



**Gisela Inês Cavaco Pinto Félix Seixas**

Licenciada em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Sistema multissensor para utilização em espaços públicos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

Orientador: Doutor João Francisco Alves Martins, Prof. auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
Nova de Lisboa

Co-orientador: Doutor André Teixeira Bento Damas Mora, Prof. auxi-  
liar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universi-  
dade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Doutor Rodolfo Alexandre Duarte Oliveira  
Arguente: Doutor José Manuel Matos Ribeiro da Fonseca  
Vogal: Doutor João Francisco Alves Martins



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2017**



## **Sistema multissensor para utilização em espaços públicos**

Copyright © Gisela Inês Cavaco Pinto Félix Seixas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*Aos meus pais e avós, por todo o apoio incondicional.*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de expressar o meu sincero obrigado ao meu orientador, Professor João Martins e ao meu co-orientador Professor André Mora por toda a disponibilidade, empenho e auxílio durante o decorrer do desenvolvimento da dissertação.

Gostaria também de agradecer à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, bem como a todos os professores que tive oportunidade de contactar, pelo conhecimento transmitido, que permitiu desenvolver as minhas capacidades e terminar esta etapa com sucesso.

Quero agradecer à minha família, em especial aos meus pais, por todo o amor, carinho, apoio incondicional e esforço económico que fizeram para que pudesse alcançar todos os objetivos a que me propus. Também quero agradecer à minha Avó Esperança, por toda a companhia e pelas palavras de conforto nos momentos mais complicado deste percurso. Agradeço também ao meu Avô José Pinto, que apesar de já não estar presente, pela força que me dá e pela pessoa que me tornei.

Agradeço em particular aos meus colegas e amigos Ana Pereira, Catarina Vera e Tomás de Deus, com quem partilhei os momentos mais felizes e difíceis da minha vida académica, pela amizade, paciência e espírito de equipa demonstrado.

Gostaria também de agradecer à Ana Rita Salvado, por ter sido a minha referência durante o curso e por todos os conselhos que me deu, que me fizeram continuar a lutar pelos meus objetivos. Agradeço também ao André Estevam, ao André Ramião, à Ana Filipa Alves, à Bruna Bruno, à Edna Moreira, ao Ricardo Belchior e aos meus afilhados académicos Alexandre Dias, Ana Beatriz Salvado, Carolina Lagartinho e João Morgado pelos bons momentos que me proporcionaram e por estarem disponíveis para me ajudar.

Agradeço às minhas amigas de infância Ana Rita e Lara Sofia por todas as experiências vividas e pela preocupação demonstrada ao longo dos anos.

Por último, o meu muito obrigado ao meu namorado e colega Miguel Prego, por todo o amor, pelos conselhos, pelos momentos de alegria, companheirismo, disponibilidade, incentivo e amizade ao longos dos últimos 4 anos. Sem ele teria sido tudo mais difícil.



## RESUMO

---

O Património Mundial é uma das maiores heranças deixadas pelas civilizações antigas e um dos principais fatores de atração turística. As edificações de estruturas centenárias destacam-se como as mais procuradas pela sociedade atual para aprender e compreender os acontecimentos Históricos de um país. Devido à sua importância a nível cultural, torna-se necessário criar condições de sustentabilidade através da monitorização de parâmetros ambientais que visam aumentar o tempo de vida das edificações, diminuindo as causas de degradação. Existem diversos projetos implementados sobre a monitorização de edifícios, todavia com o grande crescimento tecnológico dos últimos anos, surge a necessidade de tornar os Edifícios Históricos também Edifícios Inteligentes.

Com base nos fatores acima descritos, a presente dissertação apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Monitorização Multissensor não intrusivo, para edificações históricas, capaz de recolher informação ambiental sobre o local (temperatura, humidade relativa, iluminância e nível de  $CO_2$  presente). O sistema tem também a particularidade de medir a ocupação das diferentes salas e disponibiliza uma aplicação móvel que pode ser utilizada por administradores e visitantes do edifício para consultar a informação dos parâmetros monitorizados em tempo real e receber informação contextualizada sobre o local onde se encontram. A informação relativa à ocupação do espaço é uma das inovações presentes no Sistema de Monitorização e é realizada através de processamento digital de imagem baseado no algoritmo de detecção *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) com abordagem *Support Vector Machine* (SVM). O envio de informação contextualizada é efetuado após a aplicação detetar o sinal enviado pelo iBeacon implementado no Dispositivo Multissensor concedendo ao local alguma divulgação e inteligência com o objetivo de interagir, ensinar e marcar de forma positiva a experiência do visitante.

Ao longo das validações efetuadas foi possível comprovar o conceito desenvolvido, verificar o comportamento do sistema para parâmetros ambientais acima dos esperados e observar a variação dos valores ambientais mensurados face à mudança das condições ambientais.

**Palavras-chave:** Monitorização de Edifícios, Redes de Sensores Sem Fios, Beacon, Detecção Pessoas.

---

---

## ABSTRACT

---

World Heritage is one of the greatest legacies left by ancient civilizations and one of the main reason of tourist attraction. The buildings of century-old structures stand out as the most sought after by today's society to learn and understand the historical events of a country. Due to its importance at the cultural level, it's necessary to create sustainability conditions by monitoring environmental parameters that aim to increase the life time of buildings, reducing the causes of degradation. There are several projects implemented on the monitoring of buildings, however with the great technological growth of the last years, the need arises to make the Historical Buildings also Smart Buildings.

Based on the factors described above, this dissertation presents the development of a non-intrusive Multisensor Monitoring System for historical buildings, capable of collecting environmental information about the site (temperature, relative humidity, illuminance and CO<sub>2</sub> levels). The system also has the particularity of assessing the occupation of the different rooms and provides a mobile application that can be used by the administrators and visitors of the building to consult the information of the parameters monitored in real time and receive contextual information about where they are. The information regarding the occupation of a site is one of the several innovations that feature the Monitoring System and it's done using digital image processing, based on the HOG detection algorithm, with SVM approach. The information about the occupation of the space is one of the innovations present in the Monitoring System and it is realized through digital image processing based on the algorithm of detection Histogram of Oriented Gradients (HOG) with approach Support Vector Machine (SVM). The sending of contextual information is done after the application detects the signal sent by iBeacon implemented in the Multisensor Device granting the site some publicity and intelligence with the purpose of interacting, teach and positively mark the visitor experience.

Throughout the validations carried out, it was possible to prove the developed concept, to verify the behavior of the system for environmental parameters higher than expected and to observe the variation of the measured environmental values in face of the change of the environmental conditions.

**Keywords:** Monitoring Buildings, Wireless Sensor Networks, Beacon, People Detection

---

---

# ÍNDICE

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xvii</b>
<b>Siglas</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
<b>2 Enquadramento e Estado da arte</b>	<b>3</b>
2.1 Património . . . . .	3
2.1.1 Património Natural . . . . .	3
2.1.2 Património Cultural . . . . .	4
2.1.3 Importância do Património . . . . .	5
2.1.4 Degradação do património . . . . .	6
2.2 Edifícios Históricos . . . . .	9
2.3 Monitorização de edifícios . . . . .	9
2.3.1 WISE-MUSE . . . . .	11
2.3.2 MSOS . . . . .	12
2.3.3 IoT-WSMP . . . . .	14
2.3.4 Monitoring Heritage System (MHS) . . . . .	15
2.3.5 Smart Heritage System (SHBuildings) . . . . .	16
2.3.6 Single Smart Space ( $S^3$ ) . . . . .	17
2.3.7 Comparação dos sistemas de monitorização . . . . .	19
2.4 Controlo do fluxo de visitantes . . . . .	20
2.4.1 Estimava do número de pessoas em edifícios utilizando informações visuais . . . . .	21
2.4.2 Estimativa do número de pessoas através de <i>Markov random field</i> . . . . .	22
<b>3 Tecnologias de suporte</b>	<b>25</b>
3.1 Algoritmo de deteção de pessoas . . . . .	25
3.2 Bibliotecas . . . . .	27

3.2.1	OpenCV . . . . .	27
3.2.2	Adafruit . . . . .	28
3.3	Linguagens de Programação . . . . .	28
3.3.1	Python . . . . .	28
3.3.2	MySQL . . . . .	29
3.3.3	PHP . . . . .	29
3.4	WAMP . . . . .	30
3.5	Protocolos de comunicação <i>Wireless</i> . . . . .	30
3.5.1	<i>Wi-Fi</i> . . . . .	30
3.5.2	Redes celulares . . . . .	31
3.5.3	<i>Bluetooth</i> . . . . .	32
3.6	Aplicação móvel . . . . .	32
3.7	Beacon . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Trabalho Desenvolvido</b> . . . . .	<b>37</b>
4.1	Modelo Funcional . . . . .	38
4.2	Modelo Arquitetural . . . . .	38
4.2.1	Monitorização . . . . .	39
4.2.2	Entidade . . . . .	39
4.2.3	Interface . . . . .	41
4.3	Equipamento . . . . .	41
4.3.1	Plataforma . . . . .	41
4.3.2	Aquisição de dados . . . . .	44
4.4	Implementação do sistema . . . . .	47
4.4.1	Monitorização de edifícios . . . . .	47
4.4.2	Entidade . . . . .	58
4.4.3	Interface . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Resultados Experimentais</b> . . . . .	<b>65</b>
5.1	Medição do fluxo de visitantes . . . . .	65
5.2	Sensores ambientais . . . . .	69
5.3	Envio de informação contextualizada . . . . .	70
5.4	Alertas . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Conclusões e trabalhos Futuros</b> . . . . .	<b>77</b>
6.1	Síntese . . . . .	77
6.2	Contribuições . . . . .	78
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	79
	<b>Bibliografia</b> . . . . .	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS

2.1 Paisagem Natural de Sintra . . . . .	4
2.2 Floresta Laurissilva . . . . .	4
2.3 Parque Icnológico . . . . .	4
2.4 Mosteiro dos Jerónimos . . . . .	5
2.5 Convento de Mafra . . . . .	5
2.6 Torre de Belém . . . . .	5
2.7 Causas de deterioração . . . . .	6
2.8 Rede de sensores sem fios . . . . .	10
2.9 Arquitetura de software do sistema de monitorização . . . . .	13
2.10 Sistema inteligente dentro do património cultural . . . . .	17
2.11 Exemplo de utilização do algoritmo de proximidade . . . . .	19
3.1 Etapas para a deteção objeto/pessoas através da utilização do método HOG . . . . .	25
3.2 Sequência de acontecimentos do Algoritmo HOG . . . . .	26
3.4 Exemplo de código SQL . . . . .	29
3.5 Rede <i>Wireless</i> com um ponto de acesso . . . . .	31
3.6 Ilustração da utilização da tecnologia beacon . . . . .	34
3.7 Formato do sinal transmitido pelo iBeacon . . . . .	34
3.8 Relação entre os valores de UUID, Major e Minor . . . . .	35
4.1 Modelo de principio do Sistema de Monitorização Multissensor . . . . .	37
4.2 Arquitetura do Sistema de Monitorização Multissensor . . . . .	39
4.3 Diagrama de Entidades e Relações da camada Entidade . . . . .	40
4.4 Plataformas . . . . .	42
4.5 Raspberry Pi 3 e descrição de componentes . . . . .	43
4.6 Câmara Raspbery Pi V2 . . . . .	44
4.7 Sensor de temperatura e humidade (DHT11) . . . . .	45
4.8 Padrão de comunicação entre um Raspberry Pi e um sensor DHT11 . . . . .	45
4.9 Sensor de luminosidade (NSL-19M51) . . . . .	46
4.10 Sensor de CO <sub>2</sub> (MQ-135) . . . . .	46
4.11 Conversor analógico-digital MCP3008 . . . . .	46
4.12 Nível físico do Dispositivo Multissensor . . . . .	48
4.13 Protótipo desenvolvido para o Dispositivo Multissensor . . . . .	48

---

4.14 Fluxograma do funcionamento do programa controlo de fluxo de visitantes .	50
4.15 Esquemático do circuito elétrico utilizado para medir a iluminância de um local . . . . .	52
4.16 Tensão de saída do Dispositivo Multissensor em função da Iluminância . . .	53
4.17 Relação entre $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$ e a quantidade de gás $CO_2$ . . . . .	55
4.18 Fluxograma do funcionamento do programa dos sensores ambientais . . . .	57
4.19 Consulta da tabela Leituras(2017-08-04) . . . . .	58
4.20 Ecrãs da aplicação móvel . . . . .	59
4.21 App Administrador . . . . .	60
4.22 App Administrador . . . . .	61
4.23 Esquema representativo da utilização da tecnologia Beacon . . . . .	61
4.24 Fluxograma representativo do início da aplicação . . . . .	62
4.25 Fluxograma representativo do ecrã de controlo . . . . .	63
4.26 Fluxograma da escolha do parâmetro a analisar . . . . .	63
4.27 Fluxograma da escolha do intervalo de tempo do gráfico . . . . .	64
5.1 deteção de pessoas em imagens consecutivas . . . . .	66
5.2 Sobreposição de duas pessoas no plano da câmara . . . . .	66
5.3 Número médio de pessoas no local entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas . . . . .	67
5.4 Gráfico de pessoas na imagem entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas	68
5.5 Parâmetros ambientais medidos para a Sala 1 . . . . .	69
5.6 Inicialização do iBeacon na aplicação USBbeacon . . . . .	70
5.7 deteção do sinal emitido pelo iBeacon a partir do Dispositivo Multissensor .	71
5.8 App Visitante . . . . .	72
5.9 Teste 1 - App Administrador . . . . .	73
5.10 Teste 2 - App Administrador . . . . .	73
5.11 Teste 3 - App Administrador . . . . .	74
5.12 Teste 1 - App Visitante . . . . .	75
5.13 Teste 2 - App Visitante . . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

2.1	Valores ótimos de parâmetros ambientais . . . . .	8
2.2	Análise dos sistemas de monitorização . . . . .	20
4.1	Especificações do microcontrolador Arduino YÚN, da placa Raspberry Pi 3 e BeagleBone Black . . . . .	43
4.2	Tensão de saída do LDR do Dispositivo Multissensor em função Iluminância	53
5.1	Pessoas na imagem entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas . . . . .	68



## SIGLAS

AFH	<i>Adaptive Frequency-Hopping.</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service.</i>
HOG	<i>Histogram of Oriented Gradients.</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language.</i>
IoT	<i>Internet of things.</i>
IP	<i>Internet Protocol.</i>
LTE	<i>Long Term Evolution.</i>
MMS	<i>Multimedia Message Service.</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient.</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor.</i>
PWM	<i>Pulse With Modulation.</i>
QoS	<i>Quality of Service.</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution.</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface.</i>
SVM	<i>Support Vector Machine.</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.</i>
UUID	<i>Unique Universal Identifier.</i>
WDMCA	<i>Wide-Band Code-Division Multiple Access.</i>

WSN *Wireless Sensor Network.*



## INTRODUÇÃO

No presente capítulo pretende-se proporcionar ao leitor uma visão geral do documento, sendo apresentada a motivação para a realização desta dissertação. De seguida, são apresentados os objetivos pelos quais esta dissertação se rege, e apresentado o desenvolvimento do protótipo, no âmbito da Monitorização de Edifícios Histórico. Por último, apresenta-se toda a estrutura do documento, descrevendo os principais tópicos abordados ao longo de cada capítulo.

### 1.1 Motivação

É de todo o interesse a conservação de edifícios históricos, uma vez que fazem parte essencial do património cultural.

Ao observar um monumento, a memória da população é estimulada fazendo com que haja uma ligação entre o passado e o presente. Assim, os edifícios expressam a sociedade e as pessoas que os construíram.

Um edifício tem o seu próprio ciclo de vida: a construção, o envelhecimento, a sua própria patologia, a restauração e a sua deterioração quando não preservados, sendo as condições ambientais, os eventos naturais e as intervenções humanas fatores que contribuem para a sua degradação.

Para que seja mais fácil relembrar acontecimentos históricos importantes como o desenvolvimento de uma civilização, bem como evitar acontecimentos futuros indesejados, surge a necessidade de monitorizar estes edifícios históricos para facilitar a sua manutenção e reparação.

## 1.2 Objetivos

Face aos avanços científicos e tecnológicos dos últimos anos, onde o conceito de mundo inteligente tem sido abordado com frequência, o objetivo principal da dissertação é desenvolver uma solução de monitorização tecnológica inovadora e de baixo custo para espaços públicos, especificamente para edifícios históricos, não interferindo com a estrutura do monumento, recorrendo a métodos não invasivos, bem como proporcionar aos utilizadores uma maior interação com os mesmos, através da utilização de dispositivos móveis.

Esta solução tecnológica baseia-se num Sistema Multissensor capaz de recolher dados ambientais como temperatura, humidade,  $CO_2$  e ocupação, de forma a prevenir a degradação dos edifícios históricos. Os dados recolhidos devem ser enviados para uma base de dados responsável por armazená-los através dos diversos protocolos de comunicação sem fios que existem com o intuito de criar um sistema não intrusivo. Esta solução terá também um sistema de vídeo que permite fazer vigilância diurna do local e ao mesmo tempo avaliar e estimar o fluxo de visitantes. Por último, através de uma aplicação móvel dedicada, a administradores e visitantes do edifício será possível consultar os dados armazenados na base de dados em tempo real, receber informação de alertas e tomar medidas, caso os últimos valores mensurados ultrapassem os valores padrão estipulados para cada sala do edifício. A aplicação desenvolvida deve ainda enviar informação histórica e contextualizada sobre o local onde os visitantes se encontram recorrendo à tecnologia Beacon.

De forma sucinta os objetivos são:

- Desenvolvimento de um Dispositivo Multissensor, com capacidade de comunicação sem fios, adequado a edifícios históricos;
- Recolha de parâmetros ambientais e posterior envio para uma base de dados local ou do tipo *cloud*;
- Capacidade de medir o fluxo de visitantes por recurso a tratamento de imagem;
- Desenvolvimento de uma aplicação para dispositivo móvel que possa ser utilizada por visitantes e administradores do edifício;

Tendo sido apresentada a motivação e os objetivos da dissertação, o restante documento encontra-se dividido em cinco capítulos. Desta forma, no segundo capítulo são apresentados o enquadramento e o estado da arte referente ao tema. O terceiro capítulo é constituído pelas tecnologias de suporte necessárias para o desenvolvimento da dissertação. O quarto capítulo aborda a implementação do Sistema Multissensor, enquanto que no quinto capítulo são apresentados os testes e resultados obtidos. Por último, é apresentada a conclusão relativa ao projeto, bem como pontos de melhoria a realizar.

## ENQUADRAMENTO E ESTADO DA ARTE

No presente capítulo serão introduzidos conceitos importantes para melhor compreensão do tema, bem como a apresentação de alguns trabalhos já realizados sobre Edifícios Históricos.

### 2.1 Património

Património é definido como "a conjugação das criações e dos produtos da natureza e do homem que, na sua integridade, constituem, no espaço e no tempo, o ambiente em que vivemos. O património é uma realidade, um bem da comunidade e uma valiosa herança que pode ser legada e que convida ao nosso reconhecimento e à nossa participação"(ICMOS, 2015).

O património construído ontem é utilizado para construir o património de amanhã, uma vez que a cultura, por natureza, é dinâmica e está em constante renovação e enriquecimento.

O património mundial é integrado pelo património cultural e pelo património natural. Contudo, existem determinados bens que podem ser considerados simultaneamente, naturais e culturais.

#### 2.1.1 Património Natural

Segundo o Decreto-Lei n.º 142/2008, Artigo 3.º, património natural é um "conjunto de valores naturais com reconhecido interesse natural ou paisagístico, nomeadamente do ponto de vista científico [...] e estético."

O Património natural é constituído por:

- Monumentos naturais com formações físicas, biológicas e geológicas;

- Parques naturais;
- Zonas delimitadas que constituem habitats de espécies animais ou vegetais em vias de extinção.

A paisagem natural de Sintra, a floresta Laurissilva na ilha da Madeira e o parque Icnológico de Penha Garcia são exemplos que fazem parte do património natural de Portugal.



Figura 2.1: Paisagem Natural de Sintra<sup>1</sup>

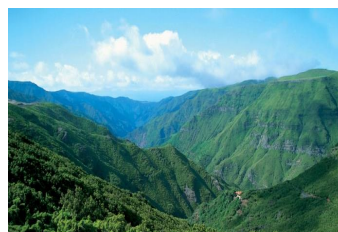


Figura 2.2: Floresta Laurissilva<sup>2</sup>



Figura 2.3: Parque Icnológico<sup>3</sup>

### 2.1.2 Património Cultural

Ao longo dos anos, o conceito de Património Cultural tem vindo a sofrer alterações de forma a incluir todas as evidências de criatividade e expressão humana, não englobando apenas monumentos e objetos.

Segundo o Conselho da Europa (2005) Convenção de Faro, Artigo 2.º entende-se por património cultural "o conjunto de recursos herdados do passado que as pessoas identificam, independentemente do regime de propriedade dos bens, como reflexo e expressão dos seus valores, crenças, saberes e tradições em permanente evolução. Inclui todos os aspetos do meio ambiente resultantes da interação entre as pessoas e os lugares, através do tempo".

O património cultural é caracterizado pelo património móvel, imaterial e imóvel ou construído. O primeiro é constituído por todos os bens que podem ser transportados. Os

<sup>1</sup><https://www.unescoportugal.mne.pt/pt/temas/proteger-o-nosso-patrimonio-e-promover-a-criatividade/patrimonio-mundial-em-portugal/paisagem-cultural-de-sintra>

<sup>2</sup><http://www.visitmadeira.pt/pt-pt/a-madeira/10-razoes-para-visitar-a-madeira/floresta-da-laurissilva-\T1\textendash-patrimonio-da-humanidade>

<sup>3</sup><http://www.naturtejo.com/conteudo.php?opt=o-que-visitar&id=62>

quadros, as moedas antigas, as fotografias, bem como as joias antigas que caracterizam uma determinada geração, refletem a criatividade e a estética do passado para o presente. Já o património imaterial inclui tradições, artes de espetáculo, expressões orais como a língua e técnicas artesanais tradicionais. Por último, o património imóvel constitui o que o homem construiu através da alteração da natureza, compreendendo os monumentos, os conjuntos arquitetónicos e sítios construído, bem como os bens que possuam um testemunho de civilização e cultura, englobando, o património arquitetónico, o vernáculo, o industrial, o paisagístico e o urbano.

O Mosteiro dos Jerónimos, a Torre de Belém em Lisboa e o Convento de Mafra são alguns exemplos de património cultural em Portugal.



Figura 2.4: Mosteiro dos Jerónimos<sup>4</sup>



Figura 2.5: Convento de Mafra<sup>5</sup>



Figura 2.6: Torre de Belém<sup>6</sup>

### 2.1.3 Importância do Património

O património permite compreender a história e a identidade de civilizações passadas. Desde os tempos antigos, tanto o povo egípcio como o romano preocuparam-se em deixar marcos que os identificassem e é importante conservar o que ainda existe para que as gerações futuras possam imaginar e compreender melhor o que aconteceu no passado. Contudo, tanto o património cultural como o natural têm vindo a degradar-se, não só pelas causas naturais, mas também pela evolução da vida social e económica.

A *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) é uma entidade que tem como objetivo contribuir para a paz e segurança do mundo, sendo também responsável por salvaguardar o património mundial. Segundo a sua Declaração Universal

<sup>4</sup><http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/museus-e-monumentos/dgpc/m/mosteiro-dos-jeronimos/>

<sup>5</sup><http://www.cm-mafra.pt/pt/turismo/palacio-nacional-de-mafra-0>

<sup>6</sup><http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/news/iniciativas/festas-de-lisboa-celebram-500-anos-da-torre-de-belem/>

sobre a Diversidade Cultural, Artigo 7.º. "O património, sob todas as suas formas, deverá ser preservado, valorizado e transmitido às gerações futuras enquanto testemunho da experiência e das aspirações humanas, de forma a fomentar a criatividade em toda a sua diversidade e a inspirar um diálogo genuíno entre as culturas."

