dentro dos limites definidos.

Desta forma o painel solar escolhido, referência: FAL09016 (Botnroll), Figura 355, possui uma potência de dois watts, tipicamente a uma tensão nos terminais de 5,5 volts que pode atingir um máximo de 6,4 volts, capaz de fornecer uma corrente, tipicamente, de 306 mA (mili-ampere). Para carregar a bateria de 2500mAh seriam necessárias 8h, com a exposição solar máxima, o que não é realizável. Caso se verifique o painel solar não seja capaz de carregar no tempo pretendido, pode se adicionar mais um painel igual ou então substituir o painel por um com mais potência, capaz de satisfazer os requisitos.



*Figura 35: Painel solar 8x18 cm*

Para efetuar a ligação do painel com a bateria, de modo a otimizar a carga e proteger a mesma, será inserido um gestor de carga entre os dois componentes, o gestor de carga MPPT CN3791, Figura 366. Este gestor de carga limita a corrente de carga a um máximo de 2 amperes, corta a alimentação da bateria quando atingida uma tensão de 4,2 volts entre os terminais desta e retoma a recarga quando necessária automaticamente com uma função de começo suave.

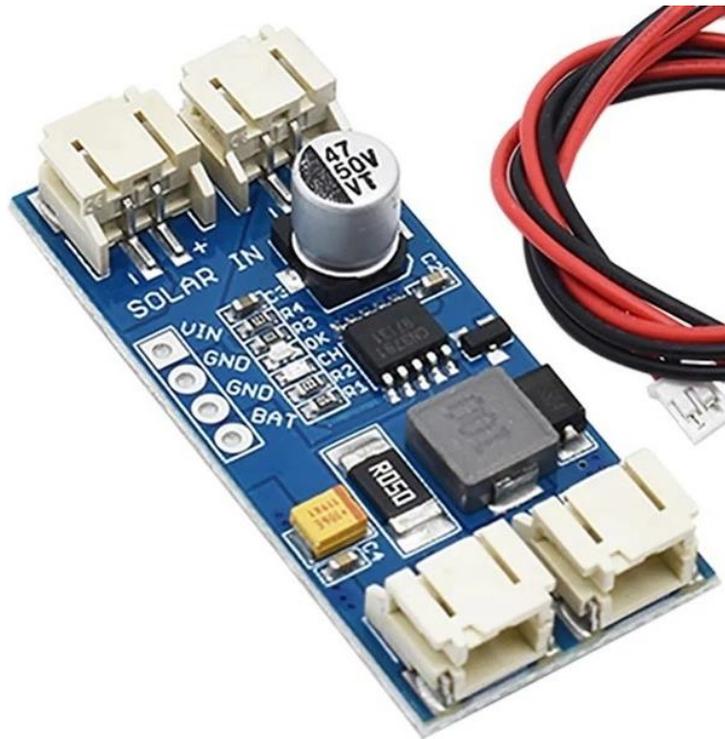


Figura 36: Gestor de carga MPPT CN3791

### 3.5. Custo da solução apresentada

Sendo um requisito e objetivo fulcral da dissertação obter uma solução rentável para o problema desenvolvido. Apresenta-se os custos de desenvolvido do protótipo, bem como os custos que o módulo requeria para fornecer uma solução em caso de aplicação.

Como serão desenvolvidas duas versões de módulos de sensores, uma apenas para a detecção de falhas na fachada e outra para sensorizar o meio, o preço destas vai ser diferente. Ambas possuem partes comuns que serão apresentadas primeiro, na Tabela 3, e por fim serão especificados os componentes para cada uma das versões, na Tabela 4 e Tabela 5.

Os preços apresentados podem variar com os aquando da leitura do documento. Os valores apresentados são os valores comerciais no tempo de aquisição dos componentes e visto que estes não foram necessários em grande quantidade, o preço tem margem para ser menor. Contudo, serve como uma referência para o desenvolvimento do sistema implementado ou para implementações semelhantes.

Com o objetivo de melhor apresentação e mais rápida consulta, os componentes, comuns às duas versões, bem como os seus respetivos valores vão ser apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela com o custo dos componentes utilizados comuns às duas versões

Componente	Descrição	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Microprocessador	Xbee sx868	1	38,00€	38,00€
MOSFET canal P	PMF170XP	1	0,35€	0,35€
Regulador de tensão	XC9265	1	1,47€	1,47€
PCB		1	5,00€	5,00€
Condensadores		4	0,50€	2,00€
Bobines		1	0,37€	0,37€
Bateria	18650	1	5,40€	5,40€
Suporte de bateria		1	1,00€	1,00€
Célula solar		1	13,50€	13,50€
Gestor de carga	MPPT CN3791	1	5,95€	5,95€

Para a versão mais complexa do módulo, a que possui capacidades de sensorizar o meio, capaz de recolher dados acerca da temperatura, humidade relativa e luminosidade incidente na fachada apresenta os componentes abaixo enumerados na Tabela 4, que a distingue da segunda versão.

Tabela 4: Tabela com o custo dos componentes utilizados na versão mais complexa

Componente	Descrição	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Sensor de humidade	HS12SP	1	6,70€	6,70€
Sensor de luminosidade	TEPT5700	1	0,78€	0,78€
Sensor de temperatura	LMT86LPG	1	1,21€	1,21€
Resistências		2	0,30€	0,60€
Condensadores		1	0,13€	0,13€

A versão mais simples, apenas com capacidades para detetar erros ou falhas na fachada possui uma menor lista de componentes específicos à versão apresentados na seguinte tabela, Tabela 5.

Tabela 5: Tabela com o custo dos componentes utilizados na versão mais simples

Componente	Descrição	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Sensor de vazamento ou inundação		4	0,30€	1,20€
Resistências		4	0,10€	0,40€
Condensadores		4	0,16€	0,64

Com os valores apresentados a solução proposta apresenta dois valores distintos, consoante o módulo pretendido, aproximadamente, apresenta um custo de 82,46 € para a versão mais complexa e um custo de 75,28 € para a versão mais simples. Excluindo possíveis pagamentos com entrega de componentes e o material utilizado na fabricação, como o estanho utilizado para soldar, entre outros. O valor parece alto visto que um dos requisitos é o custo, contudo, no caso de aplicação, este valor seria bastante reduzido com a compra dos componentes em quantidade. Para a aplicação foram adquiridos os componentes individualmente consoante necessários.