### 2.1.4 Degradação do património

Existem vários fatores que degradam o património e por vezes levam à sua destruição. Causas externas como, o clima, os fenómenos naturais, as causas botânicas e biológicas e ações do homem e causas internas como, humidade relativa do ar, ventilação, temperatura, iluminação e ocupação são as principais causas de deterioração de objetos e materiais que constituem e compõem o património (figura 2.7).

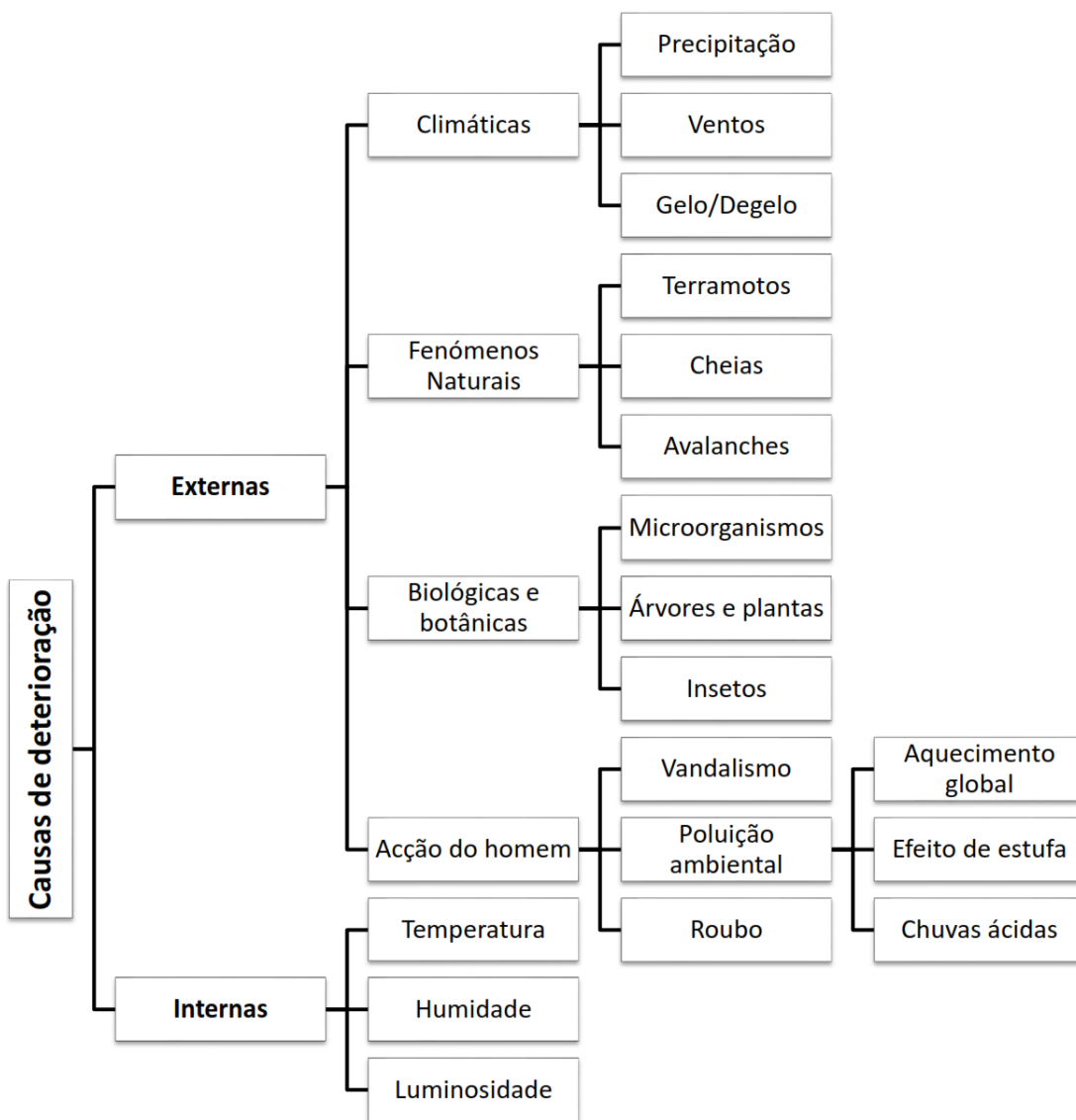


Figura 2.7: Causas de deterioração (Feilden, 1994)

As causas internas como a iluminação, humidade relativa do ar, temperatura e ocupação afetam essencialmente a qualidade do ar interior dentro de um edifício histórico. A monitorização destes parâmetros permite agir de modo a prevenir a ocorrência de mudanças que degradam os mesmos.

### 2.1.4.1 Iluminação

A iluminação, natural ou artificial, é parte integrante do uso de qualquer edifício. Contudo, a luz, na forma de radiação, pode causar danos irreversíveis nos objetos. As partes mais nocivas do espectro de luz são os raios ultravioleta (UV). A diminuição da luz nesta banda reduz, consideravelmente, o nível de deterioração dos objetos. Assim, afigura-se crucial que as fontes de luz, naturais ou artificiais, sejam seguras para a obra de arte, assegurando a sua preservação. Para tal, é usual considerar:

- Baixar a intensidade da luz;
- Remover raios UV, através da utilização de filtros;
- Utilizar um difusor de luz na iluminação artificial, diminuindo a intensidade da luz;
- Reduzir o tempo de exposição dos objetos à luz;

É importante considerar que a luz se torna, tanto mais prejudicial, quanto combinada com fatores como o oxigénio e a humidade. Assim, torna-se igualmente crucial controlar todos os fatores envolventes.

### 2.1.4.2 Humidade

A presença de humidade na atmosfera é um fenómeno em constante alteração num ciclo de absorção e libertação. Os objetos feitos por materiais orgânicos possuem, uma enorme capacidade de reter e libertar humidade. Este ciclo constante, pode causar danos irreversíveis em determinados objetos. A humidade pode ainda acelerar outras reações químicas e biológicas. A água atua como componente essencial ao começo de muitas reações químicas, como a corrosão de metais e a formação de ácidos nas fibras naturais. Além do mais, a humidade gera, muitas vezes, micro-organismos, como o bolor, também eles degradantes.

### 2.1.4.3 Ocupação

A ocupação excessiva de um local é determinante na evolução da degradação da estrutura de um edifício, sobretudo caso se trate de um edifício centenário onde prevalecem materiais antigos de fácil deterioração.

A temperatura, a humidade relativa e o nível de  $CO_2$  são alguns dos parâmetros ambientais influenciados pelo aumento ou decréscimo do número de ocupantes.

A monitorização da ocupação é um fator de extrema importância para a sustentabilidade de um edifício, como também para a segurança daqueles que o utilizam.

#### 2.1.4.4 Poluição

A poluição presente na atmosfera é transportada por partículas existentes no ar, espalhadas por efeito do vento. Dióxido de enxofre e dióxido de azoto, provenientes de fontes industriais são poluentes urbanos muito comuns. Poluentes interiores derivam, normalmente, da variedade de materiais como borracha, polímeros sintéticos e ozono, proveniente de equipamento mecânico. A variedade de poluentes, bem como, as diferentes sensibilidades de cada material a cada poluente tornam cada vez mais difícil recomendar uma salvaguarda face à poluição. Assim, será sempre necessária uma vigilância constante, que permita detetar, desde logo, os primeiros sinais de degradação e agir em conformidade.

Cada material varia, no que diz respeito, ao limite ótimo de condições ambientais necessárias à sua preservação. Conhecendo e assegurando um determinado limite de condições ambientais, é possível prevenir a deterioração de materiais e objetos patrimoniais. Na tabela 2.1 encontram-se representados os valores ótimos para os parâmetros referidos anteriormente.

Tabela 2.1: Valores ótimos de parâmetros ambientais

Parâmetros	Valores Admitidos	Referência
Temperatura	23- 36 °C	Norma ISSO 7730:205
Humidade relativa	30 - 60 %	Norma ISSO 7730:205
Luminosidade	70 a 150 lux	Norma ABNT 5413
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1000 ppm (1800 mg/m <sup>3</sup> )	DL 79/2006

A qualidade do ar interior dentro de um edifício é um fator de extrema importância, não só para a preservação dos objetos existentes, como para o bem-estar das pessoas que circulam no mesmo. Valores elevados de humidade relativa (> a 55 %) levam ao aparecimento de fungos, bactérias e ácaros, principais fontes de problemas respiratórios como asma e alergias em geral, mas também, de fortes estragos nos edifícios e nos objetos neles existentes. Por sua vez, valores baixos de humidade relativa (< a 25 %) podem agravar doenças como asma e bronquite e causar irritações nos olhos, garganta e nariz.

Níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) moderados podem causar dores de cabeça, náuseas e falta de ar, enquanto valores elevados causam inconsciência e até morte aos seres humanos.

É imperativo assegurar a qualidade do ar interior, garantindo o controlo de poluentes atmosféricos, através da tomada de ações corretivas apropriadas a manter os níveis ótimos à não degradação do património.

### 2.2 Edifícios Históricos

Em 1972 a UNESCO definiu monumento como "obras arquitetónicas, de escultura ou de pintura monumentais, elementos de estruturas de carácter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos com valor universal excecional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência".

Monumento histórico é, desta forma, um título utilizado para classificar um local, construção ou objeto que recebe este estatuto especial, de modo a protegê-lo e preservá-lo pelo seu interesse para a humanidade, quer este seja histórico, arquitetónico ou artístico. É também comum os monumentos históricos homenagearem pessoas ou acontecimentos históricos, devido à sua elevada importância na história local ou mundial. Normalmente estes monumentos são bustos, estátuas, construções ou edifícios.

Neste trabalho os edifícios terão um maior foco, embora que o projeto possa ser aplicado a outro tipo de obras, de menor dimensão, alterando o tipo de medições a serem feitas, bem como a utilização dos dados adquiridos, se estes mostrarem necessidade de preservação devido ao seu elevado interesse histórico, cultural, estético, ambiental, ecológico ou artesanal.

### 2.3 Monitorização de edifícios

Foi a partir do congresso em Vantaa, Finlândia, no ano de 2000, que a Europa mudou, consideravelmente, o olhar sobre o tema da conservação preventiva. A conservação do património pode ser realizada através de um conjunto de intervenções como, o controlo ambiental, a manutenção, a reparação, o restauro e a reabilitação, a fim de evitar e minimizar futuras deteriorações ou perdas. As intervenções realizadas devem evitar alterações nas características do espaço cultural, bem como a remoção de partes da estrutura, minimizando possíveis danos para o valor patrimonial e ao mesmo tempo garantindo segurança e durabilidade (Actuando, 2000). De forma a minorar as intervenções de restauro e reparação, a monitorização do património é uma atividade de elevada importância.

O processo de monitorização pode ser visto como uma avaliação formativa ou um desempenho focando-se nas seguintes questões: quando, como e onde é que um evento está a ocorrer. Assim, a monitorização de um edifício consiste na recolha, análise e uso de dados durante um período de tempo definido e de forma continua, a fim de alertar para problemas existentes (temperatura elevada e humidade) ou futuros. Através dos dados recolhidos é possível perceber quais os locais e materiais que necessitam de intervenção, e posteriormente, realizar um plano de intervenção de forma a garantir uma gestão eficaz. O

plano de conservação contém informação sobre a história, a construção e o valor cultural e patrimonial de um lugar, bem como políticas de gestão.

Nos últimos anos têm sido desenvolvidas novas soluções para monitorizar os espaços urbanos com interesse histórico, colocando de parte os aparelhos tradicionais de medição como os higrómetros, os psicrómetros e os higrótermógrafos mecânicos. A integração de sensores em edifícios históricos é uma das soluções encontradas para substituir os aparelhos de medida referidos anteriormente. Por se tratarem de locais com grande impacto visual, não devem ser utilizados sistemas de monitorização que alterem o local, nem que chamem à atenção do público. A utilização de cabos é indesejável neste tipo de ambientes, não só pelos aspetos visuais, como também pelos elevados custos de instalação e manutenção e limitam o número de sensores a utilizar levando a uma diminuição de informação recolhida. Deste modo, as redes de sensores sem fios mostram-se uma solução fiável e escalável, uma vez que consomem pouca energia, não necessitam de manutenção, os custos de aquisição e instalação são reduzidos, permitem recolher informação de forma rápida tratando-se de sistemas não invasivos (Camilo, Rodrigues, Silva e Boavida, 2006).

Uma rede de sensores sem fios, em inglês, *Wireless Sensor Network* (WSN) consiste num elevado número de pequenos nós de sensores sem fios distribuídos que comunicam com uma estação base, *gateway* (Figura 2.8). A informação recolhida por um dos nós é comprimida, e posteriormente enviada para o *gateway* que processa a informação recebida dando informação sobre o meio.

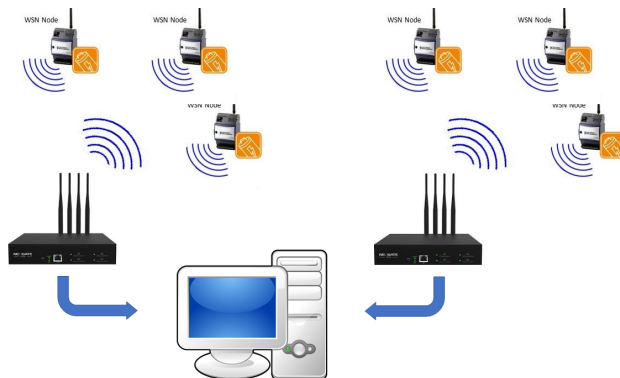


Figura 2.8: Rede de sensores sem fios

Segundo a carta de Cracóvia 2000, princípios para a conservação e o restauro do património construído para a proteção e apresentação pública de sítios arqueológicos deve recorrer-se a técnicas modernas, a criação de base de dados, a utilização de sistemas de informação e a utilização de técnicas de apresentação virtual dos sítios.

Tendo sido referidas as principais vantagens das redes de sensores sem fios, de seguida serão descritos alguns projetos que empregam a tecnologia no processo de monitorização.

### 2.3.1 WISE-MUSE

WISE-MUSE é um projeto de monitorização desenvolvido para o museu da Fortaleza de São Tiago (Madeira). Este tem a particularidade de se localizar junto ao mar onde fatores como temperatura, humidade e luz tem maior influência na degradação do edifício. O objetivo deste projeto foi eliminar as técnicas de medição tradicionais, que não permitiam ter dados em tempo real e necessitavam de pessoas especializadas para as realizar, por uma técnica moderna, não invasiva e de baixo custo.

Segundo (Rodriguez Peralta, Ieixeira Gouveia, Gomes de Sousa e da Silva Alves, 2010) o processo de monitorização do museu consiste em cinco etapas:

1. Monitorização da temperatura, humidade, luz e poluentes.
2. Envio dos dados recolhidos para uma base de dados.
3. Visualização dos dados em diferentes formatos (gráficos e tabelas).
4. Análise dos dados para verificar a conformidade com as regras de conservação de arte.
5. Geração de alarmes para os responsáveis pelo museu.

De forma a realizar a primeira etapa foi feito um estudo sobre tecnologias implementadas em museus, edifícios históricos e espaços fechados. O WISE- MUSE optou por desenvolver dois nós, um nó sensor e um nó *router*. O nó sensor realiza diferentes medições através dos sensores de temperatura, humidade e luz e contém ainda uma bateria composta por duas pilhas. O nó *router* é bastante idêntico ao nó sensor, contudo necessita de estar sempre ligado e é responsável por transmitir a informação recolhida para uma estação central. Os dados recolhidos, são transmitidos para uma estação base através de radiofrequência, utilizando um módulo XBee que opera de acordo com o protocolo de comunicação ZigBee<sup>7</sup>, correspondendo à segunda etapa. Na terceira etapa, para visualizar os dados recolhidos foi criada uma página *web*, Web WISE-MUSE, desenvolvida em *Hypertext Preprocessor* (PHP). A ferramenta desenvolvida permitiu exibir os parâmetros ambientais recolhidos e colocá-los num mapa consoante a posição onde foram medidos, permitiu também gerar gráficos com base nos dados armazenados e exportá-los em formato Microsoft Excel e Word. Por último, foi possível definir intervalos aceitáveis para os parâmetros a monitorizar. Com base nos intervalos de monitorização definidos foram verificados os valores de temperatura, humidade e luz recolhidos e em caso de anomalia foram gerados alertas (quinta fase). Os alertas baseiam-se num sistema de notificação via e-mail ou SMS *Short Message Service*, que funcionavam através do *Google calendar*. Este permite criar alarmes e notificações para eventos desejados e sem custos adicionais, uma vez que apenas é necessária uma conta de e-mail no *Gmail*.

---

<sup>7</sup>Baseado na norma 802.15.4, permite a comunicação *wireless* entre dispositivos com um baixo consumo e alcance reduzido através de uma banda de 2.4 GHz e uma taxa de transmissão de 240 Kbps.

O projeto em questão foi testado numa das salas do museu permitindo retirar conclusões sobre a rede de sensores implantada, bem como sobre os nós sensores desenvolvidos. Um dos fatores a ter em conta é a idade da edificação, uma vez que edifícios mais antigos têm paredes mais largas o que faz com que o sinal entre nós diminua significativamente. A colocação de um nó suplementar (repetidor) entre o nó sensor e do *gateway* solucionará o problema. Durante o projeto, também foi verificado o tempo de vida das baterias colocadas no nó sensor, através dos dados recolhidos, este poderá funcionar sem problemas durante 40 dias.

O sistema Wise-Muse quando comparado com o sistema Mica2<sup>8</sup> e Tmote Sky<sup>9</sup> para as mesmas funções apresenta vantagens económicas, uma vez que cada nó de sensor desenvolvido custa 70 €, menos 12 € que Tmote sky e menos 282 € que Mica2 . No entanto, apresenta um processador Atmega com uma memória inferior face aos projetos mencionados anteriormente, não sendo uma desvantagem, uma vez que conduz a uma remoção do código programado e conseqüentemente a um menor consumo de energia no nó. O nó sensor desenvolvido tem um tamanho reduzido (58 x 28 x 12 mm) ideal para locais onde o aspeto visual é importante.

### 2.3.2 MSOS

Em (D'Amato, Gamba e Goldoni, 2012) é apresentado um sistema de monitorização para uma sala do Palácio Ducal de Mântua, Itália, desenvolvido e implementado pela *Soprintendenza per i Beni Storici Artistici ed Etno-antropologici*, em português, Superintendência do Património Histórico Antropológico.

O sistema de monitorização foi desenvolvido através de WSN permitindo a recolha de dados ambientais e gestão em tempo real da sala do palácio. Este baseia-se numa arquitetura multicamadas que separa a medição de dados, do armazenamento e respetiva apresentação ao utilizador.

A arquitetura de software do sistema de monitorização desenvolvido é composta por cinco módulos (figura 4.2). O primeiro módulo corresponde ao nó sensor que é responsável por recolher os parâmetros ambientais e enviá-los através de comunicação sem fios para o segundo módulo, módulo *gateway*. A comunicação é realizada recorrendo ao protocolo CERTO (Protocol Cross - layer) projetado especificamente para aplicações ambientais que funciona do seguinte modo:

1. Todos os nós acordam e ficam à escuta de um canal disponível;
2. Início da sincronização dos nós e configuração do caminho de roteamento;
3. Transmissão de dados;
4. Todos os nós são adormecidos para poupar energia

---

<sup>8</sup><http://www.snm.ethz.ch/Projects/Mica2>

<sup>9</sup><http://tmote-sky.blogspot.pt/>

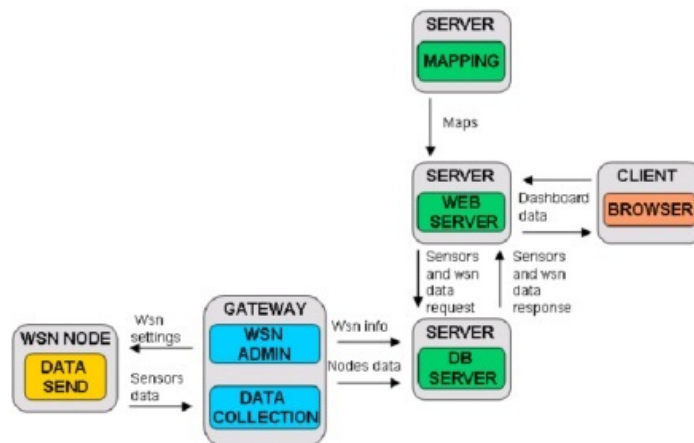


Figura 2.9: Arquitetura de software do sistema de monitorização (D'Amato, Gamba e Goldoni, 2012)

O nó sensor é composto por uma placa Arduino, um módulo rádio Digi XBee para efetuar a comunicação, um conjunto de três sensores (temperatura, humidade e luminosidade) e uma bateria de 9 V.

O segundo módulo tem duas funções, a primeira consiste na gestão dos nós para que estes se mantenham sincronizados, bem como na reorganização dos mesmos sempre que ocorra uma falha ou seja inserido um novo nó na WSN. A segunda função consiste na recolha de informação e envio para a base de dados.

O terceiro módulo corresponde à base de dados e é um dos módulos mais importantes no sistema devido às funcionalidades que apresenta. O autor defende que este deve ser de domínio público para que seja possível simplificar o processo de partilha de informação. Neste projeto foi utilizado o SQLite um gestor de base de dados leve e com ligação a diferentes tipos de linguagem de programação.

Para que fosse possível associar o local aos dados recolhidos foi necessário criar o módulo servidor geográfico (quarto módulo), que contém o mapa do edifício a monitorizar, bem como as coordenadas onde se encontram os nós. O mapa é carregado num ficheiro de georreferência através de uma aplicação Java GeoServer, e posteriormente associado às coordenadas.

Por último, o módulo servidor *web* é responsável por interagir com o utilizador. A partir de uma interface criada baseada na *web* é possível relacionar os dados da base de dados com os dados do servidor geográfico de forma a criar um mapa iterativo em tempo real. Para além disso, a ferramenta desenvolvida permite extrair informação histórica sobre o espaço, bem como definir parâmetros mínimos e máximos de monitorização para determinado nó. Em caso de anomalia, os alertas serão mostrados no mapa iterativo e será enviado um alerta para o administrador do edifício.

A solução encontrada para o sistema de monitorização e gestão do Palácio Ducal de Mântua trata-se de uma solução viável e permitiu verificar alguns aspetos críticos. Tal como, no projeto Wise-Muse, um dos problemas encontrados foi a dificuldade de

propagação do sinal, uma vez que o Palácio de Ducal foi construído há mais de cinco séculos. Para além disso, a localização dos nós é um fator importante na monitorização do espaço, estes devem ser colocados o mais perto possível do local a monitorizar de forma a aumentar a precisão dos dados recolhidos, e por sua vez a confiabilidade da rede.

### 2.3.3 IoT-WSMP

Em (Shah e Mishra, 2016) é apresentado um sistema de monitorização para o museu de arte Shreyas Folk na Índia baseado nas redes de comunicação sem fios e no conceito de *Internet of things* (IoT), em português, internet das coisas.

IoT é definido como uma rede de objetos físicos que consiste em sensores, software e eletrónica que têm a capacidade de comunicar uns com os outros, bem como com os utilizadores.

O sistema de monitorização apresentado pode ser dividido em duas partes. A primeira é constituída pelos elementos que caracterizam a WSN implementada, bem como pelo sistema de armazenamento utilizado. Por sua vez, a segunda parte está ligada à forma como os dados são apresentados.

Para o bom funcionamento da rede são necessários três nós: o nó emissor, o nó repetidor e o nó recetor. O nó emissor é composto por um conjunto de sensores (temperatura/ humidade (SHT11) e o sensor de luminosidade (TSL2561)) e um microcontrolador (PIC24F16KA102). Este tem como função recolher informação do espaço e enviá-la para o sistema de transmissão de dados (nRF24L01) que tem dois estados de funcionamento, recetor e emissor. Devido às funcionalidades do nó repetidor referidas anteriormente, este encontra-se sempre em funcionamento, alternando entre os dois estados de seis em seis segundos. O nó repetidor e recetor (microcontrolador (PIC24F16KA102)) apresentam estados opostos, no processo de transmissão e recolha de dados, respetivamente. Quando o nó repetidor se encontra a receber informação do nó emissor, o nó recetor encontra-se adormecido para economizar energia. Após receber os dados, o nó recetor, executa o algoritmo de *multi-hop* de forma a garantir que o pacote de dados recebido é o correto. Posteriormente, os dados são encaminhados para um computador local que se encontra ligado ao microcontrolador através de USB (Universal Serial Bus).

Os dados detetados são representados de forma gráfica e numérica numa interface para utilizadores desenvolvida em LabVIEW e transferidos para um servidor de base de dados (MySQL) via *Internet*. Foram desenvolvidas duas aplicações uma em PHP e a outra para telemóvel. A aplicação em PHP acede à base os dados e retorna uma página *HyperText Markup Language* (HTML) que permite o acesso aos dados a partir da *Internet*. Por sua vez, a aplicação para telemóvel é outra forma de visualizar os dados monitorizados, sempre que se acede à aplicação esta interliga-se com o *Web site* desenvolvido fornecendo dados em tempo real ao utilizador.

O autor refere ainda, que o conceito de IoT tem evoluído devido à invasão das tecnologias de informação e que o conceito de edifício inteligente está cada vez mais presente,

o que pode ser uma mais valia na monitorização de espaços públicos através de soluções automáticas.

### 2.3.4 Monitoring Heritage System (MHS)

Monitoring Heritage System (“MHS”, 2014), em português, Sistema de Monitorização de Património foi desenvolvido pela Fundação Santa Maria la Real em parceria com uma equipa de especialistas multidisciplinares com o intuito de criar uma solução tecnológica inovadora e eficaz para a conservação do património histórico.

A solução encontrada consiste num sistema de monitorização capaz de registar, analisar e controlar diversos parâmetros em tempo real e encontra-se dividido em três fases.

O processo de monitorização varia de local para local e é influenciado pelos objetos que o constituem. Assim para cada espaço é necessário realizar um estudo prévio, a fim de verificar os parâmetros que mais influenciam a sua degradação, bem como o seu estado de conservação. Esta medida corresponde à primeira fase do sistema de monitorização MHS.

Na segunda fase, com base no estudo realizado sobre o local, neste caso, um edifício histórico, foi definido qual o equipamento que mais se adequava às necessidades, optando por se instalar, de forma estratégica, uma rede de sensores sem fios distribuída pelo edifício que permite medir e controlar parâmetros ambientais (temperatura, humidade, luz e pressão atmosférica), estruturais (vibrações, fissuras, inclinações e convergência) e consumo. Os dados recolhidos através dos sensores são transmitidos para o computador central do edifício responsável por processá-los e enviá-los para uma Unidade de Controlo e Gestão. Posteriormente, através de um software inteligente é possível detetar o grau de deterioração do edifício e desenvolver um diagnóstico preditivo, de modo a que o sistema atue de forma preventiva através de um conjunto de ações, humanas ou automáticas, permitindo a manutenção do espaço. A abertura de portas, a temperatura, a luminosidade e a humidade são parâmetros possíveis de controlar automaticamente.

Por último, na terceira fase, a informação pertinente é armazenada numa base de dados que se encontra disponível numa página web e numa aplicação informática para utilizadores autorizados, sendo possível visualizar os dados, tratá-los e usá-los de forma interativa.

Deste modo o sistema de monitorização MHS é constituído por uma parte ligada ao hardware e outra ligada ao software. A parte ligada ao hardware corresponde à parte física do sistema contendo todo o equipamento necessário para a medição, transmissão, receção e armazenamento de dados, enquanto que o web site, a aplicação, bem como as ações automáticas para controlo e preservação do espaço correspondem à parte ligada ao software. Assim sendo, o sistema desenvolvido trata-se de uma ferramenta versátil e precisa capaz de fazer a gestão integral do património e que se foca quatro pontos principais:

- Na conservação através do uso sensores ambientais, medidores estruturais, detetores xilófagos e controlo automático de certos parâmetros.
- Na segurança através de vigilância remota e controlo de presença.
- Na eficiência energética através da instalação de dispositivos de controlo para um uso racional de recursos, bem como implementação de medidas (redução de custos e uso de fontes alternativas).
- Na gestão por parte do utilizador através de aspetos como uma aplicação móvel, tecnologia audiovisual e gestão de receitas.

O sistema MHS foi desenvolvido para ser utilizado em museus, em edifícios de interesse cultural, conjuntos arquitetónicos, bibliotecas, exposições de arte entre outros, tendo sido testado na cidade de Salamanca, no Museu do Prado e no Templo de Debod em Espanha.

### 2.3.5 Smart Heritage System (SHBuildings)

Smart Heritage System (“SHbuildings”, 2012), em português, Edifícios Históricos Inteligentes trata-se de um projeto europeu, desenvolvido entre 2012 e 2015, pela Fundação Santa Maria la Real em cooperação com o Instituto Tecnológico AIDIMA, as fundações CARTIF e TECNALIA, o Centro Tecnológico NOBATEK e Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa, cujo o principal objetivo foi criar um sistema alternativo aos métodos convencionais para gestão eficiente do património.

O sistema desenvolvido visa solucionar os problemas mais comuns dos edifícios contribuindo para a melhoria da eficiência energética e da segurança, diminuindo os custos de manutenção e reparação.

De modo a acompanhar os avanços tecnológicos na área dos sensores, na *Cloud Computing* e na *Internet of Things* que permitem um acompanhamento do sistema em tempo real foi desenvolvida e implementada uma solução tecnológica que se encontra dividida em três etapas. Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo onde foram instalados vários sensores inteligentes capazes de controlar a iluminação, a passagem de pessoas ou as fendas da edificação através de acelerómetros e fissurómetros, bem como de agentes xilófagos e níveis de  $CO_2$ , humidade e temperatura. Posteriormente, foi recolhida informação a partir dos sensores e os dados obtidos foram transmitidos via *wireless* para uma *Cloud* que utiliza a solução *Amazon AWS*. Por último, a informação recolhida era processada e visualizada a partir de uma aplicação para computador através de tabelas e gráficos.

O sistema foi testado com sucesso em três casas piloto, na Catedral de San Antolín, em Palência, Espanha, na Igreja Românica de São Pedro, em Roriz, Portugal e no Museu Basco de Baiona, em França onde se verificou que os custos de manutenção e reparação diminuíram de 20 % a 50 % dependendo do edifício. Os resultados apresentados demonstram a identidade do projeto com as políticas da união europeia para com o programa de

financiamento Horizonte 2020, otimizando os recursos, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos e diminuindo o impacto sobre o meu ambiente.

### 2.3.6 Single Smart Space (S<sup>3</sup>)

As pessoas são um dos fatores a ter em consideração quando se pensa no património. Devido ao avanço tecnológico, dispositivos como o smartphone e o tablet tornaram-se indispensáveis no dia a dia da população na procura de informação e fizeram com que espaços estáticos, como museus e cidades históricas, se adaptassem de modo a aumentar a satisfação do utilizador tornando a sua experiência única.

O projeto Single Smart Space (Chianese, Piccialli e Valente, 2015), em português, Espaço Inteligente Único nasce da necessidade de tornar um espaço cultural, num ambiente inteligente e dinâmico, focado essencialmente no utilizador. Deste modo, o espaço deve conter meios de diagnóstico e monitorização para salvaguardar o meio ambiente, uma estrutura de gestão de conhecimento que seja capaz de transferi-lo para todo o território, e ainda, um modelo inovador que assegure a sua sustentabilidade através do desenvolvimento de plataformas tecnológicas, aplicações e serviços para salvaguardar e promover a sua utilização, assegurando a satisfação das ofertas culturais (figura 2.10).

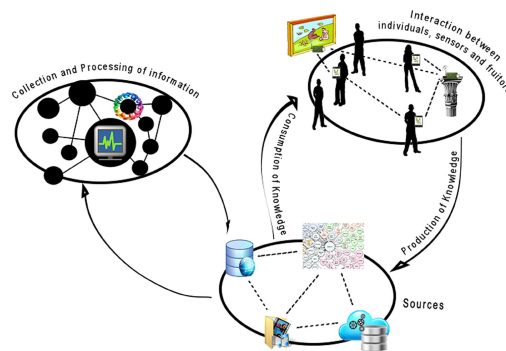


Figura 2.10: Sistema inteligente dentro do património cultural (Chianese, Piccialli e Valente, 2015)

Um dos pontos mais importantes num espaço inteligente é a gestão de conteúdo, uma vez que existe um elevado fluxo de informação derivado de um conjunto de dados produzidos e consumidos, como por exemplo, dados capturados através de sensores, dispositivos móveis e de opiniões de utilizadores e suas preferências, e ainda da entrega de informação geral e conteúdo multimédia que satisfazem o utilizador dentro de um espaço cultural. Através dos dados capturados e fornecidos é possível criar uma base de conhecimento capaz de sustentar todo o processo e atender também a necessidades como a preservação, segurança e promoção do local.

O sistema S<sup>3</sup> é constituído por quatro fases. A primeira fase consistiu na criação da base de conhecimento com dados diretos e indiretos devidamente estruturados de modo a facilitar a atualização, bem como o acesso. Inicialmente, foram utilizados dados recolhidos por entidades administrativas e em projetos Europeus que se encontram em

conformidade com o instituto ICCD do Ministério do Património Cultural. A base de conhecimento está disponível numa página web.

Na segunda fase, por parte do laboratório de pesquisa DATABANC, foi desenvolvida uma arquitetura smart cricket, composta por um conjunto de sensores inteligente e uma placa BeagleBone capaz de suportar todo o processo de geração, recolha e transmissão de conhecimento sobre o local de interesse bem como conversar e interagir com as pessoas em tempo real através de uma aplicação. Assim sendo, a arquitetura desenvolvida pode funcionar em três modalidades diferentes, configuração STAND-ALONE, SERVER e CLIENT, consoante o local em que se encontra inserida. Os locais exteriores, utilizam configuração STAND-ALONE responsável por armazenar todo o conteúdo multimédia relacionado com o item onde está colocado, criando uma área de cobertura Wi-Fi, o usuário através da aplicação liga-se à rede recebendo informação sobre o item. Para além das funcionalidades referidas, ainda é possível acrescentar um módulo GPS com o propósito de comunicar com a base de conhecimento, adicionando dados relevantes vindos do utilizador ou informações ambientais. Relativamente, à configuração SERVER e CLIENT são utilizados em locais interiores, complementando-se um ao outro. A configuração SERVER funciona de forma semelhante à configuração STAND - ALONE armazenando conteúdo e criando a cobertura uma Wi-Fi, por sua vez a configuração CLIENT é responsável pela interação com o utilizador e encontra-se junto a um item, a aplicação deteta o nó CLIENT através de Bluetooth, solicitando ao nó SERVER o conteúdo multimédia relacionado.

Na terceira fase foi desenvolvida a aplicação para o utilizador com o objetivo de transmitir conhecimento sob a forma de conteúdo multimédia. A aplicação atua de forma diferente conforme o local onde o utilizador se encontra. Caso se encontre no exterior, a aplicação permite mostrar a posição geográfica de smart crickets através da exibição de um mapa e caso se encontre perto de algum cricket, posição verificada através de um algoritmo de proximidade, mostra informação detalhada sobre o local em que se encontra. Já no interior, é possível aceder a informação detalhada sobre o local, como exposições, imagens ou descrições de itens e receber informação automática na proximidade com um cricket.

A última fase do sistema S<sup>3</sup> consistiu no desenvolvimento de um algoritmo de proximidade com o propósito de detetar a posição do utilizador. No espaço onde o utilizador se encontra podem existir vários itens instalados com crickets (figura 2.11) sendo que é necessário obter aquele que se encontra mais perto de forma a que o utilizador receba informação contextualizada, assim sendo, o algoritmo baseia-se na deteção de todas as redes que se encontram nas proximidades, tanto Wi-Fi como *Bluetooth*. Cada rede é caracterizada por um nome simbólico e uma janela de observação que contém três valores de RSSI<sup>10</sup>, correspondendo, um, ao instante atual e os outros dois a instantes anteriores consecutivos, para obter a rede que se irá ligar à aplicação realiza-se uma média ponderada

---

<sup>10</sup>Em telecomunicações, o indicador de intensidade de sinal recebido (RSSI) é uma medição da potência presente num sinal de rádio recebido.

normalizada para as três amostras RSSI, a que tiver o valor mais elevado corresponde à rede mais próxima.

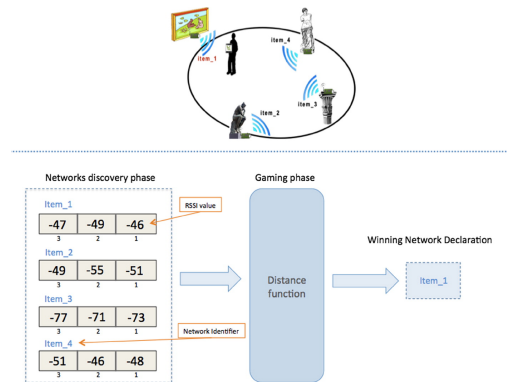


Figura 2.11: Exemplo de utilização do algoritmo de proximidade ( Chianese, Piccialli e Valente, 2015)

Através da realização de um inquérito, os utilizadores mostraram a sua satisfação pelo sistema S<sup>3</sup> tendo cumprido o objetivo de melhorar a experiência cultural dos utilizadores.

### 2.3.7 Comparação dos sistemas de monitorização

Na presente secção foram apresentados seis projetos de monitorização que recorrem a redes de sensores sem fios. Os projetos de monitorização são regidos sobre cinco princípios: conhecimento do espaço a monitorizar; recolha de parâmetros ambientais que mais influenciam a degradação do património; processamento dos dados recolhidos; armazenamento e visualização dos dados em diferentes formatos; podendo ainda gerar alertas em caso de anomalias. Quando comparados, o projeto WISE-MUSE e MSOS apresentam bastantes semelhanças, todavia o projeto MSOS destaca-se por utilizar uma solução de monitorização baseada em *software open source* que permite a reutilização dos recursos desenvolvidos em outras aplicações.

Um dos pontos a salientar é que todos os projetos oferecem uma interface com o utilizador ou através de uma página *Web* ou através de uma aplicação. Contudo, os utilizadores dos cinco primeiros projetos tratam-se de pessoas responsáveis pelo espaço, não permitindo que os visitantes tenham acesso aos dados monitorizados. No projeto MHS é necessário um nome de utilizador, bem como uma palavra passe para aceder à área reservada. O único que contém uma interface para os visitantes é o projeto S<sup>3</sup>, além de apresentar a temperatura ambiente e a humidade relativa do ar apresenta dados históricos sobre o espaço e em tempo real através de sensores inteligentes.

Os projetos referidos apresentam dispositivos diferentes para o sistema de monitorização, bem como para os protocolos de comunicação. Todavia todos se focam num sistema de baixo custo e de poupança de energia.

Na tabela 2.2 é realizada a análise das características dos diferentes sistemas. Em que, "✓" representa que o sistema possui determinada característica, e "X" a ausência da

característica.

Tabela 2.2: Análise dos sistemas de monitorização

Características/Projetos	Wise Muse	MSOS	IoT WSMP	MHS	SHBuildings	S <sup>3</sup>
Recolha/processamento/ armazenamento de parâmetros ambientais	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Interface gráfica para administradores	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Interface gráfica para visitantes	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Controlo de fluxo de visitantes com câmara	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Analisando os objetivos da dissertação, nenhum dos projetos referidos anteriormente contém um sistema único capaz de controlar parâmetros ambientais, medir o fluxo de visitantes e ao mesmo tempo proporcionar uma experiência iterativa ao utilizador do espaço. É de salientar que um dos principais objetivos da dissertação é desenvolver um sistema único capaz de medir o fluxo de visitantes num local através de uma câmara recorrendo ao processamento de imagem.

## 2.4 Controlo do fluxo de visitantes

Segundo a Direção Geral do Património Cultural (DGPC) o número de visitantes a monumentos, museus e palácios tem vindo a aumentar, significativamente, nos últimos anos. Em 2015, foram contabilizados 4.055.968 visitantes ao património cultural português, um aumento de 34,4% face ao ano anterior, tornando assim, o controlo do fluxo de visitantes uma tarefa bastante importante. Através desta medida é possível oferecer não só uma maior segurança aos visitantes, como também preservar melhor o espaço em questão.

Inicialmente, as câmaras de vigilância eram vistas como sistemas que gravavam uma sequência de imagem (vídeo). Hoje em dia, são consideradas sistemas inteligentes capazes de fornecer informação em tempo real de um local através da recolha contínua de dados e o seu devido processamento, a fim de estimar e contabilizar o número de pessoas num determinado espaço, bem como o seu comportamento.

O processo de estimativa do fluxo de pessoas passa por várias etapas, sendo o processamento dos dados recolhidos uma das mais importantes. Um vídeo não é mais que um conjunto de *frames*, o que possibilita a utilização de técnicas de processamento de imagem para analisar os dados recolhidos. Um dos métodos mais utilizados para deteção de movimento num fundo estático é o método de subtração de fundo. Este método consiste em subtrair a imagem atual a uma imagem de referência que foi adquirida e modelada a partir de um fundo estático durante um período de tempo. O método em questão não tem um algoritmo genérico, uma vez que depende de condições específicas, o algoritmo desenvolvido deve ter em conta as necessidades do objetivo. A iluminação, as sombras, as

oscilações provocadas nas câmaras, bem como as multidões num determinado espaço são fatores que podem influenciar o desempenho do método através de falsas deteções.

Ao longo dos anos têm sido desenvolvidos vários algoritmos para o método de subtração de fundo baseados em duas técnicas: pixel e região, dependendo da forma como a imagem de referência (fundo) está a ser adquirida. Segundo (Stauffer e Grimson, 1999), os algoritmos de subtração de fundo que utilizam a técnica baseada em regiões não são tão adequados a um cenário de fundo não estacionário como os algoritmos de subtração de fundo baseados na técnica de pixel, além disso a técnica de pixel fornece uma deteção precisa dos objetos em movimento.

De seguida serão apresentados dois projetos em que o principal objetivo é estimar o número de pessoas num espaço fechado através da utilização de uma câmara de vigilância.

### 2.4.1 Estimava do número de pessoas em edifícios utilizando informações visuais

Em (Challa, Aboura, Ravikanth e Deshpande, 2007) é apresentada uma solução baseada em métodos probabilísticos para estimar o número de pessoas em tempo real num local fechado através de informações visuais.

A primeira etapa consistiu no processamento dos dados extraídos a partir da câmara de vídeo, para isso foi utilizado o método de subtração de fundo. Como referido anteriormente, existem várias maneiras de realizar a segmentação entre o fundo e o objeto em movimento, no projeto em questão, foi adotado o procedimento descrito (Stauffer e Grimson, 1999) que consiste num algoritmo de aprendizagem baseado em *Gaussian mixture model*<sup>11</sup>. Normalmente, os algoritmos utilizados modelam todos os píxeis com a mesma distribuição, contudo neste caso, cada pixel tem uma mistura de valores Gaussianos e com base na persistência e variância da mistura é possível determinar quais os Gaussianos que pertencem às cores de fundo. Os valores de pixel que não se encaixam nas distribuições de fundo são considerados primeiro plano.

Na segunda etapa foi desenvolvido um algoritmo de acoplamento onde foi colocada uma caixa retangular na zona segmentada, *cluster*. O tamanho de *cluster* varia consoante a posição onde se encontra, bem como o número de pessoas que contém. Assim, para o mesmo número de pessoas num *cluster*, a largura deste será tanto menor quando mais afastado estiver da câmara. Assim foi necessário realizar um conjunto de testes para saber o tamanho de um *cluster* para uma pessoa numa determinada posição.

Para além dos testes realizados anteriormente, foram também recolhidos dados sobre o número de pessoas que estavam no local a monitorizar, elaborando uma base de conhecimento que tinha em conta hora, dia e altura do ano. Assim, a terceira fase, consistiu no desenvolvimento de uma função probabilística que utiliza o conjunto de testes, bem como

---

<sup>11</sup>Modelo probabilístico que assume que todos os pontos de dados são gerados a partir de uma mistura de um número finito de distribuições gaussianas com parâmetros desconhecidos

a informação recolhida no próprio momento permitindo estimar o número de pessoas no local e ao mesmo tempo lidar com os problemas de oclusão.

De forma a melhorar a gestão do espaço, a última etapa consistiu em determinar quando é que uma pessoa chega ao local e quanto tempo permanece no mesmo. Para isso, é necessário saber se uma pessoa já se encontra no local ou se acabou de chegar naquele preciso momento. Assim, a solução encontrada para o processo de chegada ao longo do dia é o *nonhomogeneous Poisson process* (NHPP) em que a distribuição não é constante e varia com o tempo. Através de um método, também ele probabilístico, foi possível estimar o tempo gasto por uma pessoa num determinado local, uma vez que para ter o tempo exato seria necessário seguir a pessoa durante todo o processo.

Um dos pontos a ter em consideração é que o sistema desenvolvido utiliza mais do que uma câmara em cada espaço, de forma a lidar com as entradas e saídas que por vezes não estão no campo de visão de uma única câmara, bem como com a profundidade.

#### **2.4.2 Estimativa do número de pessoas através de *Markov random field***

Em (Guo, Wu, Tian Cao, Yu e Xu, 2010) é proposto um sistema de vigilância inteligente baseado em *Markov random field* para estimar a densidade de multidão num espaço público. O sistema é composto por duas etapas em que a primeira consiste no pré-processamento de informação extraída do vídeo original, como o fluxo ótico, deteção do primeiro plano e deteção de limites a partir da imagem segmentada. Na segunda etapa é realizada a estimativa do número de pessoas utilizando o *Markov random field*.

Na etapa de processamento são extraídas três características do vídeo original, uma delas é o fluxo ótico que é produzido pelo movimento relativo entre o observador (câmara) e o local. No projeto em questão, foi utilizado o algoritmo de Lucas-Kanade para determinar o fluxo ótico. Uma das desvantagens do fluxo ótico é ser sensível ao ruído assim, para minimizar este fator, foi detetado o primeiro plano através do método de subtração de fundo. O algoritmo utilizado é um algoritmo de aprendizagem baseado no modelo de Guass, desta forma o fluxo ótico apenas é detetado em elementos que estejam presentes na imagem segmentada (primeiro plano). Posteriormente, foi utilizado o algoritmo de Canny para detetar os limites da imagem segmentada, o algoritmo consiste em identificar pontos numa imagem digital na qual o brilho da imagem muda de forma acentuada.