## 4. Ensaaios experimentais

O desenvolvimento do projeto só se conseguiu com base em testes aos componentes e às implementações desenvolvidas. De forma a conseguir detetar erros e falhas e, validar a implementação caso estas não existam. Os testes foram realizados extensivamente, mas dos testes efetuados serão apresentados os que parecem relevante abordar.

Os ensaios serão divididos nas duas grandes fases de testes. Primeiramente serão abordados os testes efetuados em ambiente controlado aos componentes para procurar obter os resultados pretendidos. Numa segunda fase serão abordados os testes em ambiente real, de forma a validar os testes anteriores e realizar teste de stress quer aos componentes como à implementação do protótipo para a solução final, verificando se não existem falhas que possam comprometer o correto funcionamento quando exposto a condições adversas.

### 4.1. Testes em ambiente controlado

Em ambiente controlado, realizaram-se teste aos diversos componentes que integrar a implementação. Para os microprocessadores, testou-se a comunicação sem fios estabelecida entre eles, Figura 3737.

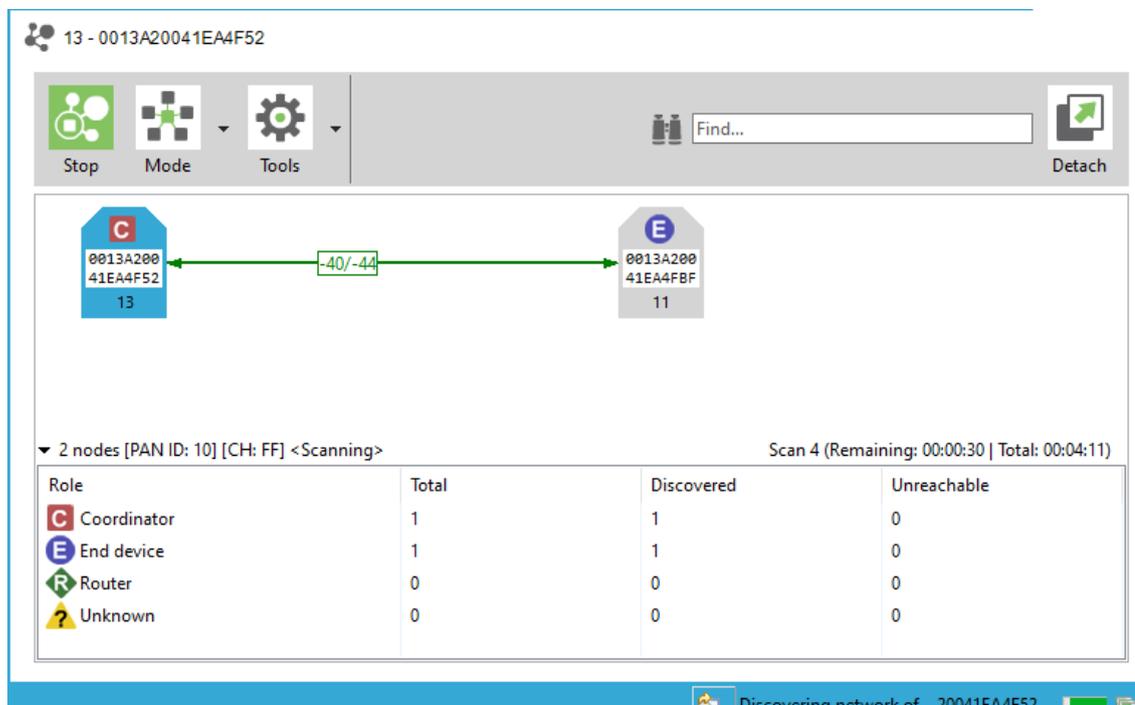


Figura 37: Teste de conexão no programa XTCU

Verificou-se o correto funcionamento da comunicação antes dos módulos, quer na ligação acima demonstrada, quer nas montagens com os três módulos Xbee adquiridos, um como recetor central e dois como dispositivos finais, numa ligação de ponto-multiponto ou estrela.

A comunicação UART foi testada, as mensagens a transmitir os valores recolhidos pelos sensores apresentam sempre a mesma dimensão independentemente dos valores lidos, bastando verificar o tamanho das tramas enviadas e o valor da *checksum* das mensagens.

Como o seu valor é determinante para a calibração dos restantes sensores, testou-se o sensor de temperatura. Foi implementado um circuito apenas com este sensor e, recolhendo os dados segundo um ADC, foram comparados com o termómetro auxiliar, Figura 3838, de modo a verificar o possível erro. Foram recolhidos diversos valores em tempos distintos para presenciar o sensor com diversas condições meteorológicas.



Figura 38: Termómetro auxiliar

Testou-se o sensor de humidade relativa, este sensor apresenta um ajuste consoante a temperatura a que está sujeito, sendo necessária a validação do teste anterior. O termómetro exterior, utilizado no teste anterior, também possui a funcionalidade de determinar a humidade relativa atmosférica, higrómetro. Como tal, de igual forma ao sensor de temperatura, foram recolhidos diversos dados em tempos distintos para expor o sensor a condições atmosféricas diferentes e comparados os valores com os lidos pelo termómetro/higrómetro.

Para o sensor de luminosidade o teste realizado foi baseado apenas em conhecimento teórico, disponível em artigos e em documentos acerca dos níveis de luminosidade para diversos locais, em diferentes condições meteorológicas. Não foi possível utilizar nenhum luxímetro para comparar os valores recolhidos pelo sensor, sendo necessário realizar mais testes a este sensor no futuro quando exista possibilidade de utilizar tal equipamento.

Para o sensor de vazamento o teste consistiu em sujeitar o sensor a várias quantidades de água de modo a verificar a sua resposta. Foi exposto desde apenas humidade, até uma quantidade de água que submergia parte do sensor. A variação da quantidade de água foi de modo a determinar os *thresholds* do que seria o funcionamento normal, a intrusão de humidade ou a penetração de água na fachada. Verificou-se que no estado “seco” o sensor apresenta um valor no ADC em torno dos 2,5 volts, descendo abaixo dos 1,8 volts quando totalmente molhado. Segundo estes valores definiram-se dois *thresholds* diferentes, um que limita o estado seco para a presença de humidade, 2,2 V, e um segundo que limita a presença de humidade para existir presença de água no sensor, 2 V.

Testados os sensores foi necessário testar o modo de sono cíclico a implementar nos módulos, de modo a preservar energia. O ideal é o módulo possuir o menor tempo ativo possível, contudo tem de estar ativo o tempo suficiente para receber uma comunicação para ativar uma saída digital, recolher os dados dos ADC, comunicar os dados recolhidos ao recetor central e receber uma mensagem para desativar a saída digital antes de entrar novamente no estado de sono. Para implementar este teste o tempo ativo foi sendo reduzido até ao nível de existir um compromisso entre não estar muito tempo ativo e não existirem falhas nas comunicações em longos períodos de funcionamento. Resultando que o tempo ativo de três segundos, é o melhor compromisso para cumprir o funcionamento desejado.

Aquando do teste anterior teve de ser realizado um outro teste, na extremidade oposta da comunicação com os módulos, no recetor central tem de ser estabelecidos os intervalos entre as comunicações. Uma comunicação precoce conduz a que a mensagem seja perdida, não realizando o efeito pretendido e uma comunicação tardia perde o intervalo em que o módulo está ativo, não efetuando as comunicações devidas. A aumentar o nível de complexidade destes dois testes referidos, não existe qualquer mensagem de comunicação do módulo a revelar o seu estado de funcionamento. Tendo sido implementado um sincronismo relativo à primeira comunicação efetuada. Metendo o programa em pausa durante, aproximadamente, trezentos segundos após a receção e processamento de cada mensagem, este encontra-se sincronizado com o ciclo ativo do módulo, permitindo as três comunicações a ser efetuadas em cada ciclo.

Uma vez que os módulos possuem alimentação própria e tem de ser autossuficientes, torna-se fundamental realizar os testes de consumo do módulo, capacidade de armazenamento da bateria e potência de carga da célula solar.

Com recurso a um osciloscópio e a ligação de uma resistência de  $10\ \Omega$  em série com a entrada da alimentação, é possível representar a queda de tensão na resistência num gráfico. A Figura 3939 representa a corrente num período de 12 s (o fator de conversão para corrente é de  $0,1\ \text{V/A}$ ). A Figura 4040 apresenta o gráfico da corrente de alimentação na ativação do módulo de sensores, durante 1.2ms. Na Figura 4141 o gráfico da corrente durante o período em sono, com uma amostra de 24ms.

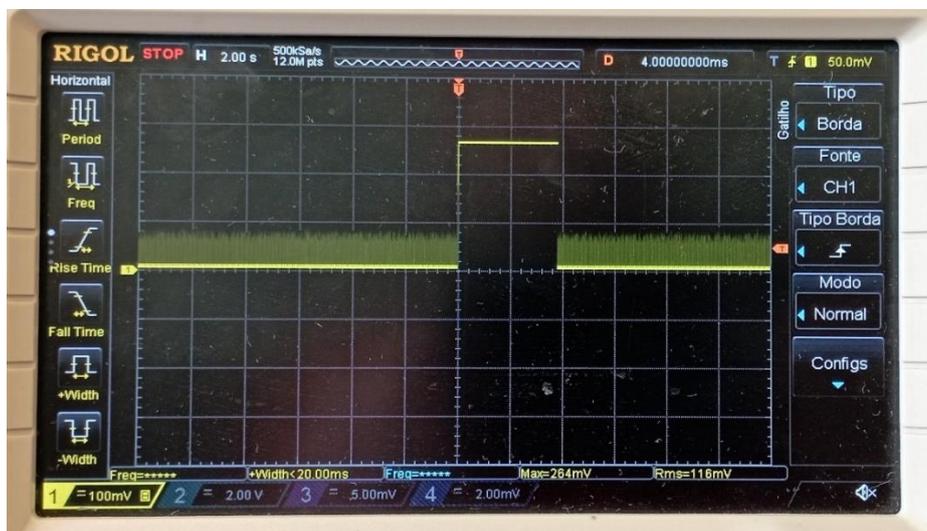


Figura 39: Gráfico da variação da corrente consumida, utilizando uma resistência de  $10\ \Omega$  em série, sendo o fator de conversão de  $0,1\ \text{A/V}$



Figura 40: Gráfico da tensão de alimentação na ativação do módulo de sensores

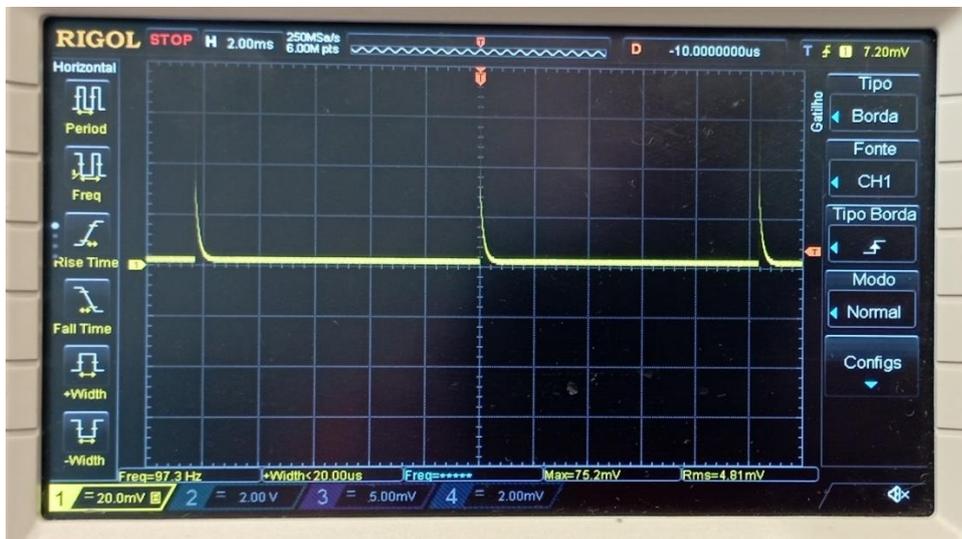


Figura 41: Gráfico da tensão de alimentação do módulo de sensores em sono

A partir dos gráficos, conhecido o valor da resistência, através da lei de ohm, consegue-se determinar a corrente consumida pelo módulo. Quando ativo, o módulo de sensores consome uma corrente de 27mA e quando em sono consome uma corrente de 90µA, sendo que, aproximadamente, 63µA são consumidos pelo gestor de carga. Estes valores foram medidos com um amperímetro