Para que os dados estimados fossem os melhores, foi realizada uma normalização com base na posição do objeto face à câmara e de seguida um processo de filtragem para diminuir o ruído das características extraídas. Através das propriedades do *Markov random field*, em que os estados futuros não dependem dos estados anteriores e o armazenamento de um conjunto de variáveis aleatórias possibilita o estudo da evolução do sistema, foi possível calcular o peso de cada ponto das características, ou seja, o cálculo do número de pessoas num grupo. O algoritmo para agrupar pessoas encontra-se referido em (Jinnian Guo et al., 2009) e é composto por três processos:

1. Com base na direção do fluxo de pessoas e da sua posição, define-se um conjunto de pessoas original.
2. Filtrar as pessoas que são inconsistentes com a direção de fluxo de pessoas.
3. Filtrar as pessoas na direção de fluxo que se encontram afastadas do conjunto de pessoas original.

O método proposto apresenta bons resultados quando o local contém um fluxo reduzido de pessoas.

Os sistemas de monitorização de edifícios estudados podem ser divididos em sistemas onde é utilizada a tecnologia Beacon e onde não é, destacando deste modo o projeto S<sup>3</sup> por se aproximar bastante ao que se pretende desenvolver. Relativamente ao objetivo de medir o fluxo de visitantes num local, foram estudados dois projetos que recolhem informação através de uma câmara e fazem o processamento de dados da imagem. Em ambos os casos é utilizado o método de subtração de fundo e são apresentados alguns resultados com falhas em ambientes com elevado fluxo de visitantes.



## TECNOLOGIAS DE SUPORTE

Ao longo do presente capítulo são apresentados conceitos fundamentais para a compreensão das metodologias e tecnologias utilizadas no desenvolvimento do Sistema de Monitorização Multissensor.

### 3.1 Algoritmo de deteção de pessoas

Um dos algoritmos mais populares e bem-sucedidos para a deteção de pessoas através de processamento de imagem é o *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) com abordagem *Support Vector Machine* (SVM) (Dalal e Triggs, 2005).

O HOG trata-se de um descritor de recursos capaz de generalizar um objeto pela sua forma através da distribuição de gradientes de intensidade local ou através da direção dos contornos. Por outras palavras, um descritor de recursos simplifica uma imagem extraindo informação útil e elimina informação estranha o que torna o processo de classificação de um objeto mais fácil.

Para conseguir classificar um objeto presente numa imagem através do descritor de recursos HOG é necessário realizar um conjunto de operações que se encontram representadas na figura 3.1.

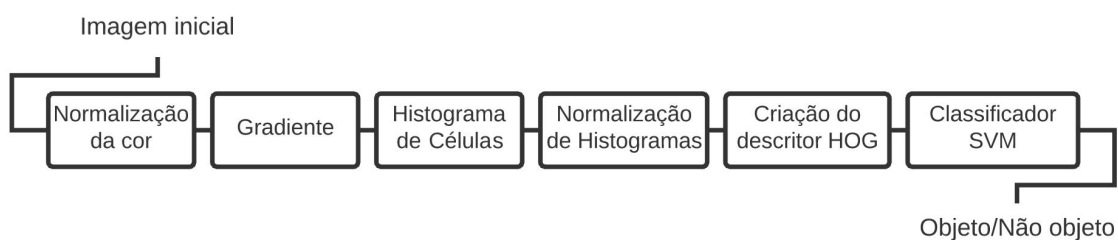
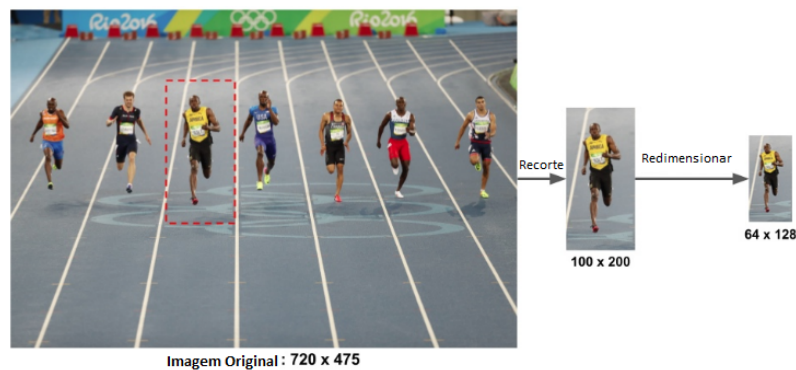
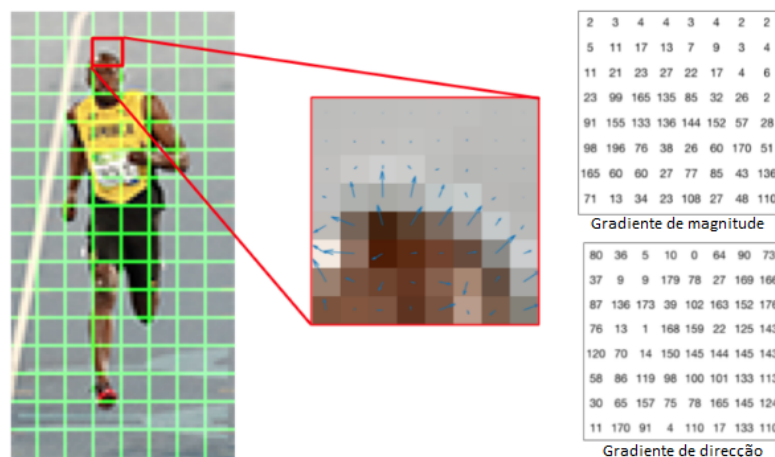


Figura 3.1: Etapas para a deteção objeto/pessoas através da utilização do método HOG

De forma a aumentar a eficiência do algoritmo na procura do objeto, o primeiro passo consiste em normalizar a gama e as cores da imagem. De seguida, como o descritor de recursos HOG utiliza uma janela deslizante na procura do objeto sobre a imagem, e visto que a janela deve ter um tamanho reduzido (64x128 pixels, por exemplo) é necessário redimensionar a imagem original. A imagem resultante é então dividida em células, que podem vir a sobrepor-se na imagem, com um tamanho fixo (8x8, 16x16 ou 32x32) e para cada pixel da célula é calculado um vetor gradiente que contém características para criar o descritor. Cada vetor gradiente tem uma componente horizontal e vertical que permite calcular a sua norma e direção, com a informação recolhida é construído um histograma da célula (vetor de 9 posições), quanto mais forte for o valor do gradiente calculado maior será o seu impacto. O processo repete-se para todas as células que pertencem à imagem e posteriormente é realizada uma normalização ao histograma de cada célula de forma atenuar as mudanças de iluminação. Com base na informação recolhida é criado um descritor de recursos HOG constituído pelos histogramas individuais das células (figura 3.2).



(a) Redimensionamento da imagem

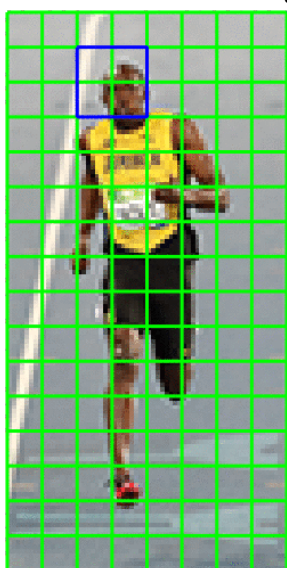


(b) Gradiente

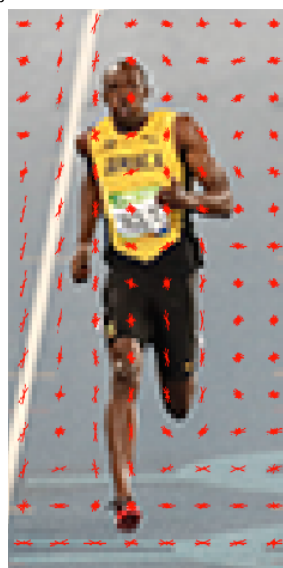
Figura 3.2: Sequência de acontecimentos do Algoritmo HOG<sup>12</sup>

<sup>4</sup><http://www.learnopencv.com/histogram-of-oriented-gradients/>

Figura 3.2: Continuação



(c) Célula Histograma e Normalização



(d) Descritor HOG

Por último é utilizado um algoritmo de aprendizagem, neste caso o SVM, para classificar o objeto que o descritor de recursos construiu. O algoritmo é constituído por um conjunto de amostras positivas (objeto que se pretende detetar) e por amostras negativas (imagens que não contêm o objeto) que ao passar por um período de treino consegue distinguir a informação e formar dois grupos, assim quando recebe o vetor de características HOG classifica-se de imediato o objeto.

## 3.2 Bibliotecas

Considera-se biblioteca uma coleção de subprogramas que são utilizados para o desenvolvimento de *software*. Normalmente, as bibliotecas não são executáveis, mas podem ser alteradas de forma a criar novos módulos de desenvolvimento. Na presente secção apresentam-se as bibliotecas OpenCV e Adafruit.

### 3.2.1 OpenCV

OpenCV é uma biblioteca *open source* para o desenvolvimento de aplicações na área de Visão Computacional. Começou a ser desenvolvida pela Intel em 1999, suporta diferentes sistemas operativos como o Android, Windows, Linux e Mac Os e possui interfaces para C++, C, Python, Java e Matlab. A biblioteca é constituída por mais de 2500 algoritmos otimizados que permitem detetar e reconhecer rostos, classificar ações humanas em vídeo, rastrear movimentos a partir de uma câmara, entre outros.

Na linguagem de programação Python a inclusão da biblioteca OpenCV é realizada através do comando `import cv2`.

### 3.2.2 Adafruit

Adafruit é uma biblioteca que contém uma extensa coleção de código para diversos módulos como displays, sensores e controladores *Pulse With Modulation* (PWM). Inclui tanto bibliotecas desenvolvidas em Python como em C, o que facilita a interação entre os componentes eletrônicos e as placas Raspberry Pi e Arduino, respetivamente.

## 3.3 Linguagens de Programação

Uma linguagem de programação é um conjunto de regras sintáticas e semânticas usadas para construir um programa de computador, por outras palavras é um método padronizado que expressa um conjunto de instruções para um computador. Se não existissem linguagens de programação, os programas só poderiam ser desenvolvidos em sequências numéricas o que tornaria a tarefa do programador mais árdua.

Existem linguagens de programação de alto nível, baixo nível, compiladas e interpretadas. Sendo que numa linguagem de alto nível, o programador não necessita de conhecer características do processador (registos e instruções), existe um nível de abstração que se aproxima da linguagem humana. Uma linguagem de baixo nível está diretamente relacionada com a arquitetura de um computador, uma vez que é necessário conhecer o seu processador. As linguagens de programação compiladas necessitam de um compilador e são transformadas para um segundo código compreensível para o processador. Por último, as linguagens interpretadas são executadas por outro programa de computador (interpretador) que em seguida é executado pelo processador. PHP, Assembly, C e Python são exemplos de linguagens de alto nível, baixo nível, compiladas e interpretadas, respetivamente.

### 3.3.1 Python

A linguagem de programação Python surgiu no final da década de 1980 e trata-se de uma linguagem de programação orientada a objetos de alto nível. Distingue-se das outras linguagens pela sua legibilidade na sintaxe o que a torna numa linguagem não só de fácil compreensão como também de fácil aprendizagem. Em Python, o código executável pode estar contido em diferentes classes e funções, o que permite a formação de novos módulos que podem vir a ser reutilizados posteriormente em outros programas. As funções desenvolvidas podem ter parâmetros de entrada e de saída de forma a comunicar com outras funções e utilizam comandos pré-definidos como: *if/elif/else*, *do/while*, *true/false*, *and/or*, entre outros. Também têm a possibilidade de utilizar listas, dicionário e vetores para armazenamento de informação, contudo para isso, é necessário incluir as bibliotecas respetivas que a própria linguagem disponibiliza.

As possibilidades de programação vão desde o processamento de texto até à exibição

de números ou imagens, passando pela resolução de equações científicas e armazenamento de dados. A linguagem é utilizada normalmente para o desenvolvimento de páginas *Web* e aplicações, sendo os motores de pesquisa da Google e do Youtube exemplos da utilizam da linguagem Python.

### 3.3.2 MySQL

MySQL é um gestor de base de dados relacional e *open-source* de alta velocidade, compatível com os sistemas operativos Linux, MacOS e *Windows*. Este permite o armazenamento de dados, variáveis e respetivos valores, de forma estruturada através da utilização de diferentes tabelas.

As principais funcionalidades do MySQL incluem a inserção, pesquisa, modificação, atualização e remoção de dados através de um conjunto de instruções pré-definidas como: SELECT, UPDATE e REMOVE. Caso se pretenda restringir a pesquisa de uma determinada variável na base de dados é necessário a utilização de operadores matemáticos. Para além das funcionalidades já referidas é também possível relacionar dados de diferentes tabelas que contenham campos em comum, as relações podem ser de um para um, de um para muitos, necessárias ou opcionais. As diferentes tabelas bem como as relações existente entre estas podem observar-se num Diagramada de entidades e relações.

Na figura 3.4 é possível observar duas instruções em SQL, em que a primeira apresenta os 10 primeiros valores com o parâmetro Pessoas inferior a 5 na tabela sala(2017-06-22) e a segunda corresponde à inserção de novos valores nos parâmetros que constituem a tabela sala(2017-06-22).

```
SELECT * from `sala(2017-06-22)` WHERE `Pessoas` < 5 LIMIT 10

INSERT INTO `sala(2017-06-22)` (`Id`, `Tempo`, `Pessoas`, `Variacao`, `sala`)
VALUES (NULL, '2017-06-22 17:05:25', '5', '-1', '1')
```

Figura 3.4: Exemplo de código SQL

### 3.3.3 PHP

PHP é o acrónimo para *Hypertext Preprocessor*, em português Pré-processador de Hipertexto, trata-se de uma linguagem *script open source* utilizada para o desenvolvimento *Web* que pode estar inserida em código HTML e distingue-se pela utilização dos seguintes delimitadores "`<< PHP`" e "`?>`". Ao ser integrado com HTML permite que uma página *Web* tenha tanto código estático, como código executável.

Uma das vantagens da utilização do PHP é o facto do código ser executado no lado do servidor salvaguardando o código fonte, o navegador apenas recebe o resultado do código já processado.

O código PHP permite o desenvolvimento de várias aplicações como páginas *Web* dinâmicas e interativas de *login*, formulários, galerias de fotos entre outros.

### 3.4 WAMP

WAMP é o acrónimo para *Windows, Apache, MySQL e PHP/Python/PERL*, trata-se de um conjunto de aplicações de código aberto combinados com o sistema operativo *Windows* para o desenvolvimento de um servidor *Web*. Deste modo, o WAMP pode ser visto como uma pilha que contém quatro elementos fundamentais para o desenvolvimento do servidor *Web*.

No *Windows* é possível configurar as funcionalidades "AMP" através da instalação de um pacote denominado "WampServer".

Caso o sistema operativo seja diferente do referido anteriormente, existe também uma versão para Linux (LAMP) e para MacOS (MAMP).

### 3.5 Protocolos de comunicação *Wireless*

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia sem fios, surgiram diferentes protocolos de comunicação com o intuito de facilitar e aumentar as taxas de transferência de dados. Na presente secção serão abordados o protocolo de comunicação *Wi-Fi*, redes celulares e *Bluetooth*.

#### 3.5.1 *Wi-Fi*

*Wi-Fi* trata-se de uma tecnologia para as redes locais sem fios (WLAN) baseadas na norma do IEEE 802.11. Numa rede *Wi-Fi* todos os dispositivos estão associados a um ponto de acesso (figura 3.5), capaz de realizar a gestão de todos os dispositivos em rede e respetivo acesso à Internet através de um cabo Ethernet. A tecnologia é utilizada entre as frequências de 2,4 GHz e 5 GHz e tem um alcance de 20 metros para interior, podendo variar caso encontre algum obstáculo. Uma das vantagens que apresenta é o facto de operar em frequências que não necessitam de licença, cada entidade do país vendedor do dispositivo possui equipamento homologado que segue um conjunto de regras internacionais. Por outro lado, o elevado número de pontos de acesso, causa alguns problemas no nível de interferências através da sobreposição das redes e da utilização das mesmas frequências para as comunicações de *Bluetooth* e *ZigBee*. Porém as condições adversas referidas são facilmente colmatadas através da rápida transmissão de dados que reenvia a informação em caso de falha.

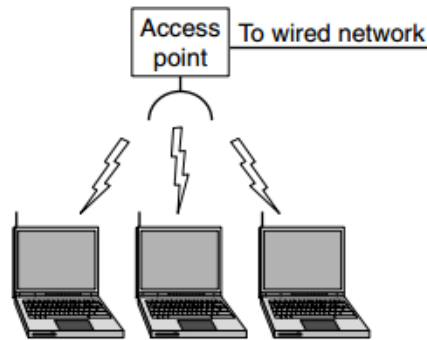


Figura 3.5: Rede Wireless com um ponto de acesso (Tanenbaum, 1996)

### 3.5.2 Redes celulares

As redes celulares tratam-se de um meio de comunicação bastante utilizado hoje em dia para o acesso à Internet. A transmissão de dados começou nas redes de segunda geração (2G) através do protocolo *General Packet Radio Service* (GPRS) que torna o terminal num ponto de rede: cada terminal passa a ser identificado por um endereço de *Internet Protocol* (IP), possibilitando a comunicação com redes IP (como por exemplo, Internet). Os terminais necessitam de iniciar uma sessão GPRS antes de iniciar a transmissão de dados. Deste modo, o GPRS implementa não só codificações eficientes e agregação de canais que permitem atingir ritmos de transmissão razoáveis, na ordem dos 170 Kbps, como também a comutação de pacotes permitindo uma taxação mais justa através do número de pacotes e não do tempo de ligação. Também introduz a possibilidade dos utilizadores originarem ou receberem mensagens com diversos formatos de media, *Multimedia Message Service* (MMS).

Com o intuito de satisfazer a crescente necessidade de maior capacidade e de ritmos de transmissão o 3G sucedeu às redes de segunda geração, tornando-se o suporte para maior diversidade de aplicações para terminais móveis. Possibilita o transporte de dados com *Quality of Service* (QoS) em modo de comutação de pacotes, disponibiliza ritmos de transmissão de dados em ambientes interiores ou em movimentos pedestres até 2 Mbit/s e encontra-se alocado no espectro de frequências nos 5 MHz. Na Europa, *Wide-Band Code-Division Multiple Access* (WDMCA) é a tecnologia utilizada pelo 3G.

Neste momento, estamos perante a quarta geração (4G) das redes celulares que são uma evolução das redes de terceira geração na aplicação de dados (*System Architecture Evolution* (SAE)): todos os fluxos de comunicação são baseados em comutação de pacotes (voz e dados) de modo a permitir a convergência de arquiteturas de rede, além de as tornar mais simples. Apresenta melhorias das capacidades da interface de rádio (*Long Term Evolution* (LTE)): melhoria no débito da interface de rádio de forma a garantir a qualidade de serviço nos serviços já existentes e a novos serviços. As operações de alocação no espectro são 1,25 MHz e 20 MHz para *downlink* e *uplink* com o objetivo de permitir o projeto e operação da rede de acordo com o tráfego esperado e requisitos de

serviço.

### 3.5.3 *Bluetooth*

O *Bluetooth* foi uma das primeiras tecnologias de baixo consumo de energia desenvolvidas para a troca de dados sem fios, a curtas distâncias, entre dispositivos (telemóveis, computadores, impressoras, entre outros). Todavia com o avanço tecnológico passaram a existir dois tipos de tecnologia *Bluetooth*, *Basic Rate Enhanced/Data Rate* (BR/EDR) e *Low energy* (LE).

A tecnologia *Bluetooth* BR/EDR utiliza ondas rádio UHF, a uma frequência que se encontra entre 2400-2483,5 MHz e permite a ligação entre vários dispositivos, até um máximo de sete. Os dados que se pretendem transmitir são enviados em pacotes e cada pacote é transmitido num dos 80 canais *Bluetooth* disponíveis, com uma largura de banda de 1 MHz, alternando a seleção de cada canal cerca de 800 vezes por segundo, utilizando a tecnologia *Adaptive Frequency-Hopping* (AFH). Assim sendo, o *Bluetooth* BR/EDR permite conexões sem fios contínuas e utiliza uma topologia de rede *point-to-point* (P2P) para estabelecer a comunicação entre dispositivos de um para um. Os altifalantes sem fios, o sistema de mãos livres dos carros e os fones do ouvido sem fios são alguns dos dispositivos que utilizam *Bluetooth* BR/EDR.

A tecnologia *Bluetooth* LE, também conhecida como *Bluetooth smart* surgiu na versão *Bluetooth 4.0* e utiliza canais com uma largura de banda de 2 MHz, o que significa que existem 40 canais *Bluetooth* disponíveis para a transmissão de dados. Uma das principais diferenças para *Bluetooth* BR/EDR é que os dados são transmitidos periodicamente, o que influencia o consumo de energia do dispositivo. O consumo do *Bluetooth* LE é cerca de 10 % mais baixo do que o do *Bluetooth* BR/EDR. Outro ponto favorável é que pode utilizar múltiplas topologias de rede como *point-to-point* (P2P), *Broadcast* e *Mesh*. As redes *Broadcast* estabelecem a comunicação de um dispositivo para muitos, sendo ideais para a tecnologia *Beacon*. Por sua vez, as redes *Mesh* estabelecem uma comunicação de muitos dispositivos para muitos e são ideais para a automação de edifícios e rede de sensores. A tecnologia *Bluetooth* LE está em constante desenvolvimento e tem vindo a ser aperfeiçoada de modo a estar mais recetiva a dispositivos móveis que se enquadram na IoT.

## 3.6 Aplicação móvel

Uma aplicação móvel (app) consiste num *software* desenvolvido para ser instalado em dispositivos eletrónicos móveis, como telemóveis e tablets que disponham de ecrã táctil. Pode ser desenvolvida em diferentes sistemas operativos, dos quais se destacam o Android e iOS e é utilizada como meio de comunicação ou de diversão.

Tendo em consideração que existem cerca de 86 % de utilizadores do sistema operativo Android, na presente secção serão apresentadas algumas maneiras de desenvolver uma aplicação móvel para Android.

O sistema operativo Android trata-se de um sistema operativo para telemóveis desenvolvido pela Google que utiliza Linux na sua base, contém um conjunto de bibliotecas, API's e algum software escrito em C e ainda algumas traduções de bibliotecas para Java que torna possível a execução das aplicações. As aplicações são normalmente desenvolvidas num software de desenvolvimento (SDK) que inclui ferramentas de desenvolvimento, bibliotecas, detetor de erros, compilador e um emulador que permite a simulação de um telemóvel num computador. As principais ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de aplicações são o Eclipse, o Android Studio e o MIT App Inventor. Até ao ano de 2014, o Eclipse era o ambiente de desenvolvimento oficial e necessitava da instalação de um pacote adicional para que fosse possível o desenvolvimento de código para Android. No final do ano de 2014, foi lançado o Android Studio pela Google, que se tornou no principal ambiente de desenvolvimento para aplicações Android uma vez que contém todas as opções existentes no Universo Android. Em alternativa aos sistemas de desenvolvimento apresentados, existem o MIT App Inventor que permite o desenvolvimento de aplicações sem que seja escrito código, a programação é feita através de módulos que se ligam entre si e corre num *browser web*.

Para que seja possível executar uma aplicação num telemóvel é necessário instalar o ficheiro APK da aplicação, este pode ser obtido para o sistema operativo Android através da "GooglePlay" ou através da ligação do USB do telemóvel ao computador.