A bateria de 2500mAh dimensionada para manter o módulo de sensores em funcionamento durante 9 dias com uma única carga, com os consumos do módulo de sensores, através das Equação 103, Equação 114, Equação 1215 e Equação 136 determina-se que a bateria apenas consegue alimentar durante 9 dias.

$$I_{med} = I_{ativo} * \%_{ativo} + I_{sono} + \%_{sono}$$

$$0,021 * 0,01 + 0,00009 * 0,99 = 0,000359 A$$

*Equação 10: Cálculo do consumo médio do módulo de sensores para 5 minutos*

$$0,359 * 12 = 4,309 mA$$

*Equação 11: Consumo durante 1 hora*

$$\frac{2500}{4,309} = 580,18 \text{ horas}$$

*Equação 12: Cálculo do tempo de alimentação com uma carga*

$$\frac{580,18}{60} = 9,66 \text{ dias}$$

*Equação 13: Aproximação para dias*

Após a descarga da bateria, desconetou-se a bateria do módulo e ligou-se apenas à célula solar, através do gestor de carga, de modo a determinar o tempo necessário para efetuar uma carga completa. Como este tempo varia consoante a quantidade luminosa incidente na célula, o teste foi repetido em condições diversas e a diferentes horas do dia de modo a obter uma amostra de diferentes tempos de carga e estimar uma média do tempo de carga. Obteve-se um tempo médio de 24 horas necessárias para efetuar a carga completa.

De modo a garantir o correto funcionamento do módulo completo. Conectou-se a bateria, alimentada pela célula solar, ao módulo de modo a verificar se permitia o funcionamento contínuo pretendido. Obteve-se como resultado o funcionamento contínuo do módulo, embora as condições adversas durante o teste tenham sido durante curta duração.

No recetor central, torna-se necessário testar o correto funcionamento do software, principalmente o sincronismo do programa em Pycharm com os módulos de sensores. Para tal, entre leituras o módulo foi reiniciado de modo a verificar se o programa desenvolvido é capaz de ajustar os tempos de sincronismo, abaixo apresenta-se os resultados do teste no programa Pycharm, Figura 4242.

```
618
2023-04-13 17:24:16.409391
Data send from XBee 12 :
{
Not leaking 1023
temperature: 23.25 °C ±2.7°C
luminosity: 594.7 lux ±1.745lux
relative humidity: 47.7 % ±5%
}

619
Connection delayed with XBee 12
620
2023-04-13 17:35:36.951481
Data send from XBee 12 :
{
Not leaking 1023
temperature: 22.8 °C ±2.7°C
luminosity: 950.0 or more lux ±1.745lux
relative humidity: 49.1 % ±5%
}
```

Figura 42: Teste de sincronismo em Pycharm

Na figura acima pode se verificar que o software detetou que a conexão estava incorreta no ciclo 619 e, descartando os dados da leitura, utilizando apenas o tempo da mensagem, ajustou corretamente o tempo para obter uma leitura correta no ciclo 620.

4.2. Testes em ambiente real

Para testar o correto funcionamento do módulo de sensores, estes foram sujeitos a testes em condições reais de modo a validar se os objetivos foram cumpridos.

O módulo mais simples, apenas composto pela detecção de falhas na fachada, teve os quatros sensores que possui sujeitos a diferentes quantidades de água, Figura 4343. Desta forma é possível verificar se deteta os três estados definidos, ausência de água, alguma condensação e presença de água, Figura 44, Figura 455 e Figura 466, respetivamente.



Figura 43: Teste ao sensor de vazamento

```
8
2023-04-27 11:05:30.017787
Data send from XBee 11 :
{
Not leaking 1023
Not leaking 1023
Not leaking 1023
Not leaking 1023
}
```

Figura 44: Resultado Pycharm, sem presença de água

```
30
2023-04-27 12:00:38.154615
Data send from XBee 11 :
{
Not leaking 1023
Not leaking 1023
Attention! Some condensation 857
Not leaking 1023
}
```

Figura 45: Resultados Pycharm, com presença de água (em absorção pelo sensor)

```
34
2023-04-27 12:10:39.625724
Data send from XBee 11 :
{
Not leaking 1023
Not leaking 1023
WARNING!! Water presence 762
Not leaking 1023
}
```

Figura 46: Resultados em Pycharm, com presença de água

O *threshold* definido para a presença de água é bastante reduzido, visto que o objetivo do projeto é o total isolamento do exterior, como tal não deve permitir a intrusão de água. Como a dissertação se encontra em desenvolvimento aquando do desenvolvimento do projeto, não foi possível colocar nos pontos críticos da fachada.

O módulo de sensores mais complexo, com sensor de temperatura, sensor de humidade relativa e sensor de luminosidade, foi exposto às condições atmosféricas durante um longo período com a sua colocação numa varanda orientada para este. Compactaram-se os dados medidos das grandezas físicas nos gráficos abaixo, Figura 4747, Figura 4848 e Figura 4949.

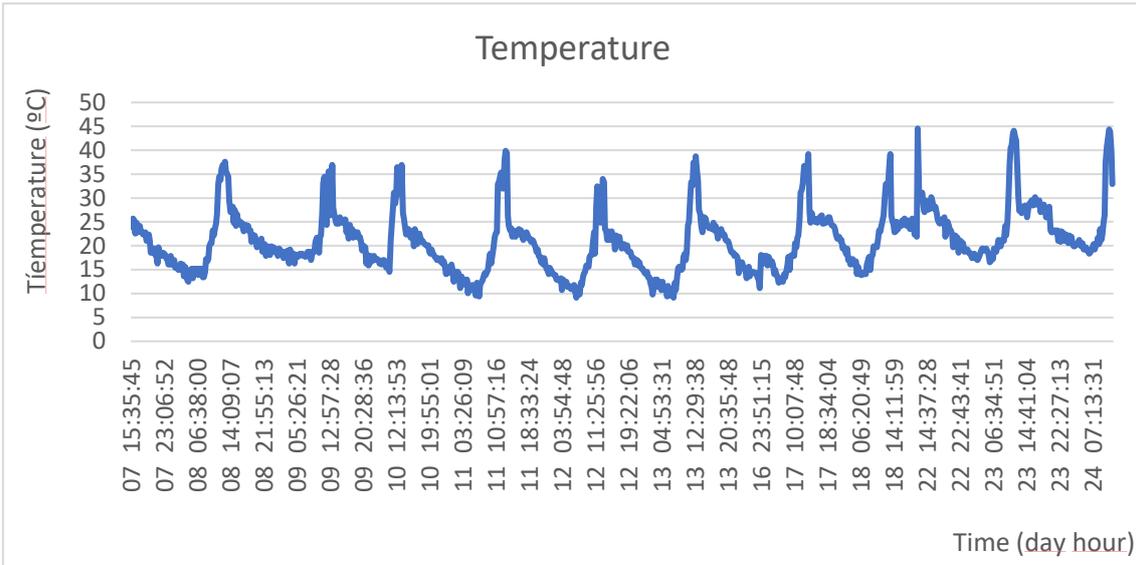


Figura 47: Gráfico dos valores de temperatura

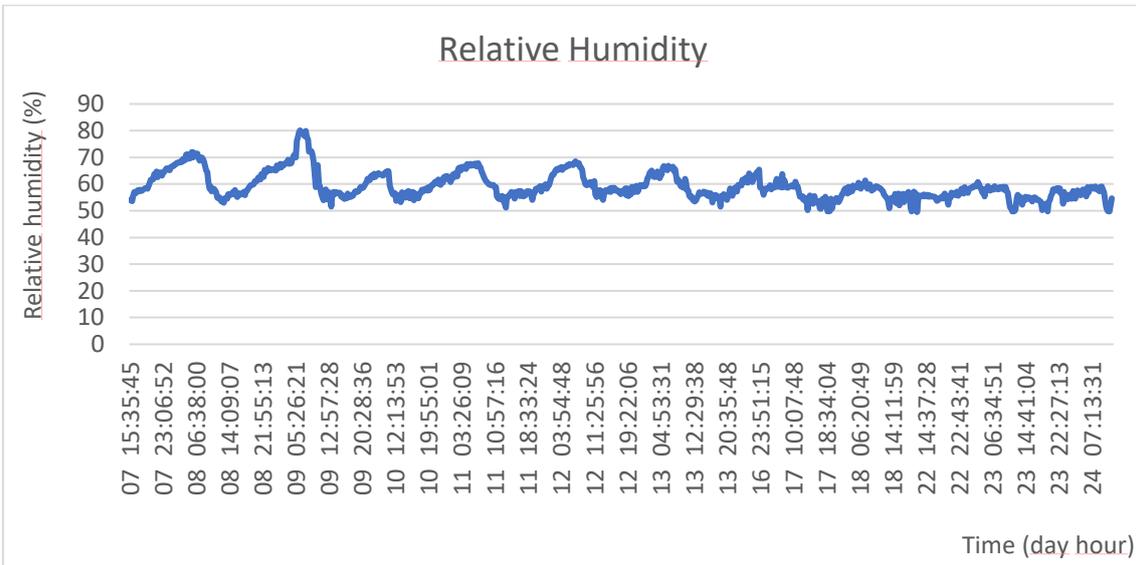


Figura 48: Gráfico dos valores de humidade relativa

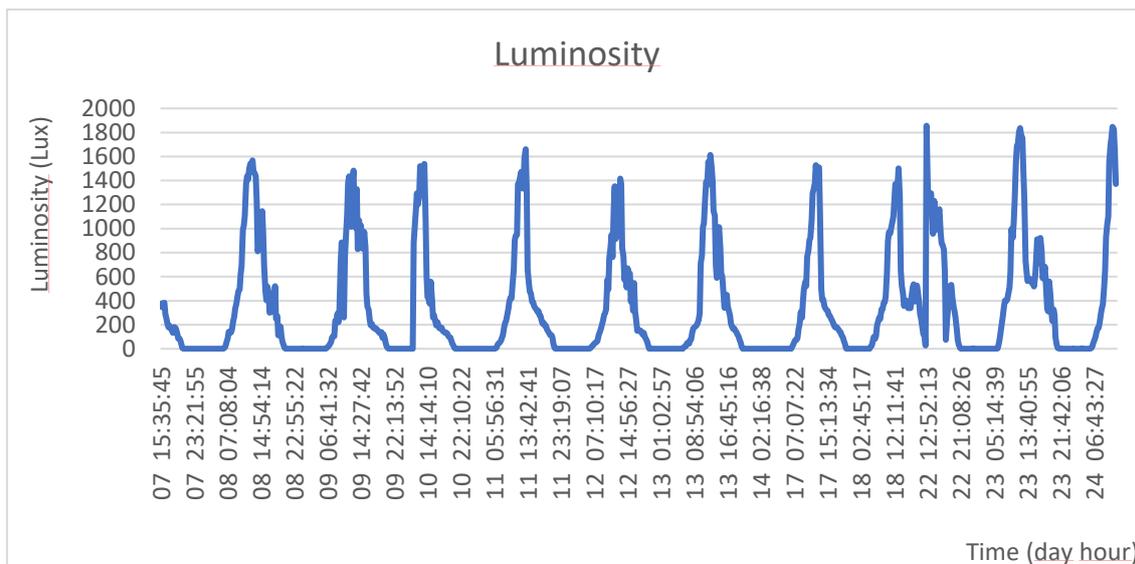


Figura 49: Gráfico dos valores de luminosidade

Nos gráficos são apresentados vários dias consecutivos com condições meteorológicas diferentes. Desta forma, é possível confirmar a variação nas leituras efetuadas pelo sensor e demonstrar o intervalo de leitura dos sensores. Embora não tenham sido atingidos o máximo e o mínimo no sensor de temperatura, atingiu-se o ponto de saturação negativo no sensor de humidade relativa, nos pontos com humidade relativa abaixo dos 50 % e atingiu-se o ponto de saturação máximo e mínimo no sensor de luminosidade, máxima nos picos de luminosidade diária e mínima com a ausência de luz durante a noite. Assim consegue-se ver que o intervalo de medição é amplo o suficiente para a aplicação, embora existam valores que não se consegue medir com precisão.