### 3.7 Beacon

Um beacon é um dispositivo simples, de tamanho reduzido, que transmite repetidamente um sinal de rádio através da tecnologia Bluetooth *Low Energy (BLE)* e pode ser detetado por dispositivos equipados com *Bluetooth*, como telemóveis e tablets, através de uma aplicação previamente instalada. O sinal pode ser enviado em intervalos de 0,1 segundos e é constituído por um identificador único, gerado aleatoriamente, que combina números e letras. Assim, ao ser detetado por um dispositivo, um Beacon pode originar dois tipos de ações:

- Passiva: Armazena localmente ou numa base de dados que existiu conexão entre o Beacon e o dispositivo móvel.
- Ativa: Inicia uma atividade na aplicação, como por exemplo um conjunto de notificações, que permitem com que o utilizador receba informação contextualizada sobre o local onde se encontra.

O dispositivo beacon foi desenvolvido para atuar maioritariamente numa ação ativa e é utilizado em diferentes contextos dependendo do local em que se encontra inserido, dos quais se destacam os hospitais, escritórios, aeroportos, escolas, retalho e ainda locais de cultura. O rastreamento, a navegação, a interação, a segurança e análise são algumas

das funcionalidades que um beacon permite realizar. Na figura 3.6 encontra-se ilustrada a utilização da tecnologia beacon num museu.

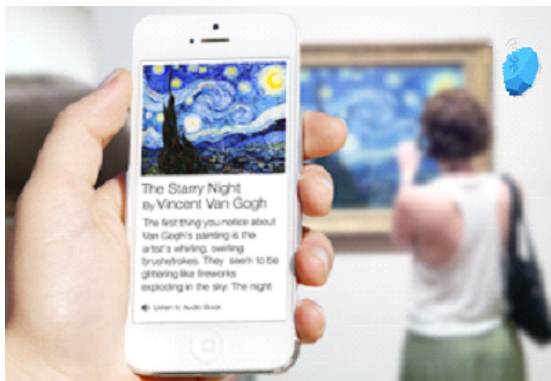


Figura 3.6: Ilustração da utilização da tecnologia beacon<sup>13</sup>

A tecnologia beacon foi introduzida através do iBeacon desenvolvido pela Apple que durante dois anos não teve qualquer tipo de concorrência no mercado. Todavia, em 2015, a Google lançou o Eddystone como alternativa ao sistema apresentado pela Apple. O iBeacon tem a particularidade de conseguir ativar eventos tanto para o sistema operativo iOS como para o Android e envia um sinal constituído por três informações principais, sendo elas: *Unique Universal Identifier* (UUID) constituído por uma sequência de 16 bytes, Major (2 bytes) e Minor (2 bytes). Na figura 3.7 encontra-se ilustrado o formato do sinal transmitido por um iBeacon.

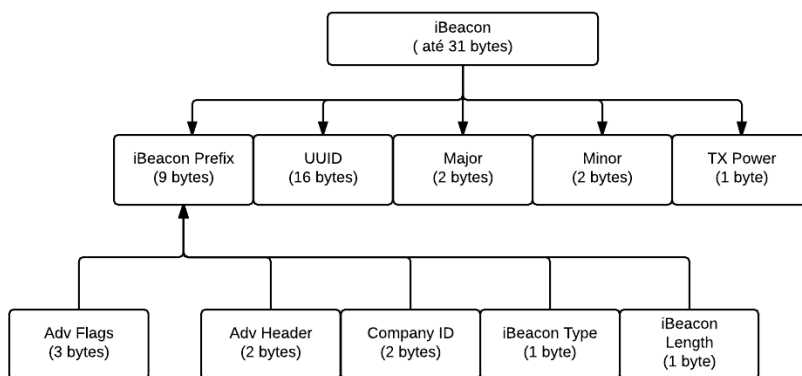


Figura 3.7: Formato do sinal transmitido pelo iBeacon

O UUID contém a informação geral sobre o beacon, isto é, identifica que o beacon pertence a um determinado local (edifício, museu, entre outros). O Major, por sua vez contém informação espacial de onde se encontra o beacon, tomando um edifício como exemplo, identifica a sala do edifício onde o beacon se encontra. Por último, o Minor é responsável por dar uma informação mais detalhada, apresentando o local exato onde o beacon se encontra instalado dentro de uma sala. Na figura 3.8 encontra-se ilustrada

<sup>8</sup><https://itechcraft.com/wp-content/uploads/2014/07/game-changing-beacons-museum1.png>

a relação entre os valores UUID, Major e Minor, em que a primeira camada, representada a verde, corresponde ao valor UUID, a segunda camada, representada a amarelo, corresponde ao Major e a última camada, representada a azul, corresponde ao Minor.

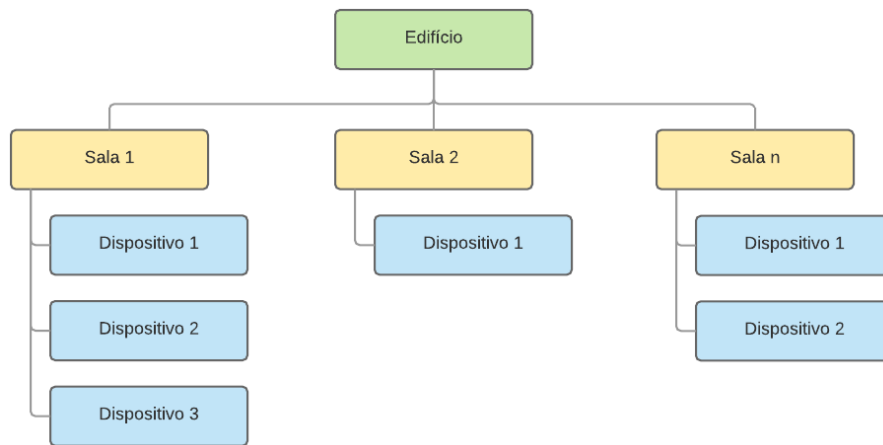


Figura 3.8: Relação entre os valores de UUID, Major e Minor

O Eddystone apesar de semelhante ao iBeacon foi criado apenas para utilizadores de Android e apresenta algumas funcionalidades extra. Enquanto que o iBeacon tem apenas um protocolo de comunicação para o envio do sinal, o Eddystone tem quatro podendo variar a forma como a informação é dada ao utilizador, nos iBeacon essa informação é dada através de uma aplicação móvel, enquanto que nos Eddystone a informação pode ser dada via *Internet*. Eddystone-UID, Eddystone-URL, Eddystone-TLM e Eddystone-EID são os quatro protocolos de comunicação do Eddystone, em que o primeiro apresenta um funcionamento semelhante ao iBeacon, contém um ID ("Instance") e um "Namespace" porém para beacons diferentes o UID tem que ser diferente, o que não acontece iBeacon no UUID. O segundo transmite um URL que pode ser visualizado por qualquer pessoa com um telemóvel com *Bluetooth*, o terceiro Eddystone-TLM transmite alguns dados de telemetria sobre sensores e o estado do próprio beacon. Por último, o Eddystone-EID transmite um identificador que muda de minuto a minuto e é utilizado para impedir que certas entidades usem aquele beacon.

Independentemente do tipo de beacon utilizado (iBeacon ou Eddystone) é importante realçar que nunca existe um emparelhamento com o dispositivo eletrónico móvel, garantindo assim a segurança e privacidade dos utilizadores.



## TRABALHO DESENVOLVIDO

No presente capítulo pretende-se apresentar a solução desenvolvida para um Sistema de Monitorização de Edifícios Históricos. Inicialmente, é descrito o modelo funcional, de seguida é apresentada a arquitetura desenvolvida, bem como o equipamento a utilizar e por último a implementação do Sistema de Monitorização.

A solução proposta baseia-se na integração de um Dispositivo Multissensor, capaz de adquirir informação ambiental e medir o número de pessoas no local a monitorizar, com uma plataforma móvel para o administrador e para o visitante.

Na figura 4.1 encontra-se representado o modelo de principio do Sistema de Monitorização.

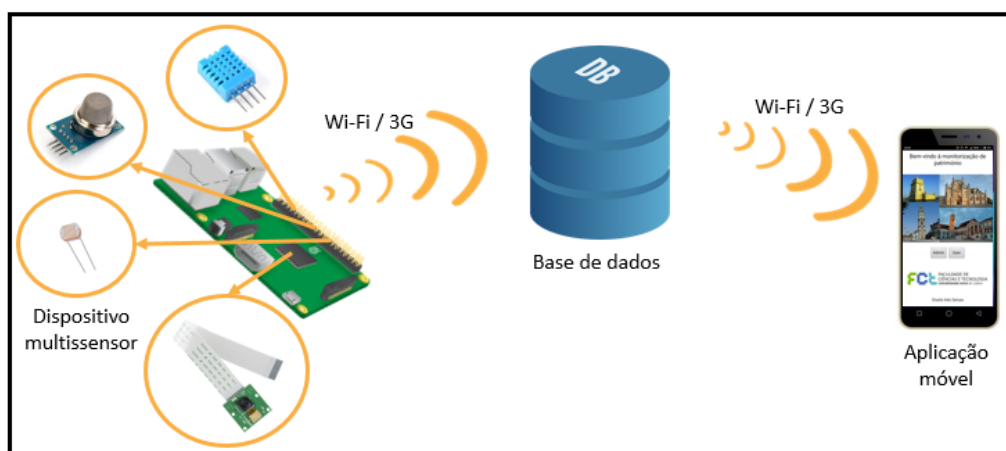


Figura 4.1: Modelo de princípio do Sistema de Monitorização Multissensor

## 4.1 Modelo Funcional

O sistema de monitorização desenvolvido é capaz de fornecer diversas informações relativas ao funcionamento de um Edifício Histórico através de uma aplicação desenvolvida para telemóvel, denominada Monitorização Inteligente do Património. Os administradores, bem como os visitantes têm a possibilidade de consultar informação em tempo real e histórica sobre uma determinada sala do edifício monitorizado. Dispõe de informação ambiental, como temperatura, humidade relativa, luminosidade e quantidade de  $CO_2$  presente no local, bem como de informação sobre o número de pessoas que entraram, saíram e permaneceram no local onde se encontra a câmara, podendo optar por visitá-lo ou não, naquele momento.

O utilizador tem também a possibilidade de averiguar, através de gráficos, como é que os parâmetros ambientais variaram ao longo do dia ou de determinado dia, podendo escolher o período de análise e o valor de monitorização. Através da aplicação desenvolvida, os visitantes têm ainda a oportunidade de receber informação contextualizada tendo em conta o local e a posição em que se encontram, que deve ser a mais próximo possível do Dispositivo Multissensor. Um dos requisitos obrigatórios para desfrutar desta funcionalidade é a ligação do *Bluetooth* do telemóvel.

É de realçar que tanto o Dispositivo Multissensor desenvolvido, bem como o dispositivo eletrónico dos visitantes, necessitam de estar ligados à *Internet* para que seja possível enviar a informação recolhida por parte dos sensores e da câmara e recebê-la na aplicação instantaneamente. Contudo, uma das particularidades do sistema de monitorização em caso de falha de ligação à *Internet* é que permite armazenar os valores ambientais recolhidos num ficheiro, não comprometendo assim as estatísticas do edifício.

De um modo geral, o sistema de monitorização desenvolvido permite conhecer fatores determinantes para a sustentabilidade de um Edifício Histórico, e concede alguma inteligência ao local através da disponibilização de informação contextualizada e da medição do fluxo de visitante.

## 4.2 Modelo Arquitetural

Na presente secção, é apresentada a arquitetura do Sistema Multissensor. Esta encontra-se dividida em três camadas: Monitorização, Entidade e Interface, e contém diversos módulos.

Na figura 4.2 é possível verificar as diferentes camadas da arquitetura e a forma como os módulos interagem.

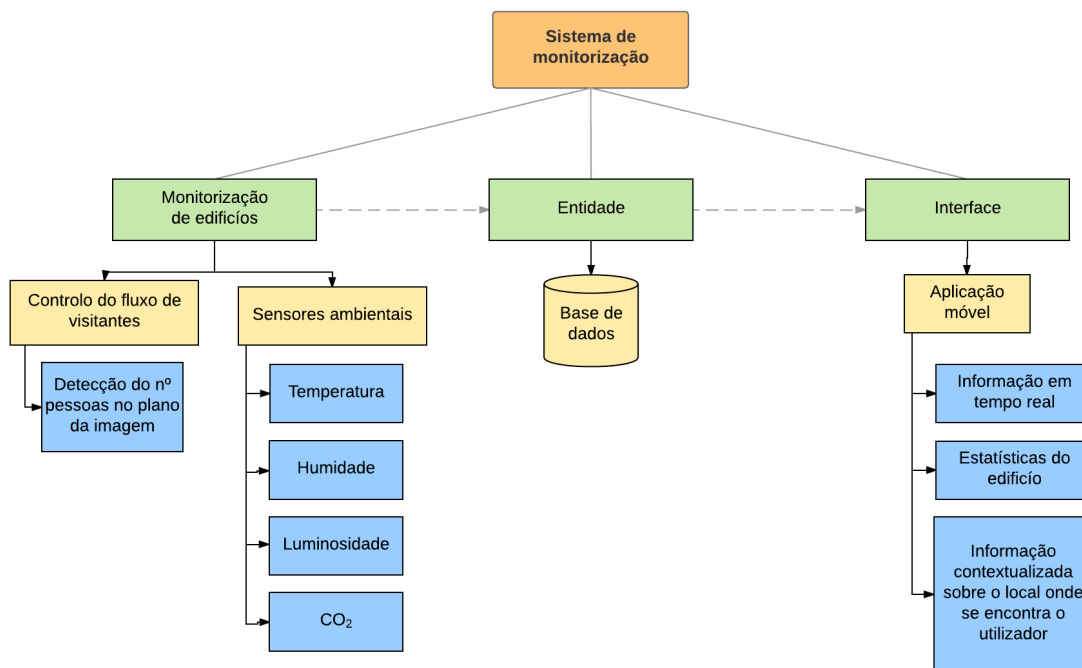


Figura 4.2: Arquitetura do Sistema de Monitorização Multissensor

### 4.2.1 Monitorização

A camada Monitorização trata-se da camada principal do sistema devido às funcionalidades que apresenta e é constituída por dois módulos, sendo eles, o Controlo de fluxo de visitantes e os Sensores ambientais. É responsável pela monitorização do espaço onde está inserido o Dispositivo Multissensor, sendo que a monitorização ocorre através de uma câmara e de sensores ambientais.

A câmara instalada no dispositivo permite a análise e deteção de visitantes no plano da câmara de segundo a segundo dando a opção ao utilizador de visitar ou não o local. No subcapítulo 3.1 foi apresentado e explicado, em detalhe, o algoritmo utilizado para deteção de pessoas. Por sua vez, os sensores permitem recolher informação ambiental sobre o local onde se encontram instalados, sendo que as leituras ocorrem com uma periodicidade de 5 segundos. Cada vez que ocorre, tanto uma deteção como alguma leitura por parte dos sensores, a camada Monitorização comunica com a camada Entidade de forma a armazenar e a gerir a informação.

Em caso de falha na camada, os utilizadores deixam de ter informação sobre o edifício, comprometendo assim o bom funcionamento do Sistema Multissensor.

### 4.2.2 Entidade

A camada entidade é o ponto de ligação entre a camada Monitorização e a camada Interface, por outras palavras, entre o dispositivo de monitorização e a aplicação móvel para o utilizador. É responsável por armazenar e gerir a informação recolhida a partir da camada

monitorização.

Na figura 4.3 encontra-se representado o Diagrama de Entidades e Relações da camada Entidade, sendo possível observar como é que as seis entidades interagem entre si.

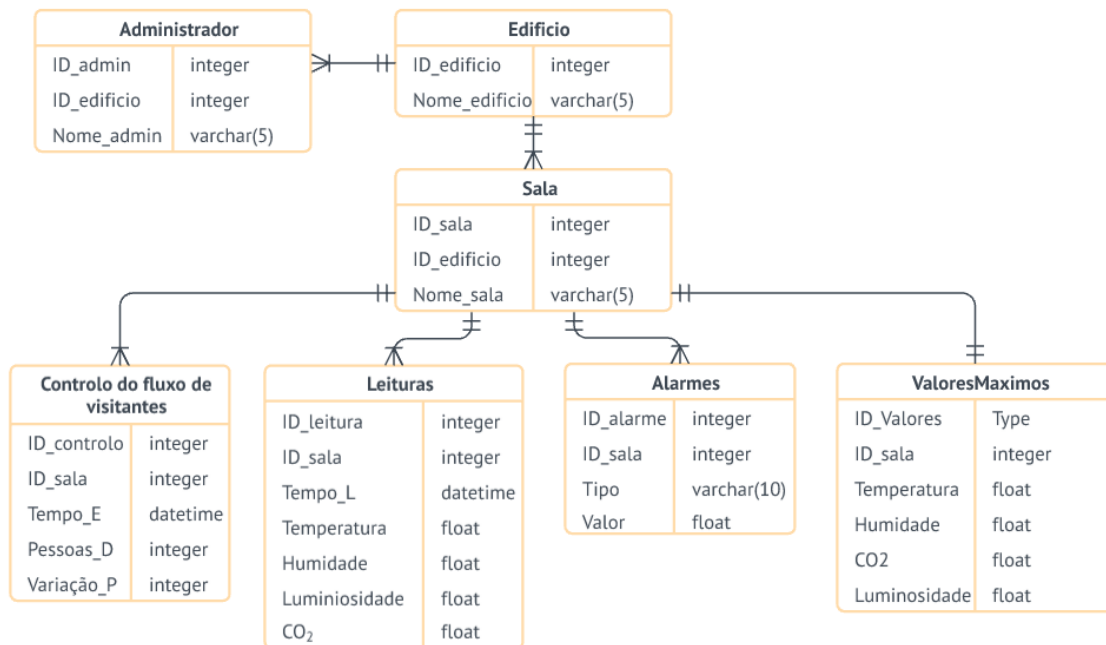


Figura 4.3: Diagrama de Entidades e Relações da camada Entidade

De forma a que o Sistema Multissensor possa vir a ser adaptado e utilizado em mais do que um local foi criada uma entidade Edifício. Cada edifício é composto por um conjunto de administradores e salas, em que os administradores são responsáveis por verificar o bom funcionamento dos locais monitorizados tendo autonomia para variar os parâmetros de monitorização dos mesmos. O intervalo escolhido/inserido para monitorização é tomado como padrão e em caso de anomalia nos parâmetros ambientais são ativados os alarmes do edifício e a entidade Alarmes é atualizada com as últimas ocorrências. A entidade Sala tem como função identificar todas as salas do edifício que contêm o Dispositivo Multissensor e é constituída por quatro entidades, Controlo do fluxo de visitantes, Leituras, Valores máximos e Alarmes.

A entidade Controlo do fluxo de visitantes apresenta o tempo em que as pessoas foram detetadas no plano da câmara (Tempo\_E), o número de pessoas detetadas (Pessoas\_D) e a variação do número de pessoas entre *frames* consecutivos permitindo ter uma noção do número de pessoas que entraram, saíram e permaneceram no local.

A entidade Leituras, por sua vez, integra toda a informação recolhida pelos sensores ambientais (Temperatura, Humidade, Luminosidade e CO<sub>2</sub>), bem como o tempo em que foi efetuada a leitura (Tempo\_L). A entidade Alarmes como o nome indica, tem como funcionalidade registar alguma irregularidade no edifício. O registo é realizado tendo em conta o tipo de anomalia e o valor mensurado. Este valor pode encontrar-se acima

ou abaixo do intervalo escolhido pelo administrador do edifício. Por último, a entidade Valores máximos regista os parâmetros máximos de monitorização para cada sala do edifício.

### 4.2.3 Interface

A Interface é a última camada da arquitetura do sistema de monitorização, tratando-se assim, da camada superficial do sistema, uma vez que apenas comunica com a camada Entidade. É responsável por interagir tanto com os administradores do edifício como com os visitantes e é constituída por uma aplicação móvel. A aplicação móvel permite que os utilizadores visualizem em tempo real as informações recolhidas pelos sensores ambientais e pela câmara sobre as diferentes salas do edifício. A forma como se encontra organizada facilita a sua utilização, dispondo de informação histórica e gráfica sobre o local.

É também a partir desta camada que os visitantes recebem informação contextualizada, isto é, um visitante ao aproximar-se de um quadro, por exemplo, pode receber quem pintou a obra de arte, as técnicas utilizadas durante o desenvolvimento e obras relacionadas. Para desenvolver esta funcionalidade, recorreu-se à tecnologia *Beacon* que se encontra explicada no subcapítulo 3.7.

## 4.3 Equipamento

A camada Monitorização é a única que contém uma componente física, por outras palavras, uma componente de *Hardware* no Sistema Multissensor. Na presente secção pretende-se apresentar os materiais escolhidos para o desenvolvimento do Dispositivo Multissensor, bem como os fatores que influenciaram essa escolha.

### 4.3.1 Plataforma

Nos projetos apresentados na secção 2.3 foram destacados alguns materiais para a implementação do Dispositivo Multissensor, nomeadamente as placas para o processamento dos dados recolhidos por parte dos sensores. As placas utilizadas na maioria dos casos eram de dois tipos: placa Arduino Atmega e placa BeagleBone Black. De forma a escolher a melhor placa para o desenvolvimento da camada Monitorização, foi realizado um estudo sobre alguns tipos de placas Arduino e BeagleBone, bem como sobre os principais concorrentes, destacando-se assim a placa Arduino YÚN, a placa BeagleBone Black e a placa Raspberry Pi 3 (figura 4.4), respetivamente.

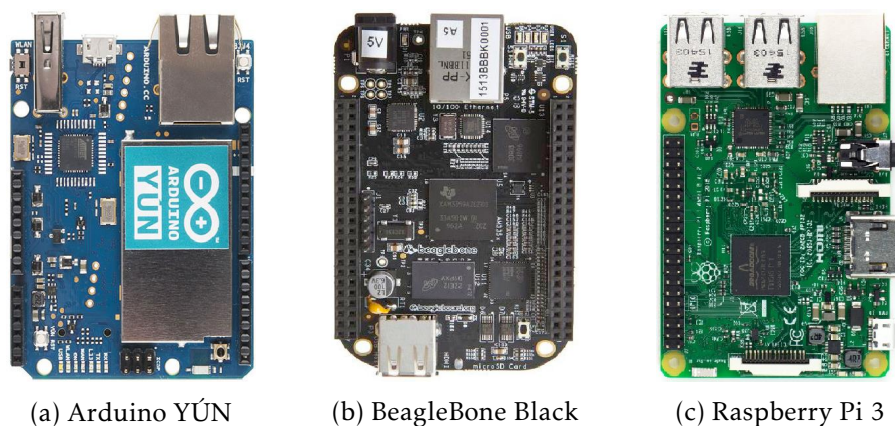


Figura 4.4: Plataformas

A placa Arduino YÚN trata-se de um microcontrolador constituído por dois processadores, ATmega32u4 e AtherosAR9331 com uma memória de 64 MB. Contém suporte integrado para *Ethernet* e *Wi-Fi*, um slot para cartão de memória Micro SD e 20 pins GPIO, dos quais 12 são entradas analógicas e 7 podem funcionar como saídas PWM.

A placa BeagleBone Black trata-se de um pequeno computador com uma dimensão de 86,36 x 54,61 mm. Contém um processador AM3359 e uma memória de 512 MB, uma porta micro HDMI, um slot para cartão de memória e uma memória extra de 4 GB na própria placa. Apresenta 92 pins.