A conectividade dos módulos é um ponto chave do correto funcionamento da dissertação, então colocaram-se os módulos em distâncias diferentes, bem como em casas diferentes (variando a espessura das paredes) e os obstáculos entre os módulos de modo a provocar a falha. Contudo, como a comunicação é desenhada para realizar a comunicação da fachada para um ponto central no interior da casa, o alcance da rede é suficiente para realizar todas as comunicações (salvo exceções extremas).

## 5. Conclusão e trabalho futuro

O capítulo encerra esta dissertação apresentando as aprendizagens adquiridas com o trabalho, bem como as dificuldades que foram encontradas ao longo do percurso e o resultado encontrado, se cumpriu os requisitos e objetivos definidos inicialmente. Se se trata de uma solução viável a ser seguida e termina abordando o trabalho futuro que se encontra planeado.

### 5.1. Conclusão

Para esta dissertação foi definido o desenvolvimento de um módulo de sensores de baixo custo capaz de ser integrado na nova fachada a instalar e possua capacidades de deteção de falhas ou degradação da fachada bem como capacidade de sensorizar o meio em que a fachada está inserida.

Através dos testes realizados ao protótipo validou-se o desenvolvimento de uma solução para o problema apresentado. Embora os resultados esperados quer para a duração da bateria com uma única carga quer para o tempo de carga com o painel solar tenham ficado ligeiramente aquém do esperado, o módulo autónomo energeticamente para manter o funcionamento pretendido continuamente, não requerendo manutenção ao nível de cargas ou troca de baterias. Transmite os dados recolhidos pelos sensores de forma sem fios para um recetor central, onde são processados, apresentados ao utilizador e armazenados, para futura integração num sistema de controlo de utensílios do quotidiano. Ainda não foi possível a sua integração com o protótipo da fachada, mas após o isolamento do módulo de sensores, quer por resina epóxi ou outro método, espera-se, com confiança, que não tenha problemas de funcionamento.

O módulo possui capacidades de medir temperatura entre os -50 e os 150 graus celsius, humidade relativa entre, aproximadamente, os 48 e os 90%, luminosidade entre os 0 e, aproximadamente, os 1000 lux e deteção de presença de água. Medições estas realizadas a cada 5 minutos de modo a manter o monitoramento da fachada, durando 3s a recolha e envio de dados dos sensores, com um consumo de 27mA, e durante 297s o módulo encontra-se no modo de sono, com um consumo de 90µA.

Como alimentação, a suportar o consumo supracitado, a bateria de 2500mAh consegue manter o módulo em funcionamento durante 9 dias sem uma única carga. E a suplementar a matéria o painel solar consegue carregar a bateria desde a descarga total em 24 horas. Permitindo

assim o funcionamento do módulo sem ser necessária troca de bateria ou recargas, reduzindo ao mínimo a manutenção.

Resultando num módulo de sensores com um custo 82,46€ capaz de monitorizar o ambiente que rodeia a fachada e um módulo de sensores de 75,28€ capaz de monitorizar o estado da fachada. A este custo acresce o módulo central responsável pela comunicação com o computador.

Conclui-se que o problema proposto se tornou mais interessante do que esperado inicialmente, devido a todas os requisitos e restrições apresentados. A pesquisa abriu novos horizontes acerca da aplicação dos conhecimentos adquiridos, através dos temas de investigação e do estado de arte, na área da dissertação, que estão a adquirir enorme relevância neste momento, e num futuro próximo, com o aumento da procura da domótica.

Relativamente ao trabalho desenvolvido concluiu-se que a abordagem inicialmente tomada não seria a mais correta, tendo sido corrigida. Inicialmente tentou-se implementar a dissertação como um todo e apenas no final testar o funcionamento e procurar encontrar os possíveis erros. Com a acumulação de pequenos erros resultou numa implementação que não funcionava como pretendido. Corrigiu-se o plano de desenvolvimento para dividir a implementação em pequenas partes. Integrando as diversas partes no protótipo apenas quando devidamente validadas com testes. Como foi o primeiro projeto de maior exigência, permitiu ao autor adquirir novos métodos de trabalho e ajustar os métodos antigos para uma melhor eficiência do tempo. Embora atrasos na implementação tenham acontecido, quer pelo atraso de encomendas quer pela deteção e correção de erros, de forma a validar a dissertação.

## 5.2. Trabalho futuro

Futuramente, o trabalho planeado começa pela integração do módulo no protótipo final do projeto e a realização de testes em ambiente que aplicação. Uma vez superados todos os testes necessários e validados os resultados, é de elevada importância o desenvolvimento da parte de controlo através dos dados recolhidos, responsável pelo controlo de utensílios do quotidiano de modo a aproximar a residência com a fachada renovada a uma casa inteligente.

Com os dados reunidos numa base de dados torna-se possível o desenvolvimento de controlo de diversos utensílios do quotidiano. Como é o exemplo do sistema de HVAC, assim como a abertura de janelas e de persianas, consoante os dados, entre outros que possam ser pretendidos. Este trabalho possibilita a integração de algumas funcionalidades de uma casa inteligente a uma casa renovada, que cada vez mais é pretendido com os avanços da computação ubíqua.

A solução fornecida neste momento tem como prioridade o custo do produto final. Mas pode ser otimizada para priorizar outros requisitos, consoante a aplicação desejada. O desenvolvimento foi realizado de forma modular para permitir adaptações sem ser necessário o recomeço do desenvolvimento quer de software quer de hardware. Tendo em vista a redução de custos, a utilização de outro hardware de comunicações é relevante, sendo, no entanto, necessário também o desenvolvimento de software, dado que os módulos de RF utilizados terem já implementadas várias funcionalidades. Tendo como objetivo o aumento da autonomia, o gestor de carga é responsável por uma parte relevante do consumo, dos 299  $\mu\text{A}$  consumidos quando o módulo, 63  $\mu\text{A}$  são consumidos pelo gestor de carga. Mantendo o consumo quando o módulo se encontra em sono e tem um consumo total de 90 $\mu\text{A}$ . Desta forma, o módulo consegue ser adaptado para atingir novos requisitos ou objetivos, como a redução do tamanho do tamanho do módulo, a precisão dos dados recolhidos ou até mesmo pode ser adaptado para outras aplicações onde os sensores pretendidos sejam os mesmos ou semelhantes.

## 6. Bibliografia

- [1] G. Amanatidis, "European policies on climate and energy towards 2020, 2030 and 2050", Jan., 2019.
- [2] "RenoZEB in a nutshell - RenoZEB." Available: <https://renozeb.eu/about/renozeb-in-a-nutshell.html> (accessed Dec. 19, 2021).
- [3] A. Mestre, M. Almeida, and M. Iten, "A Portuguese study on building renovation towards a nearly zero energy building (nZEB)", Set., 2016, Available: <https://hdl.handle.net/1822/43170>.
- [4] C. Boonyaputthipong, "Building envelope renovation for net zero energy building in hot humid climate," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 257, no. 1, May 2019, doi: 10.1088/1755-1315/257/1/012031, Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/257/1/012031/meta>.
- [5] O. Konzeptbau, "The AZEB Methodology: 17 steps to create affordable nearly Zero Energy Buildings The AZEB Methodology: 17 Steps to create affordable nearly Zero Energy Buildings Work package 2| A methodology for developing Cost Effective nZEB with RES Deliverable D2.4 | Common methodology for cost effective nZEB with RES (Process for Cost Reduction-2.0)," 2020, Available: [https://azeb.eu/wp-content/uploads/2020/05/D2.4\\_AZEB\\_methodology\\_v5.pdf](https://azeb.eu/wp-content/uploads/2020/05/D2.4_AZEB_methodology_v5.pdf).
- [6] E. João and P. Coelho, "INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA SENSORES E ACTUADORES M A T E R I A L D E A P O I O À S A U L A S VER 2.0," 2004, Available: [http://www.ipb.pt/~jpcoelho/downloads/SeA\\_.pdf](http://www.ipb.pt/~jpcoelho/downloads/SeA_.pdf).
- [7] "4 Most Common Types of Temperature Sensor | Ametherm.," Available: <https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types> (accessed Dec. 23, 2021).
- [8] "Thermal Management Handbook," Revised March 2014, Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/thermal-management-handbook.pdf>.

- [9] W. Kester, J. Bryant, and W. Jung, "TEMPERATURE SENSORS 7.1 SECTION 7 TEMPERATURE SENSORS", Jan., 2020. Available: <https://fdocuments.in/document/section-7-temperature-sensors-walt-kester-james-bryant-temperature-sensors.html?page=1>.
- [10] "Types of Temperature Sensors Thermocouples, RTDs, Thermistors and Local Temperature Sensor ICs", Accessed: Dec. 26, 2021. [Online]. Available: [www.maximintegrated.com2www.maximintegrated.com/temp-sensors](http://www.maximintegrated.com2www.maximintegrated.com/temp-sensors)
- [11] J. L. Poveda, "Light sensor Processing signal circuit design", 2013, Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/18487?show=full#preview>.
- [12] "Photoresistor | Resistor Types | Resistor Guide." Available: <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/photo-resistor/#> (accessed Dec. 29, 2021).
- [13] C. Y. Lee and G. bin Lee, "Humidity sensors: A review," *Sens Lett*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, Mar. 2005, doi: 10.1166/SL.2005.001, Available: [https://www.researchgate.net/publication/233616035\\_Humidity\\_Sensors\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/233616035_Humidity_Sensors_A_Review).
- [14] Y. Kim, B. Jung, H. Lee, H. Kim, K. Lee, and H. Park, "Capacitive humidity sensor design based on anodic aluminum oxide," *Sens Actuators B Chem*, vol. 141, no. 2, pp. 441–446, Sep. 2009, doi: 10.1016/J.SNB.2009.07.007, Available: [https://www.researchgate.net/publication/350009604\\_Capacitive\\_Humidity\\_Sensor\\_Based\\_on\\_Carbon\\_BlackPolyimide\\_Composites](https://www.researchgate.net/publication/350009604_Capacitive_Humidity_Sensor_Based_on_Carbon_BlackPolyimide_Composites).
- [15] C.-H. Yen, "Low-Cost Wireless High Water Detection System A Design Project Report Project Title: Low-Cost Wireless High Water Detection System", Jan., 2014, Available: [https://people.ece.cornell.edu/land/courses/eceprojectsland/STUDENTPROJ/2014to2015/Michael\\_Yen/cy278\\_report\\_201412041151.pdf](https://people.ece.cornell.edu/land/courses/eceprojectsland/STUDENTPROJ/2014to2015/Michael_Yen/cy278_report_201412041151.pdf).
- [16] S. Adla, N. K. Rai, S. H. Karumanchi, S. Tripathi, M. Disse, and S. Pande, "Laboratory Calibration and Performance Evaluation of Low-Cost Capacitive and Very Low-Cost Resistive Soil Moisture Sensors," *Sensors 2020, Vol. 20, Page 363*, vol. 20, no. 2, p. 363, Jan. 2020, doi: 10.3390/S20020363, Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/2/363>.