A placa Raspberry Pi 3 trata-se também de um pequeno computador com um processador de 64 bits que conta com quatro núcleos ARM Cortex A53 1,2 GHz e uma memória de um 1GB. Contém *Wi-Fi* embutido e *Bluetooth 4.1* ideal para comunicações sem fios, um slot para cartão de memória, nomeadamente, um Micro SD, onde se instala o sistema operativo (Linux, Windows ou Raspbian), um slot para uma câmara e ainda 40 pins digitais dos quais 24 são GPIO.

Ao comparar a placa Raspberry Pi 3 com a placa Arduino YÚN, uma das principais diferenças é o facto da placa Arduino YÚN ser um microcontrolador e não possuir um sistema operativo, o que permite lidar com os GPIOs em tempo real. Todavia apresenta um processador limitado uma vez que não possibilita a execução de multitarefas entre várias aplicações. A execução de tarefas em paralelo torna-se num fator importante quando se pretende controlar o fluxo de visitante e ao mesmo tempo recolher informação de sensores para a monitorização do espaço. O Raspberry Pi 3, por sua vez, como tem um sistema operativo instalado, necessita de algum tempo para inicializar antes de começar a interagir sendo o único fator adverso em relação à placa Arduino YÚN. A placa Arduino YÚN apresenta um preço de aquisição superior ao Raspberry Pi 3. Já a placa BeagleBone Black é bastante idêntica ao Raspberry Pi 3, contudo o Raspberry Pi 3 acaba por superiorizar-se tanto a nível de processador como de memória, arquitetura e preço. Os únicos aspetos em que a placa BeagleBone Black se destaca é na capacidade de armazenamento que tem extra, 4 GB na própria placa, e cerca de 92 pins dos quais 65 são GPIO.

Na tabela 4.1 é apresentada de forma sucinta as características do microcontrolador Arduino YÚN, da placa Raspberry Pi 3 e BeagleBone Black.

Tabela 4.1: Especificações do microcontrolador Arduino YÚN, da placa Raspberry Pi 3 e BeagleBone Black

	Arduino YÚN	BeagleBone Black	Raspberry Pi 3
Processador	ATmega32u4 AtherosAR9331	1 GHz TI Sitara AM3359	1,2 GHz 64-bit quad-core
arquitetura	-	32 - Bit	64-Bit
Conjunto de instruções	-	ARMv7	ARMv8
Memória	64 MB de memória RAM DDR2	512 MB DDR3L	1 GB LPDDR2
Armazenamento informação	Cartão de memória	4 GB + Cartão de memória	Cartão de memória
Processamento de imagem	Não	Sim	Sim
Preço	80 € a 90 €	65 € a 70 €	40 € a 50 €

Tendo em consideração que um dos principais objetivos é medir o fluxo de visitantes através de informação recolhida a partir da câmara, a placa Raspberry Pi 3 permite suportar o processamento da informação recolhida de forma rápida e ainda o armazenamento de dados devido à memória que possui. Outro ponto a favor é o facto de não ser necessário a instalação de uma *shield* de *Ethernet*, a placa contém *Wi-Fi* embutido o que torna a comunicação entre a camada Monitorização e a camada Entidade, rápida e instantânea. Tendo também em atenção que se pretende desenvolver um dispositivo de baixo custo para ser colocado em edifícios históricos, o preço e o tamanho do dispositivo a instalar são também fatores importantes, o preço do Raspberry Pi 3 varia entre 40 e 50 euros em Portugal e a placa tem as seguintes dimensões  $85 \times 56 \times 17 \text{ mm}$ . A placa Raspberry Pi 3 apresenta-se como a placa mais completa das três para o desenvolvimento do Dispositivo Multissensor e é também uma inovação nos projetos de monitorização.

Na figura 4.5 encontra-se ilustrada a placa Raspberry Pi 3, onde são descritos os diversos componentes.

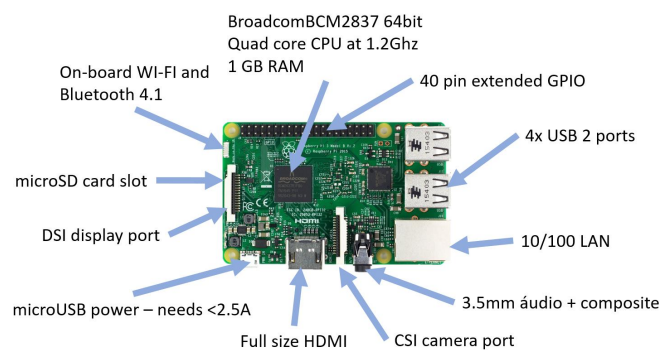


Figura 4.5: Raspberry Pi 3 e descrição de componentes

### 4.3.2 Aquisição de dados

A aquisição de dados é o principal foco do Sistema Multissensor de forma a garantir a sustentabilidade de um local. Como apresentado anteriormente, através da camada monitorização, a aquisição de dados encontra-se dividida em controlo do fluxo de visitantes e sensores ambientais.

#### 4.3.2.1 Medição do fluxo de visitantes

A medição do fluxo de visitantes pode ser realizada recorrendo a diferentes métodos, como por exemplo, através da aplicação de torniquetes, ultrassons e câmaras. Neste projeto optou-se por utilizar uma câmara para realizar a tarefa de medição do fluxo de visitantes, uma vez que o objetivo é ter um dispositivo de monitorização não invasivo e inovador. Ao ter escolhido a plataforma Raspberry Pi 3 existem duas formas de instalar uma câmara. A primeira é através da utilização das portas USB que permitem ligar uma *Webcam*, a segunda é através da utilização de um *slot* embutido na plataforma para um módulo desenvolvido pela Raspberry.

A escolha recaiu sobre a câmara módulo V2 do Raspberry Pi que apresenta um tamanho reduzido, ideal para o Dispositivo Multissensor e apresenta uma resolução de 8 MP capaz de captar vídeo de 1080 p a 30 fps, 720 p a 60 fps e 640 × 480 a 90 fps e ainda imagens de 3280 × 2462 pixels.

A câmara módulo V2 encontra-se ilustrada na figura 4.6.



Figura 4.6: Câmara Raspberry Pi V2

#### 4.3.2.2 Sensores ambientais

O Dispositivo Multissensor é composto por três sensores, sendo eles temperatura e humidade relativa, luminosidade e  $CO_2$ .

##### Temperatura e humidade

Com o intuito de medir a temperatura e a humidade de um local optou-se pelo sensor híbrido DHT11 que se encontra representado na figura 4.7.

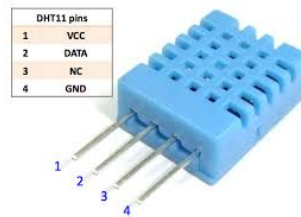


Figura 4.7: Sensor de temperatura e humidade (DHT11)

O sensor DHT11 é constituído por um sensor resistivo de componentes húmidos e um dispositivo de medição de temperatura, *Negative Temperature Coefficient* (NTC), que se encontram ligados a um microcontrolador de 8 bits. Trata-se de um sensor com saída digital que pode ser alimentado tanto com uma tensão de 3,3 V, como com uma tensão de 5 V e utiliza um protocolo de comunicação próprio para transmitir os dados recolhidos.

O processo de comunicação passa por três estados, sendo eles, o pedido, a resposta e a leitura de dados. Sempre que se quer iniciar uma leitura a partir do sensor DHT11 é realizado um pedido que consiste no envio de um pulso negativo (18 ms) seguido de um pulso positivo (20  $\mu$ s a 40  $\mu$ s), após receber esse pedido o sensor DHT11 emite uma resposta automática e envia os bits de dados obtidos nas medições. Os dados são transmitidos pela seguinte ordem: humidade relativa em percentagem, 0, temperatura em graus celsius, 0 e verificação da soma, correspondendo a um total de 40 bits. Na figura 4.8 encontra-se ilustrado o padrão de comunicação entre um Raspberry Pi (RPI) e o sensor DHT11.

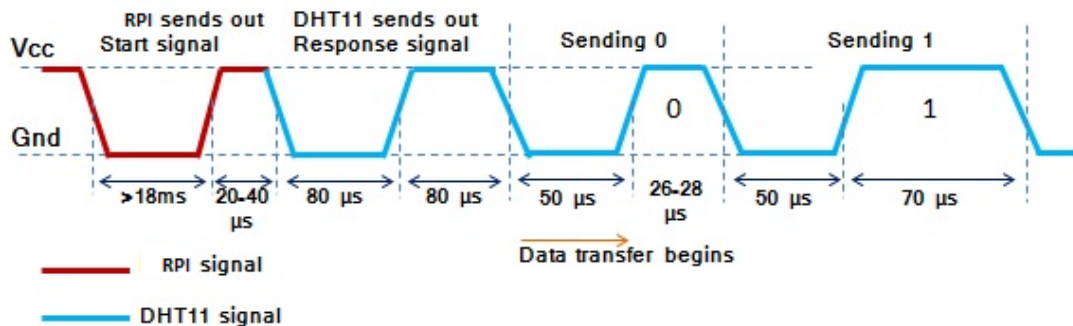


Figura 4.8: Padrão de comunicação entre um Raspberry Pi e um sensor DHT11

O sensor DHT11 realiza leituras de temperatura dos 0 aos 50°C e de humidade de 20 a 90 % com uma precisão de  $\pm 2,0^\circ\text{C}$  e  $\pm 5,0\%$ , respetivamente.

### Iluminância

De modo a medir a iluminância de um local optou-se por utilizar um *Light Dependent Resistor* (LDR) NSL-19M51, também conhecido por fotoresistência. Uma fotoresistência consiste num dispositivo semiconductor de dois terminais de alta resistência que, ao receber uma grande quantidade de fótons vindos da luz incidente, absorve eletrões, reduzindo

a sua resistência. Por outras palavras, na ausência de luz a resistência LDR tem um valor de  $1\text{ M}\Omega$ , enquanto que à medida que a intensidade de luz aumenta a resistência diminui. Na figura 4.9 encontra-se representada uma fotoresistência.



Figura 4.9: Sensor de luminosidade (NSL-19M51)

## CO<sub>2</sub>

Com o objetivo de detetar a quantidade de CO<sub>2</sub> no interior dos edifícios históricos, optou-se por utilizar o sensor MQ-135 que se encontra representado na figura 4.10. Como se trata de um sensor capaz de detetar diferentes tipos de gases é necessário realizar uma calibração para o gás que se pretende detetar. No subcapítulo 4.4.1.2 será explicada a calibração realizada para o gás CO<sub>2</sub>. O sensor MQ-135 necessita de ser alimentado com uma tensão de 5 V e contém uma saída analógica.



Figura 4.10: Sensor de CO<sub>2</sub> (MQ-135)

O sensor de luminosidade e o sensor de CO<sub>2</sub> têm saídas analógicas. Todavia, o Raspberry Pi 3, apenas apresenta GPIOs digitais, por este motivo torna-se necessário utilizar um conversor analógico-digital (ADC). O conversor escolhido para o projeto trata-se do MCP3008 constituído por 8 canais cada um com 10 bits de resolução e utiliza comunicação *Serial Peripheral Interface* (SPI). Dos 8 canais referidos anteriormente, apenas serão utilizados 2. Na figura 4.11 encontra-se ilustrado o conversor MCP3008.

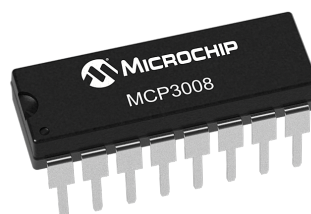


Figura 4.11: Conversor analógico-digital MCP3008

## 4.4 Implementação do sistema

Na presente secção apresenta-se a implementação do Sistema de Monitorização Multissensor, descrito anteriormente, na secção 4.3.2.1. Tendo em consideração o modelo arquitetural representado na figura 4.2 e o equipamento escolhido, em primeiro lugar, aborda-se a implementação da camada Monitorização de edifícios, posteriormente, a camada Entidade e por último a camada Interface.

### 4.4.1 Monitorização de edifícios

A implementação da Camada Monitorização de Edifícios encontra-se dividida em dois níveis, *Hardware* e *Software*. O *Hardware* corresponde à parte física do sistema, enquanto que o *Software* contém a lógica necessária para processar a informação recolhida por parte do *Hardware*. Na solução apresentada, apenas foi necessário desenvolver uma componente física para a camada Monitorização de Edifícios, denominada de Dispositivo Multissensor. Para isso, foram utilizados os componentes apresentados na secção 4.3 e uma *breadboard* que permite conectar os componentes num único circuito.

#### 4.4.1.1 Nível físico

A montagem do dispositivo, iniciou-se pela integração dos sensores na *breadboard*. Cada sensor tem um *datasheet* fornecido pelo fabricante, onde é possível consultar a tensão a que um sensor deve ser alimentado, o esquema de montagem, a gama de valores que pode mensurar e ainda a precisão do mesmo.

Segundo o *datasheet* do sensor DHT11 (figura 4.7), é necessário incluir uma resistência de  $10K\Omega$  como pull-up entre os pins VCC e Data, de forma a garantir um valor fixo à entrada de cada pin. O pin VCC deve ser alimentado a 3,3 V, e o pin 4 ligado ao GND. O sensor de luminosidade é implementado recorrendo a uma resistência de  $10K\Omega$  em série com uma fotoresistência que em conjunto formam um divisor resistivo e alimentado a 3,3 V. Enquanto que, o sensor de  $CO_2$  apenas necessita de ser alimentado a 5 V. Como o sensor de  $CO_2$  e de luminosidade têm saídas analógicas é fundamental integrar o conversor MCP3008. O pin 1 do conversor converte a tensão à saída do sensor de luminosidade e o pin 2 a tensão à saída do sensor de  $CO_2$ . Por último é necessário integrar o módulo da câmara no Raspberry Pi 3.

Na figura 4.12, é possível observar os módulos que foram utilizados para construir o Dispositivo Multissensor e a forma como interagem entre si.

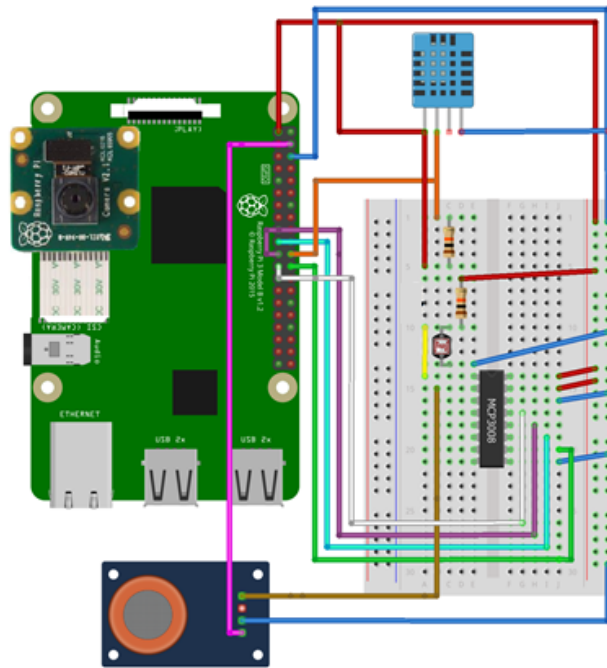


Figura 4.12: Nível físico do Dispositivo Multissensor

Por sua vez, na figura 4.13 encontra-se representado o protótipo desenvolvido para o Dispositivo Multissensor.



Figura 4.13: Protótipo desenvolvido para o Dispositivo Multissensor

### 4.4.1.2 Nível lógico

Para a implementação do nível lógico do Dispositivo Multissensor foi utilizada a linguagem de programação Python que vem instalada no sistema operativo Raspbian da plataforma Raspberry Pi 3.

O código desenvolvido para a camada Monitorização de Edifícios foi implementado em dois programas, denominados Controlo do fluxo de visitantes e Sensores ambientais. A divisão do código em programas distintos facilita a compreensão do trabalho desenvolvido, e através da plataforma Raspberry Pi 3 que é constituída por quatro processadores é possível executar os dois programas em simultâneo.

#### Medição de fluxo de visitantes

Para medir o fluxo de visitantes, o código desenvolvido encontra-se dividido em três rotinas: importação de bibliotecas, inicialização e loop, sendo que a importação de bibliotecas e a inicialização só são executados uma vez, enquanto que a função loop é executada até que a plataforma Raspberry Pi 3 seja desligada ou seja forçada a uma paragem.

- Na primeira rotina, importação de bibliotecas, foram incluídas duas bibliotecas para o processamento de imagem, OpenCV e imutils. Foram também incluídas as bibliotecas numpy e datetime, em que a primeira dá a possibilidade de criar um vetor para armazenar informação e a segunda permite obter informação sobre a data e hora do sistema. Por último, destaca-se a biblioteca pymysql, que é utilizada para fazer a comunicação entre a camada de Monitorização de edifícios e camada Entidade.
- Na rotina inicialização foi inicializado o módulo da câmara Raspberry Pi com uma resolução de 640x480, responsável pela captura de informação visual do local. De seguida, recorreu-se à biblioteca OpenCV que contém implementado um descritor de recursos HOG, bem como um algoritmo de aprendizagem SVM para inicializar o algoritmo de deteção de pessoas. As funções e as variáveis globais que permitem o controlo de código e a passagem de parâmetros entre funções fazem também parte desta rotina.
- Na última rotina do programa, rotina loop antes de iniciar a deteção de pessoas, existe uma condição que verifica, se na camada Entidade já se encontra criada a estrutura diária responsável por armazenar o controlo de fluxo de visitantes. Em caso afirmativo, a variável de controlo é alterada e a instrução não volta a ser executada. De seguida, é capturada uma imagem que é redimensionada para que possa ser aplicado o algoritmo de deteção, HOG com abordagem SVM e detetado o número de pessoas que estão na imagem. Se existir ligação à Internet, o tempo em que as pessoas foram detetadas, o número de pessoas e a diferença entre o número de pessoas detetadas no *frame* atual e no anterior são enviados para a base de dados para a

estrutura Controlo de fluxo de visitantes, caso contrário a informação é armazenada num ficheiro até que seja possível reenviá-la para a base de dados. Ao reenviar a informação, o conteúdo do ficheiro é apagado.

O tempo de processamento entre imagens consecutivas deve ser o menor possível para evitar a perda de informação sobre o número de pessoas que se encontram no local. O algoritmo desenvolvido não possui um sistema de *tracking*, o que significa que entre imagens não se sabe se as pessoas detetadas entraram pela primeira vez na sala ou são as mesmas que estavam no *frame* anterior. Ao guardar a diferença de pessoas detetadas entre imagens, assume-se que, quando a diferença é zero as pessoas permaneceram na sala, quando a diferença é positiva, entraram pessoas na sala e quando é negativa, as pessoas abandonaram o local que estavam a visitar. Com a informação enviada para a base de dados implementada na camada Entidade é possível realizar um conjunto de estatísticas, desde o número de pessoas que entraram até ao tempo que permaneceram no local, com um pequeno erro associado.

Na figura 4.14 ilustra-se o fluxograma do funcionamento do *software* implementado para o controlo de fluxo de visitantes.

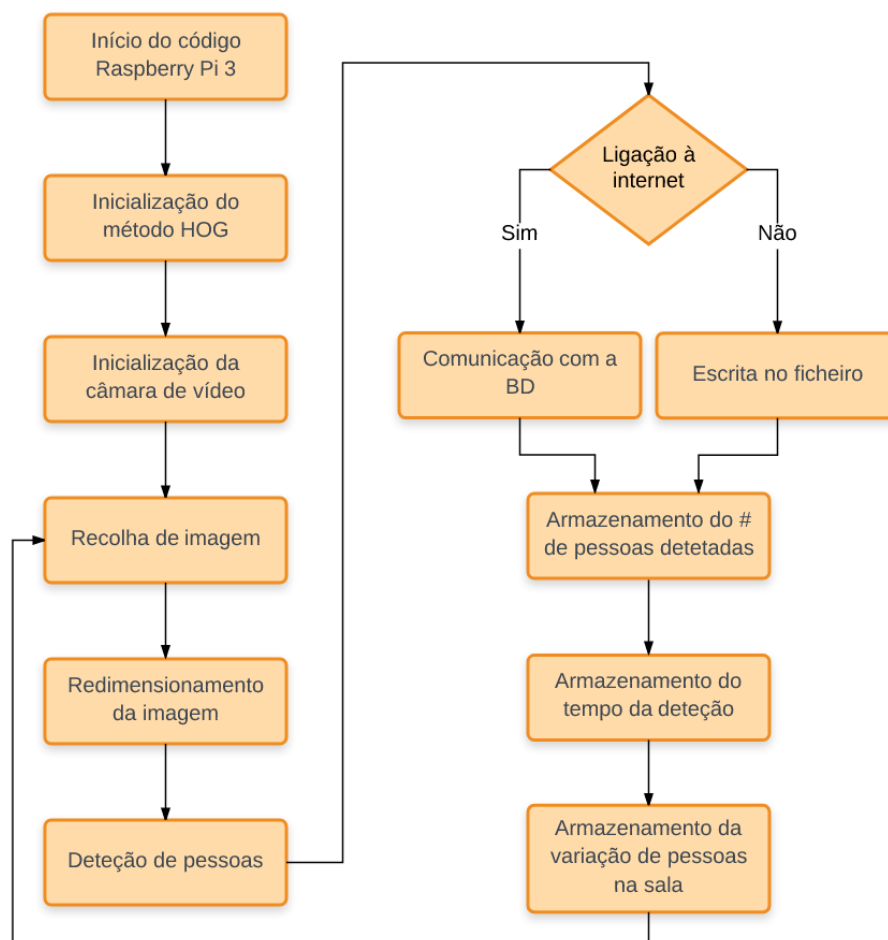


Figura 4.14: Fluxograma do funcionamento do programa controlo de fluxo de visitantes

### Sensores ambientais

A estrutura do programa desenvolvido para processar os dados recolhidos pelos sensores ambientais instalados no Dispositivo Multissensor é análoga à apresentada para o programa desenvolvido para medir o fluxo de visitantes, contendo assim uma rotina onde são importadas as bibliotecas necessárias, sucedida por uma rotina onde são inicializadas funções e variáveis, e por último uma rotina loop que permite executar o processo mais do que uma vez.

O processamento dos dados recolhidos pelos sensores ambientais é realizado de forma sequencial. Em primeiro lugar são obtidos os valores de temperatura e humidade relativa do local a partir do sensor DHT11, de seguida é medida a iluminância do local, e por último, é obtida a quantidade de gás  $CO_2$  presente no ar.

- Monitorização da temperatura e da humidade relativa

Para obter os valores de temperatura e humidade relativa incluíram-se as bibliotecas GPIO e *Adafruit\_DHT11*. A biblioteca GPIO é utilizada sempre que se pretende realizar uma ação de leitura ou escrita sobre os diferentes pins da plataforma Raspberry Pi 3. Na solução desenvolvida, os pins são colocados em modo de leitura para que se possa receber os valores medidos por parte dos sensores. A biblioteca *Adafruit\_DHT11*, por sua vez, contém implementado o código necessário para decodificar o sinal digital enviado por parte do sensor DHT11, cujo o funcionamento do protocolo de comunicação foi explicado na secção 4.3 quando apresentado o *Hardware* do Dispositivo Multissensor.

Uma das particularidades do funcionamento do sensor DHT11 é que não necessita que seja realizada uma calibração antes de iniciar a leitura dos primeiros valores de temperatura e humidade relativa, devido ao microcontrolador interno que possui. Assim, na rotina inicialização, apenas é necessário indicar o pin da plataforma Raspberry Pi 3 responsável por ler os dados recolhidos pelo sensor (pin 25), e indicar à biblioteca *Adafruit\_DHT* que o sensor que se está a utilizar é o DHT11, visto que a biblioteca tem um conjunto de rotinas desenvolvidas para diferentes sensores da gama DHT.

A rotina loop contém uma sub-rotina denominada por *Adafruit\_DHT.read\_retry* que retorna, em intervalos de cinco segundos, os valores de humidade relativa e temperatura, em % e °C, respetivamente. O intervalo entre leituras foi escolhido tendo em consideração, que no *datasheet* do fabricante é recomendado um intervalo superior a dois segundos para que seja possível interpretar o sinal enviado pelo sensor.

- Monitorização da iluminância

Ao explicar a implementação do *hardware* do Dispositivo Multissensor referiu-se que para medir o valor de iluminância de um local era necessário adicionar uma

resistência  $10\text{ K}\Omega$  em série com a fotoresistência (LDR), como é possível observar na figura 4.15. A resistência de  $10\text{ K}\Omega$  serve para fixar um valor de tensão aos terminais da fotoresistência ( $V_{out}$ ) que varia, consoante a intensidade de luz incidente.

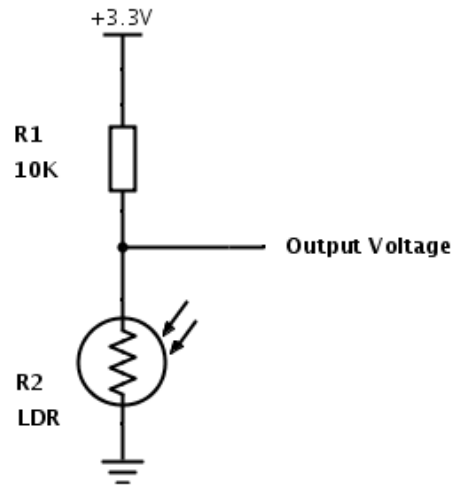


Figura 4.15: Esquemático do circuito elétrico utilizado para medir a iluminância de um local

O valor de  $V_{out}$  é obtido através da equação 4.1, o que significa que a queda de tensão aos terminais da resistência aproxima-se de  $0\text{ V}$  quando a resistência do LDR ( $R_{LDR}$ ) tem um valor baixo e aproxima-se da tensão de alimentação ( $V_i$ ) do circuito quando a resistência do LDR aumenta.

$$V_{out} = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R1} \times V_i \quad (4.1)$$

O valor de iluminância de um local é apresentado na unidade de medida Lux, todavia no *datasheet* do fabricante, não existe qualquer tipo de informação que permita relacionar valores de tensão, em Volt, com valores de iluminância em Lux. Assim sendo, antes de iniciar a monitorização de luminosidade de um local, é necessário realizar uma calibração do sensor de luminosidade. Para isso, recorreu-se ao aparelho de medida luxímetro, que mede a quantidade de luz recebida em Lux, e ao sensor de luminosidade implementado cujo *software* devolve a tensão aos terminais da resistência LDR. Para obter uma boa relação entre Lux e Volt realizou-se um conjunto de 10 medições, cujos os valores obtidos a partir do aparelho luxímetro e do sensor de luminosidade encontram-se representados na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Tensão de saída do LDR do Dispositivo Multissensor em função Iluminância

Tensão saída (Volt)	Iluminância (Lux)
3,30	7
3,25	17
2,97	42
2,86	110
2,50	237
2,26	381
1,84	832
1600	1372
1440	1835
1360	2362

Através da ferramenta Excel e dos valores da tabela 4.2 foi possível traçar uma relação entre iluminância e tensão de saída, e traçar a linha de tendência que se ajusta aos pontos obtidos.

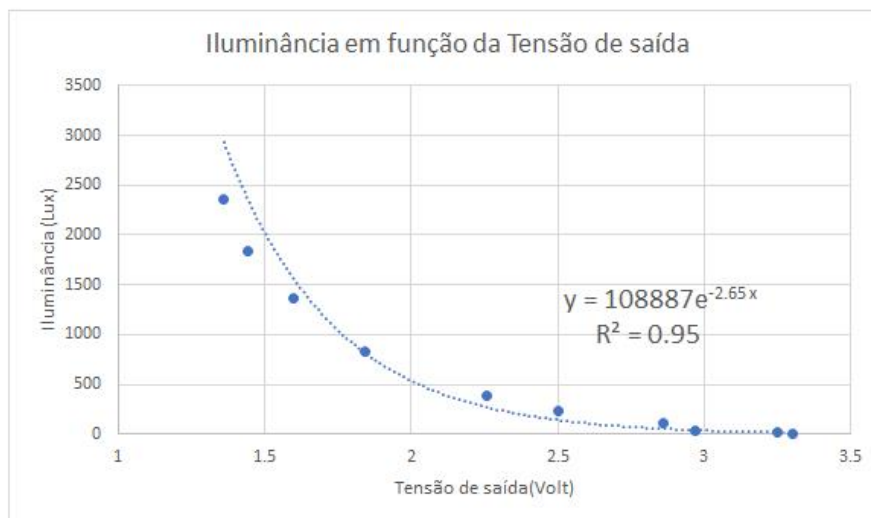


Figura 4.16: Tensão de saída do Dispositivo Multissensor em função da Iluminância

A partir do gráfico da figura 4.16 estabeleceu-se uma relação exponencial entre os valores de iluminância e tensão obtidos, descrita pela equação 4.2.

$$y = 108887e^{-2,65x} \quad (4.2)$$

Em que,  $y$  corresponde ao valor de iluminância do local e  $x$  ao valor de tensão aos terminais da fotoresistência. A equação 4.3 foi incluída no nível lógico desenvolvido para medir a iluminância do local.

$$iluminância = 108887e^{-2,65 \times V_{out}} \quad (4.3)$$

O nível lógico desenvolvido para o sensor de luminosidade é constituído por duas sub-rotinas que são executadas dentro da rotina loop do programa sensores ambientais. A sub-rotina ReadChannel é a primeira a ser executada e é responsável por ler o valor analógico à entrada do pin 1 do conversor MCP3008, que corresponde ao valor de  $V_{out}$ , e convertê-lo para um valor digital. Posteriormente, através da sub-rotina ConvertVolts é convertido o sinal digital para um valor de tensão em Volt com duas casas decimais através da equação 4.4.

$$V_{out} = \frac{data \times V_i}{1023} \quad (4.4)$$

Em que:

- $V_{out}$  corresponde ao valor de tensão aos terminais da resistência LDR.
- data corresponde o valor digital da tensão  $V_{out}$ . Cada entrada do conversor tem 10 bits de resolução o que significa que o valor data varia entre 0 e 1023.
- $V_i$  corresponde à tensão de alimentação do circuito, no caso do sensor de luminosidade é 3,3 V.
- 1023, corresponde ao valor máximo do valor data.

Ao obter o valor  $V_{out}$ , este é substituído na equação 4.3 e é calculado o valor de iluminância do local.

- Monitorização da qualidade do ar

À semelhança do sensor de luminosidade, o sensor de  $CO_2$  também necessita de uma medição inicial para recolher corretamente a quantidade de  $CO_2$  presente no local.

A quantidade de gás  $CO_2$  no ar é medida através da variação do valor das resistências que constituem o sensor ( $R_s$ ,  $R_o$  e  $R_l$ ). A resistência  $R_l$ , resistência de carga, influencia o cálculo do valor de  $R_s$  e deve ter um valor de 1 K $\Omega$  que pode ser ajustado a partir do potenciômetro que o sensor possui. Os valores da resistência  $R_s$  e  $R_o$  relacionam-se com a quantidade de  $CO_2$  no ar e permitem obter o gráfico, em escala logarítmica, existente no datasheet do fabricante. A partir da informação retirada do gráfico anterior, foi possível traçar o gráfico representado na figura 4.17, que relaciona  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  e a quantidade de gás  $CO_2$ .

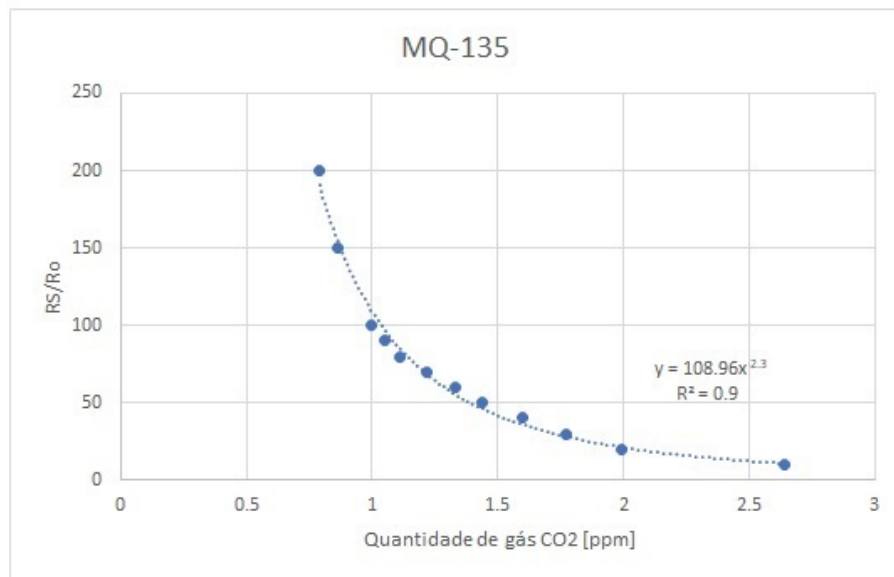


Figura 4.17: Relação entre  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  e a quantidade de gás  $CO_2$

Ao observar o gráfico da figura 4.17 verifica-se que existe uma relação de potência entre  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  e a quantidade de gás  $CO_2$  descrita pela equação 4.5. Em que  $y$  corresponde à quantidade de  $CO_2$  no ar e  $x$  ao valor de valor de  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$ .

$$y = 108,96x^{-2,3} \quad (4.5)$$

A quantidade de gás  $CO_2$  aumenta, quando a relação  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  diminui. Este fator é tido em consideração na medição do valor de  $CO_2$ , uma vez que os erros que possam existir são menores para valores elevados de  $CO_2$ . Deste modo, como não são conhecidos nem os valores de  $R_s$ , nem de  $R_o$ , a determinação do valor de  $CO_2$  passa por fixar um valor para a resistência  $R_o$ .

Com o intuito de minimizar os erros de medição, libertaram-se grandes quantidades de gás a partir de um isqueiro e mediu-se o valor de resistência  $R_s$  que é dado pela equação 4.6.

$$R_s = R_l \times \frac{V_i - V_{CO_2}}{V_{CO_2}} \quad (4.6)$$

Em que:

- $R_l$  é igual a 1  $K\Omega$ .
- $V_i$  corresponde à tensão de alimentação do sensor, 5,0 V.
- $V_{CO_2}$  corresponde ao valor de tensão à entrada do conversor MCP3008.

O valor escolhido para  $R_s$  foi aquele que se aproximou mais de tensão de saturação, sem atingir este valor. O valor de  $R_s$  obtido é igual a  $71,4 \Omega$  para uma tensão  $V_{CO_2}$  de  $4,76 V$ .

A partir do valor resistência  $R_s$  e através do gráfico da figura 4.17 retirou-se o valor da relação  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  para a quantidade máxima de  $CO_2$  ( $2,5 \text{ ppm}$ ). O valor obtido encontra-se apresentado na equação 4.7 .

$$0,79 = \frac{R_s}{R_o} \quad (4.7)$$

Resolvendo a 4.7 em ordem a  $R_o$  obtém-se a equação 4.8 que permite calcular o valor de  $R_o$ .

$$R_o = \frac{R_s}{0,79} \quad (4.8)$$

Deste modo, o valor obtido para  $R_o$  é igual a  $90,34 \Omega$  e a expressão final que permite calcular a quantidade de  $CO_2$  presente no ar encontra-se descrita na equação 4.9.

$$CO_2 = 108,96 \left( \frac{R_s}{90,34} \right)^{-2,3} \quad (4.9)$$

O nível lógico desenvolvido para o sensor de  $CO_2$  é composto pelas duas sub-rotinas do sensor de luminosidade, *ReadChannel* e *ConvertVolts*, que foram implementadas com parâmetros de entrada para que fosse possível a reutilização de código, independentemente do sensor utilizado. No caso do sensor de  $CO_2$ , a sub-rotina *ReadChannel* lê o valor de tensão à entrada do pin 2 do conversor MCP3008 e converte-o para um valor digital. Posteriormente, através da sub-rotina *ConvertVolts*, o valor é convertido para o valor de tensão correspondente, em Volts, e substituído na equação 4.6 de forma a obter o valor de  $R_s$ . Através da equação 4.9 é calculado o valor de  $CO_2$  presente no local.

Ao serem recolhidos os quatro valores medidos pelos sensores, em caso de ligação à *Internet*, estes são enviados para a estrutura *Leituras* através de *Wi-Fi* ou redes celulares. Caso contrário, os valores são armazenados num ficheiro até que o Dispositivo Multissensor consiga comunicar com a base de dados.

Na figura 4.18 ilustra-se o fluxograma do funcionamento do nível lógico implementado para recolher os dados medidos pelos sensores ambientais.

Após terem sido implementados os programas responsáveis pelo controlo de fluxo de visitantes e pela recolha de dados por parte dos sensores foi desenvolvido um programa adicional, onde foi criado um subprocesso para cada um dos programas. Desta forma, foi possível executar ambos os programas ao mesmo tempo.

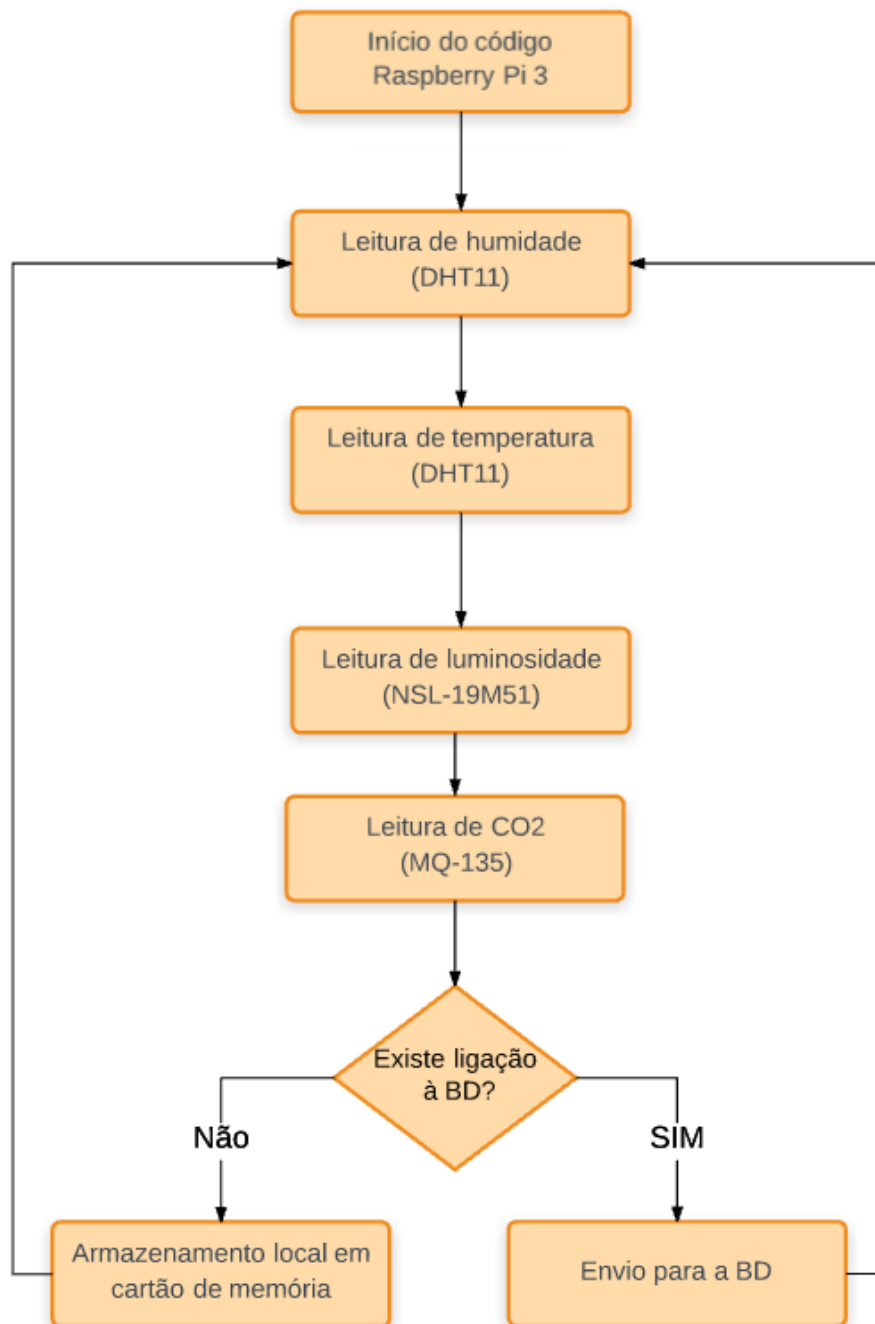


Figura 4.18: Fluxograma do funcionamento do programa dos sensores ambientais

#### 4.4.2 Entidade

A camada Entidade foi desenvolvida por recurso ao programa WAMP e apresenta a estrutura representada na figura 4.3. Diariamente, é criada uma estrutura Sala, Controlo de fluxo de visitantes, Leituras e Alarmes que facilita não só o armazenamento da informação recolhida pelo Dispositivo Multissensor, como a procura e seleção da informação necessária para colocar na aplicação desenvolvida para os administradores dos edifícios e para os visitantes.

Na figura 4.19 encontra-se representado um exemplo da estrutura diária Leituras(2017-08-04), consultada a partir do PHPMyAdmin, criado pelo WAMP.

The screenshot shows the PHPMyAdmin interface with the following data:

	Id_L	Tempo_L	Temp	Hum	CO2	Lum	sala
<input type="checkbox"/>	1	2017-08-04 10:14:30	27	46	0.065368	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	2	2017-08-04 10:14:36	27	46	0.065368	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	3	2017-08-04 10:14:41	27	46	0.065368	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	4	2017-08-04 10:14:47	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	5	2017-08-04 10:14:53	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	6	2017-08-04 10:14:58	27	47	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	7	2017-08-04 10:15:04	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	8	2017-08-04 10:15:10	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	9	2017-08-04 10:15:15	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	10	2017-08-04 10:15:21	27	46	0.0752076	8959.65	1
<input type="checkbox"/>	11	2017-08-04 10:15:27	27	46	0.0752076	8959.65	1

Figura 4.19: Consulta da tabela Leituras(2017-08-04)

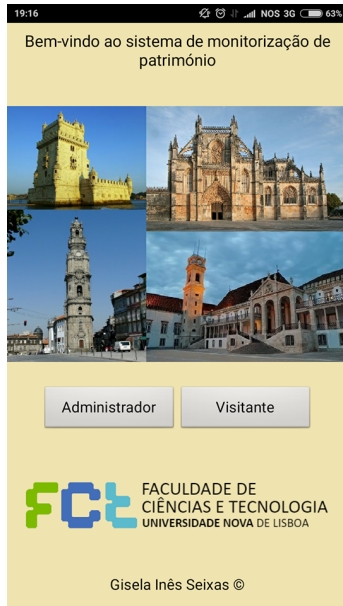
#### 4.4.3 Interface

A camada Interface é constituída pela aplicação móvel, a qual foi desenvolvida para utilizadores do sistema operativo Android através do programa MIT App Inventor 2 (<http://ai2.appinventor.mit.edu>).

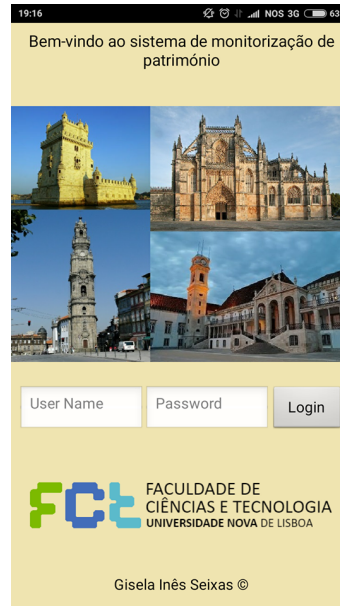
A programação da aplicação é realizada por blocos, em que cada bloco mostra quais as funcionalidades que é capaz de desenvolver, o que torna o processo de desenvolvimento fácil e compreensível.

Ao iniciar a aplicação, no ecrã principal, aparecem dois botões em que o utilizador tem a possibilidade de escolher se é um administrador ou um visitante (figura 4.20a). Caso opte por escolher a opção "Administrador" surge a opção de realizar o login (figura 4.20b) cujos dados introduzidos são verificados recorrendo à base de dados da camada Entidade

que contém na estrutura Administrador o *username* e a *password* dos administradores do edifício.



(a) Ecrã principal da aplicação móvel



(b) Ecrã visualizado quando pressionado o botão Administrador

Figura 4.20: Ecrãs da aplicação móvel

A consulta de informação da estrutura Administrador é realizada através de um ficheiro em formato php, denominado `administradores.php` que contém uma *query* capaz de indicar se existe algum administrador com o *username* e a *password* que foram introduzidos. Na figura 4.24 encontra-se representado o fluxograma do início da aplicação.

Se o login for realizado com sucesso, surge um novo ecrã que se encontra dividido em três secções: Monitorização em tempo real, Controlo de visitantes e Valores de sensores (figura 4.21a). O administrador, ao clicar no botão que dá acesso à Monitorização em tempo real, tem a opção de escolher a sala que pretende observar. Instantaneamente, são atualizadas cinco *labels*, denominadas "Perm", "Temp", "Humi", "Lumi" e "CO<sub>2</sub>", respetivamente com os últimos valores medidos pelo Dispositivo Multissensor referentes ao dia e à sala escolhida. Sempre que haja uma nova medição os parâmetros anteriores serão atualizados. A funcionalidade referida anteriormente, foi implementada recorrendo ao ficheiro `ultimosvalores.php` constituído por duas *queries*, em que a primeira acede à estrutura Leituras e retorna os valores de Temperatura, Humidade, Luminosidade e CO<sub>2</sub> da última leitura e a segunda acede à estrutura Controlo de fluxo de visitantes retornando o último valor do número de pessoas detetadas (figura 4.21b).