- [17] A. Fares and V. Polyakov, "Advances in Crop Water Management Using Capacitive Water Sensors," *Advances in Agronomy*, vol. 90, pp. 43–77, 2006, doi: 10.1016/S0065-2113(06)90002-9, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211306900029>.
- [18] "Energy harvesting in wireless sensor networks\_ A comprehensive review | Elsevier Enhanced Reader.", Mar., 2016, Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032115012629?token=5AC8E7F2579B759A8EC8CF79323C1C48BD406E5433F9437434555CBEEC2B67CC109FB78F47F1E28A28ECD4147FBB1E1E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211230153319> (accessed Dec. 30, 2021).
- [19] D. K. Sah and T. Amgoth, "Renewable energy harvesting schemes in wireless sensor networks: A Survey," *Information Fusion*, vol. 63, pp. 223–247, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.INFFUS.2020.07.005, Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8955616/>.
- [20] S. Li, J. Yuan, and H. Lipson, "Ambient wind energy harvesting using cross-flow fluttering," *J. Appl. Phys*, vol. 109, p. 26104, 2011, doi: 10.1063/1.3525045, Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4970146/>.
- [21] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, "WIRELESS SENSOR NETWORKS Technology, Protocols, and Applications", Aug., 2006, Available: <https://digitalforensicforest.com/wp-content/uploads/2017/10/WSN-kazem-sohraby.pdf>.
- [22] "Types of Wireless Sensor Networks: Attacks & Their Applications." Available: <https://www.elprocus.com/introduction-to-wireless-sensor-networks-types-and-applications/> (accessed Jan. 04, 2022).
- [23] A. Bonatto and D. Oliveira Do Canto, "BLUETOOTH TECHNOLOGY (IEEE 802.15)", Available: <https://www.inf.pucrs.br/~cnunes/redes/Trabalho%20Bluetooth.pdf>.
- [24] A. José, "Redes sem fios - Universidade do Minho." Microdispositivos de RF para Comunicação sem Fios, Mestrado integrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho, Guimarães, 2021

- [25] J. Alberto Santos, J. Paulo Portugal Co-orientador, and M. Jorge Sousa, "Sistema Domótico baseado em redes Zigbee," 2009, Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59411/1/000136077.pdf>.
- [26] "Z-Wave - Wikipedia." Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave> (accessed Nov. 14, 2022).
- [27] N. Morresi, S. Casaccia, and M. Arnesano, "Sensing physiological and environmental quantities to measure human thermal comfort through Machine Learning techniques P2Endure View project AAL eWare View project," *Article in IEEE Sensors Journal*, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3064707, Available: [https://renozeb.eu/fileadmin/user\\_upload/Sensing\\_physiological\\_and\\_environmental\\_quantities.pdf](https://renozeb.eu/fileadmin/user_upload/Sensing_physiological_and_environmental_quantities.pdf).
- [28] S. Dawson-Haggerty *et al.*, *{BOSS}: Building Operating System Services*. 2013, Available: <https://people.eecs.berkeley.edu/~culler/papers/SDH13BOSS.pdf>.
- [29] M. Arnesano, B. Bueno, A. Pracucci, S. Magnagni, O. Casadei, and G. M. Revel, "Sensors and control solutions for Smart-LoT façade modules," in *2019 IEEE International Symposium on Measurements and Networking, M and N 2019 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2019. doi: 10.1109/IWMN.2019.8805024, Available: [https://www.researchgate.net/publication/356494716\\_IoT\\_in\\_Building\\_Process\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/356494716_IoT_in_Building_Process_A_Literature_Review).
- [30] B. Bueno and F. Ozceylan, "A workflow for retrofitting faade systems for daylight, comfortable and energy efficient buildings," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 225, no. 1, Feb. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012034, Available: [https://www.academia.edu/43481695/Analyzing\\_the\\_fulfillment\\_of\\_daylight\\_and\\_overheating\\_requirements\\_in\\_residential\\_and\\_office\\_buildings\\_in\\_Estonia](https://www.academia.edu/43481695/Analyzing_the_fulfillment_of_daylight_and_overheating_requirements_in_residential_and_office_buildings_in_Estonia).
- [31] S. Attia, "Challenges and Future Directions of Smart Sensing and Control Technology for Adaptive Facades Monitoring", Nov., 2018, Available: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/229695/1/FINAL.pdf>.

- [32] Luible A., Aelenei L., Perino M., Wellershoff F., Pottgiesser U., "View of Vol. 6 No. 3 (2018): Special Issue FAÇADE 2018 – Adaptive!", Nov., 2018, Available: [https://journals.open.tudelft.nl/jfde/issue/view/611/2018\\_3](https://journals.open.tudelft.nl/jfde/issue/view/611/2018_3) (accessed Jan. 04, 2022).
- [33] "XBee® SX 868 Radio Frequency (RF) Module User Guide," 2018, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: [www.digi.com/howtobuy/terms](http://www.digi.com/howtobuy/terms)
- [34] "LMT86 data sheet, product information and support | TI.com.", Revised: Oct., 2017, Available: <https://www.ti.com/product/LMT86> (accessed Oct. 29, 2022).
- [35] "Ambient Light Sensor", Revised: Jan., 2023, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: [www.vishay.com/doc?91000](http://www.vishay.com/doc?91000)
- [36] A. Advanced Sensors, "Telaire HS12SP Relative Humidity Sensor", Sep., 2019, Available: <https://www.amphenol-sensors.com/hubfs/Documents/AAS-920-753A-Telaire-HS12SP-092419-web.pdf>.
- [37] "Digi XBee SX 868 Development Kit Datasheet | Digi International.", 2017, <https://www.digi.com/resources/library/data-sheets/ds-xbee-sx-868-dev-kit?view=fullscreen> (accessed Jan. 24, 2023).
- [38] "Datasheet for TEPT5700 Vishay Phototransistor | Octopart.", Jul., 2008, Available: <https://octopart.com/datasheet/tept5700-vishay-41985443> (accessed May 08, 2023).
- [39] A. Advanced Sensors, "Telaire HS12SP Relative Humidity Sensor", Sep., 2019, Available: <https://www.amphenol-sensors.com/hubfs/Documents/AAS-920-753A-Telaire-HS12SP-092419-web.pdf>.