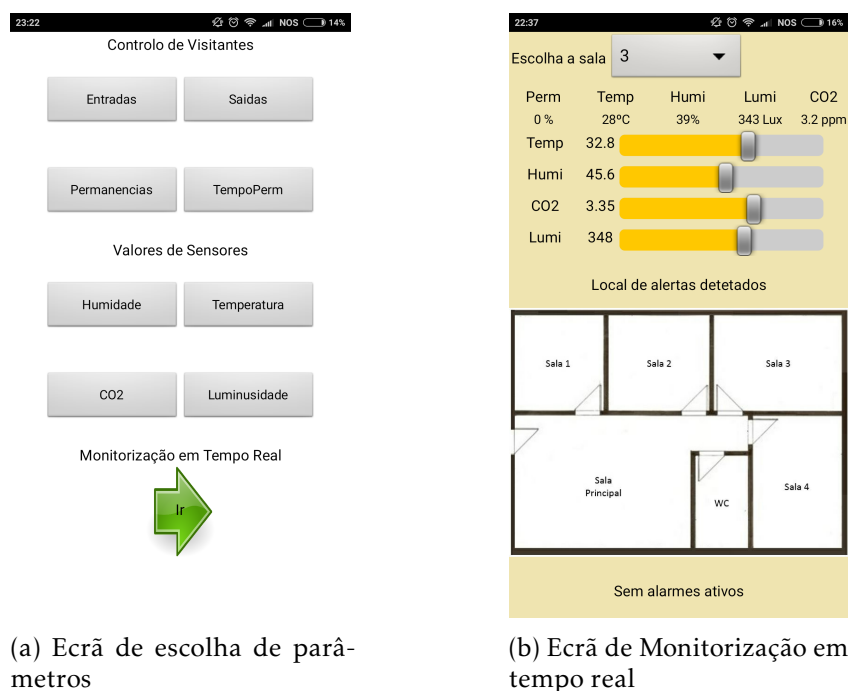
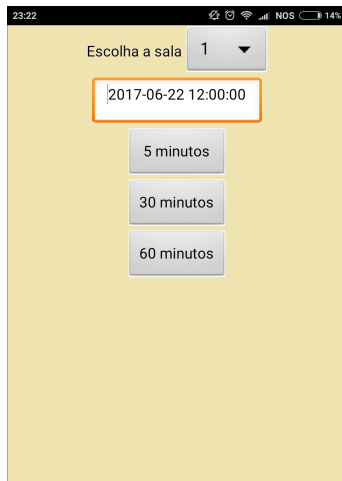


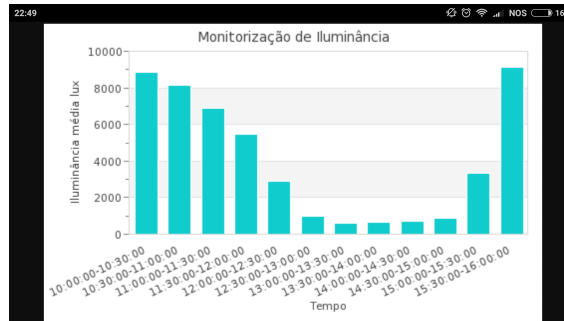
Figura 4.21: App Administrador

A camada Monitorização em tempo real, possibilita ainda, aos administradores, a alteração e ajuste dos parâmetros máximos de monitorização, tendo em conta as características das diferentes salas, através de um *slider*. Os parâmetros ambientais ótimos inseridos pelo administrador são enviados para a estrutura Valores Máximos e são utilizados para gerar diferentes tipos de alarmes. Quando existe alguma anomalia, independentemente da sala escolhida para a monitorização, o administrador é avisado através da planta do edifício acerca da sala que gerou um alerta, e de que tipo foi. Caso exista mais do que um alerta ao mesmo tempo, o processo é semelhante ao descrito anteriormente, na planta do edifício são identificadas as várias salas que geraram o alarme e o tipo de alarme que ocorreu. Na figura 4.25 encontra-se ilustrado o fluxograma das funcionalidades referidas.

As secções Controlo de visitantes e Valores de Sensores permitem ao administrador consultar as estatísticas das diferentes salas do edifício graficamente. Cada secção é constituída por quatro botões, que ao serem selecionados, possibilitam escolher a sala, a hora de início da monitorização e a escala entre intervalos de tempo (figura 4.22a) a representar no gráfico (fig 4.22b).



(a) Ecrã responsável pela escolha dos tempos



(b) Gráfico resultante

Figura 4.22: App Administrador

À semelhança das funcionalidades apresentadas anteriormente, recorreu-se a um ficheiro denominado `graficos.php` que recebe os parâmetros referidos, bem como a ação que corresponde a cada botão que serve de variável de controlo para selecionar a informação pretendida para cada gráfico. Ao selecionar a informação é realizada a média dos valores para o intervalo de tempo, correspondente. As figuras 4.26 e 4.27 representam o funcionamento destes dois ecrãs.

Caso o utilizador escolha o botão de "Visitante", surge um novo ecrã que contém a planta do edifício com a identificação das diferentes salas equipadas com o Dispositivo Multissensor. A informação recolhida sobre o número de visitantes detetados no plano da câmara é adicionada à planta do edifício, na respetiva sala, em percentagem. Quando um visitante decide entrar e visitar uma determinada sala, ao encontrar-se perto do Dispositivo Multissensor e com o módulo do *Bluetooth* do dispositivo que está a utilizar ligado, recebe informação contextualizada sobre o que está a ver (figura 4.23) ou sobre o que está a acontecer no edifício.

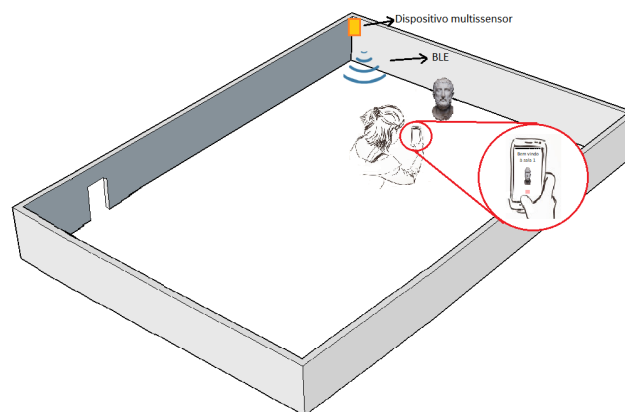


Figura 4.23: Esquema representativo da utilização da tecnologia Beacon

Esta funcionalidade foi implementada recorrendo à tecnologia Beacon, a partir da plataforma Raspberry Pi 3 que contém *Bluetooth 4.1* embutido e possibilita desenvolver um iBeacon ou um EddyStone. Na solução apresentada, a escolha recaiu sobre o iBeacon e desenvolveu-se um ficheiro em formato Bash, *iBeacon.sh* que deve ser executado em conjunto com o programa Monitorização, quando iniciado o Dispositivo Multissensor. O ficheiro é constituído por um conjunto linhas de comando que são responsáveis por inicializar o módulo *Bluetooth* da plataforma e enviar um sinal no formato apresentado na figura 3.7 do subcapítulo 3.7. A aplicação contém uma sub-rotina responsável por procurar sinais de *Bluetooth* visíveis, e ao detetar o sinal emitido pelo Dispositivo Multissensor pode enviar duas informações distintas. Se não existir qualquer tipo de anomalia, como por exemplo um alerta de elevada ocupação da sala, os visitantes recebem informação sobre a sala, caso contrário é enviado um aviso para se dirigirem para a próxima sala.

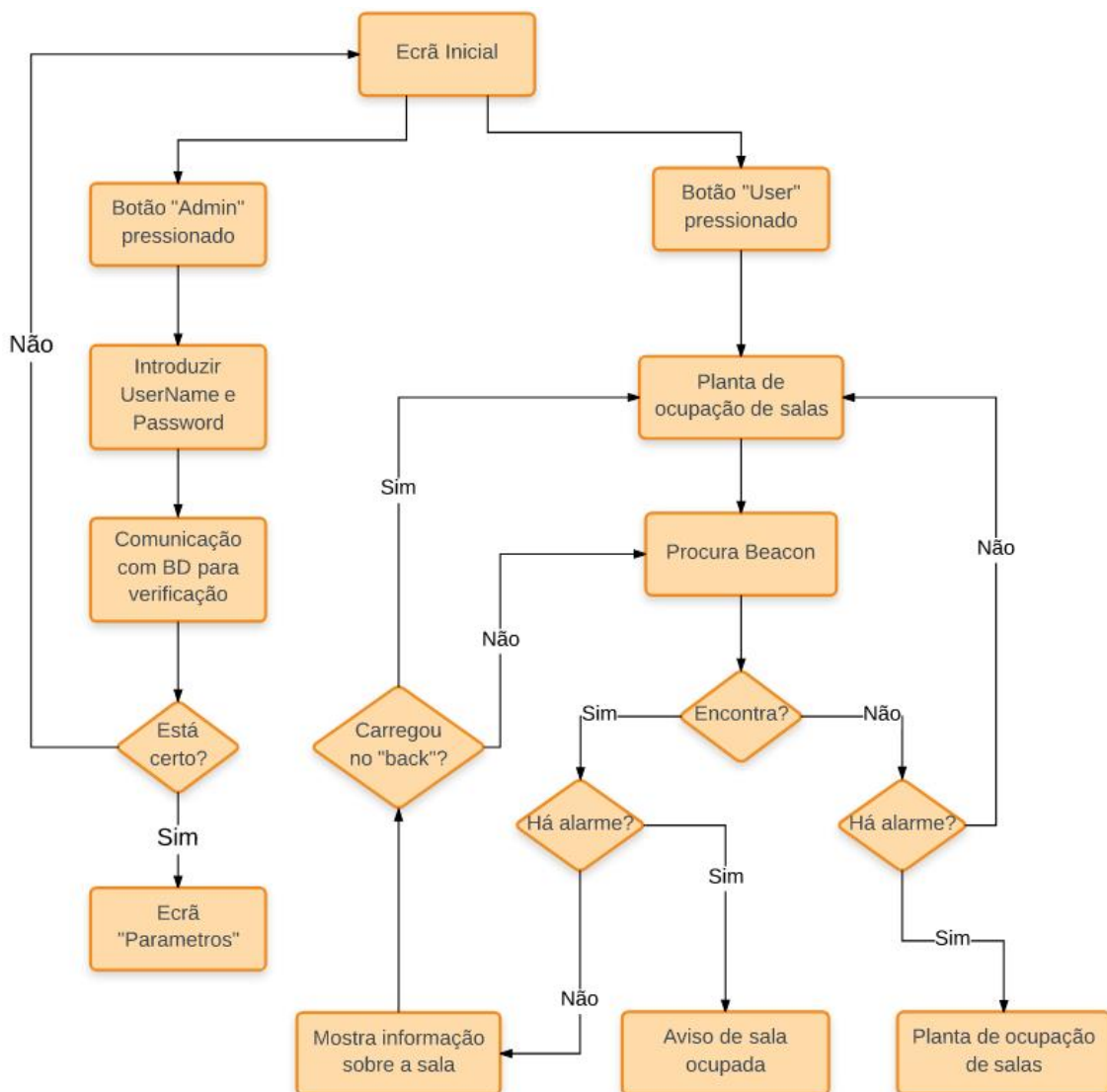


Figura 4.24: Fluxograma representativo do início da aplicação

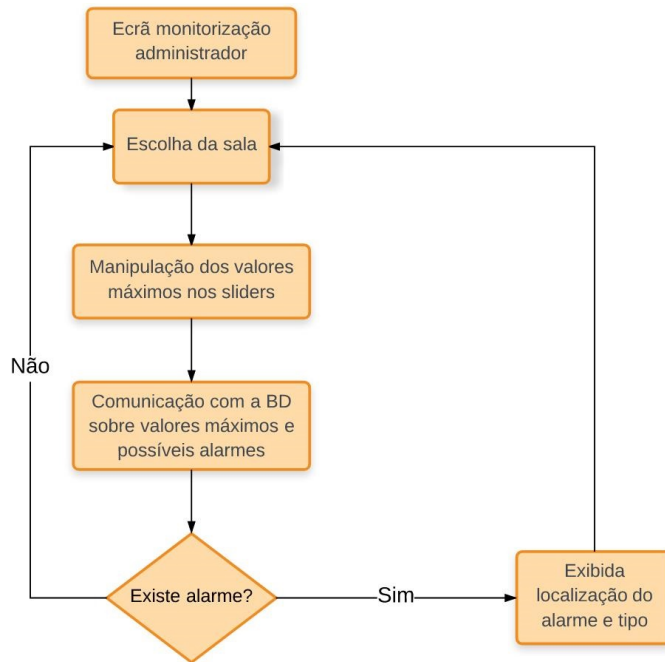


Figura 4.25: Fluxograma representativo do ecrã de controlo

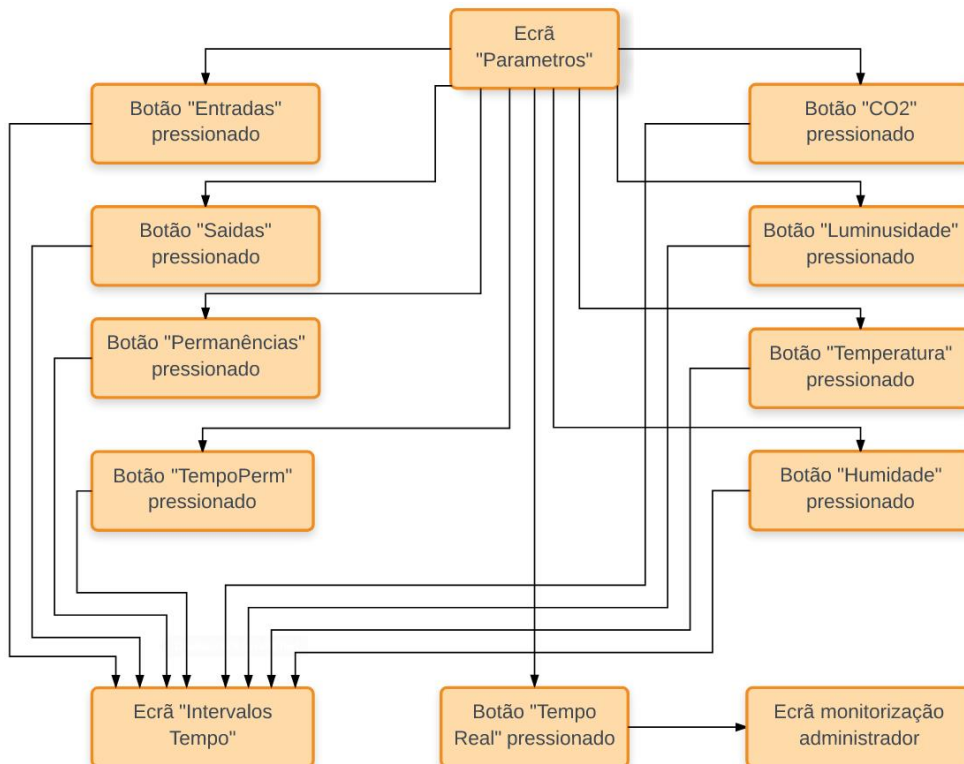


Figura 4.26: Fluxograma da escolha do parâmetro a analisar

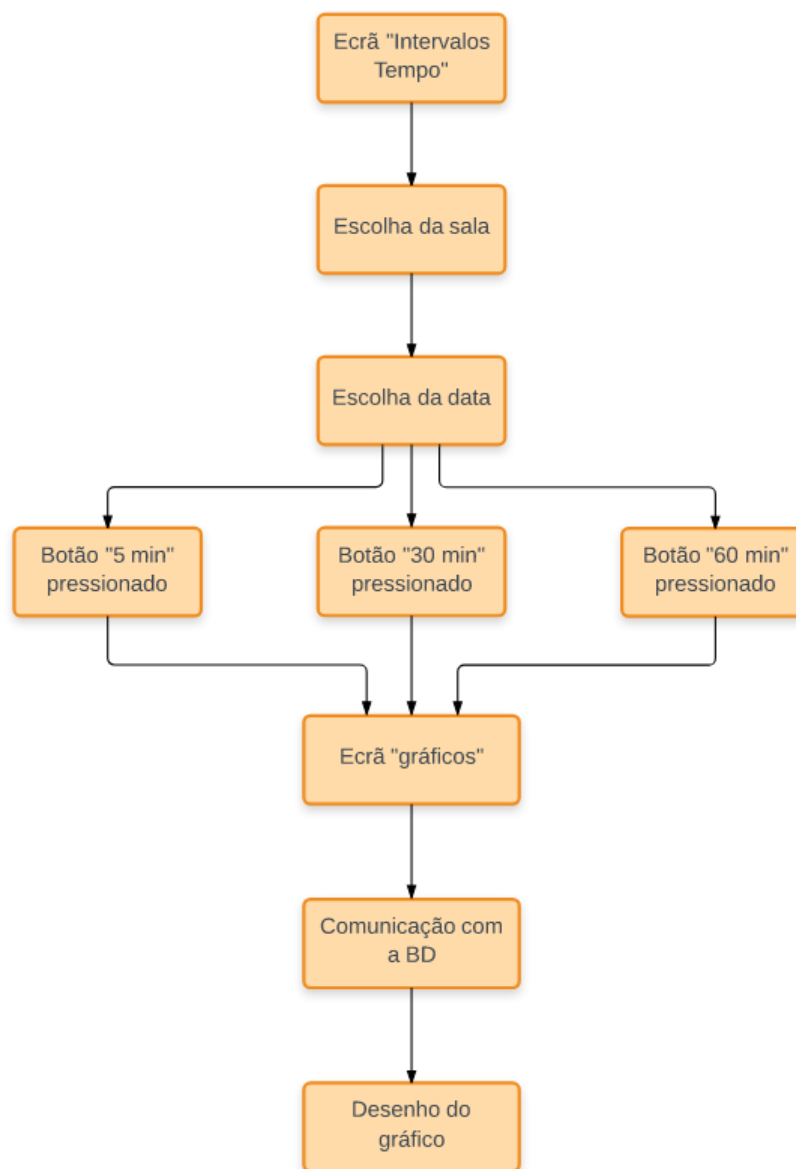


Figura 4.27: Fluxograma da escolha do intervalo de tempo do gráfico

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

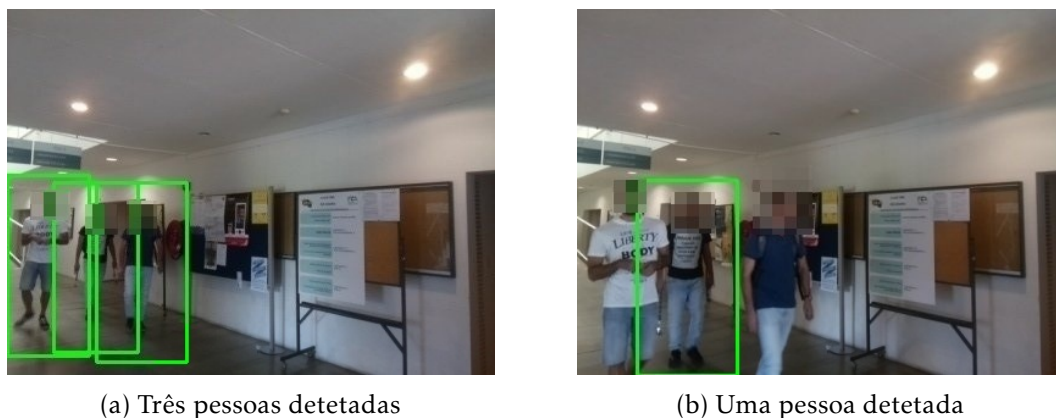
O presente capítulo apresenta a validação do Sistema de Monitorização Multissensor desenvolvido através da validação das diferentes camadas que integram o sistema, nomeadamente a camada Monitorização de edifícios e a camada Interface. Para testar o Sistema de Monitorização Multissensor, instalou-se o Dispositivo Multissensor o mais próximo do teto possível. Inicialmente, são apresentados os testes realizados para a camada Monitorização, onde se validam os dados recolhidos pela câmara, bem como os valores obtidos pelos sensores. Posteriormente, são apresentados os resultados para camada Interface.

### 5.1 Medição do fluxo de visitantes

Ao longo deste subcapítulo serão apresentadas algumas imagens, retiradas pela câmara do Dispositivo Multissensor, com intuito de avaliar o algoritmo de deteção de pessoas baseado em HOG e com abordagem SVM. Assim sendo, fez-se variar o número de pessoas que passavam no local, bem como a posição em que se deslocam relativamente ao plano da câmara. É importante referir que as imagens retiradas pela câmara do Dispositivo Multissensor só são utilizadas como resultado para validar o algoritmo de deteção, o que significa que, na implementação do *software* do controlo de fluxo de visitantes, em momento algum, são armazenadas informações visuais sobre os visitantes.

Na figura 5.1 encontram-se ilustradas as deteções realizadas entre dois *frames* consecutivos. É possível observar que na figura 5.1a existem três pessoas no plano da câmara e que todas foram detetadas. As pessoas estão espaçadas umas das outras, não existindo qualquer tipo de sobreposição. No segundo *frame*, apenas foi detetada uma pessoa quando estão contidas três no plano da câmara. O resultado obtido, pode ser explicado tendo em consideração que o método de aprendizagem utilizado (SVM), apenas deteta pessoas de corpo inteiro e na figura 5.1b existem duas pessoas onde não são detetados os pés. O que

implica que quanto mais perto estiver uma pessoa da câmara maior será o erro de detecção. Deste modo, a câmara deve estar o mais alta possível de forma a capturar as pessoas na totalidade. Contudo, os fatores referidos anteriormente não influenciam significativamente os resultados obtidos, uma vez que as pessoas não vão aparecer instantaneamente no campo de visão da câmara.



(a) Três pessoas detetadas

(b) Uma pessoa detetada

Figura 5.1: deteção de pessoas em imagens consecutivas

O segundo teste realizado ao algoritmo, consistiu em sobrepor duas pessoas no plano da câmara como representado na figura 5.2.

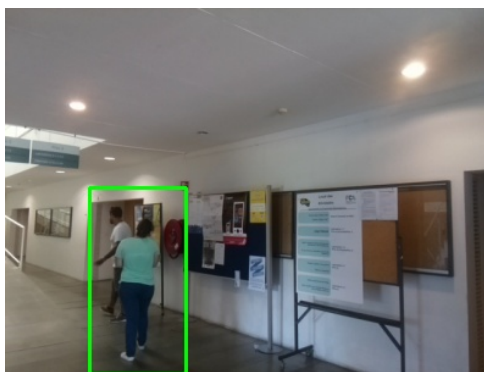


Figura 5.2: Sobreposição de duas pessoas no plano da câmara

Ao observar a figura 5.2 verifica-se que só foi assinalada uma pessoa. Todavia, observando com mais atenção, o retângulo verde é desenhado pelos pés da pessoa que se encontra no plano da frente da imagem, até à cabeça da pessoa mais alta, o que significa que foram detetadas duas pessoas. Contudo, como existe uma sobreposição significativa entre os dois retângulos apenas é assinalada uma pessoa, em que a dimensão do retângulo consiste na sobreposição dos outros dois retângulos que não se encontram representados.

Com o intuito de resolver o problema referido anteriormente e aumentar a eficiência do algoritmo, foi criada uma nova sub-rotina no nível lógico desenvolvido que consiste em calcular a área que uma pessoa ocupa a uma distância de três metros da câmara, de forma a criar um modelo de comparação sempre que seja detetada uma pessoa com um

retângulo de área superior à do modelo. Contudo, a sub-rotina criada não funciona para todos os casos, uma vez que quanto mais perto uma pessoa estiver da câmara maior será a área do retângulo que assinala a deteção. Deste modo, a sub-rotina só funcionaria se houvesse uma relação entre área e distância à lente da câmara que é possível obter através de uma câmara de profundidade. O segundo ponto desfavorável face à nova sub-rotina é que esta aumenta o tempo de processamento do algoritmo não permitindo obter imagens consecutivas num intervalo de um segundo levando à perda de informação. Como o tempo de processamento é um fator importante a ter em conta, na medição de fluxo de visitantes, verificou-se que o algoritmo desenvolvido inicialmente consegue obter imagens em intervalos de um segundo independentemente de enviar a informação recolhida por parte da câmara para a base de dados através de *Wi-Fi* ou de redes celulares, ou através do armazenamento da informação num ficheiro.

Os testes realizados ao algoritmo HOG com abordagem SVM permitem concluir que o algoritmo tem uma menor performance em ambientes com muitas pessoas.

Na figura 5.3 encontra-se representado no gráfico o número médio de pessoas que permaneceram no local de testes (Departamento de Engenharia Eletrotécnica) no dia e a hora de 2017 – 09 – 06 12 : 00 : 00. É possível verificar que existe uma maior afluência de pessoas na sala de testes das 12 : 00 : 00 horas às 12 : 15 : 00 horas e das 12 : 55 : 00 às 13 : 00 : 00 horas. Este tipo de informação permite concluir se existe um elevado número de visitantes numa sala e em que períodos é que a sala é mais ou menos visitada.

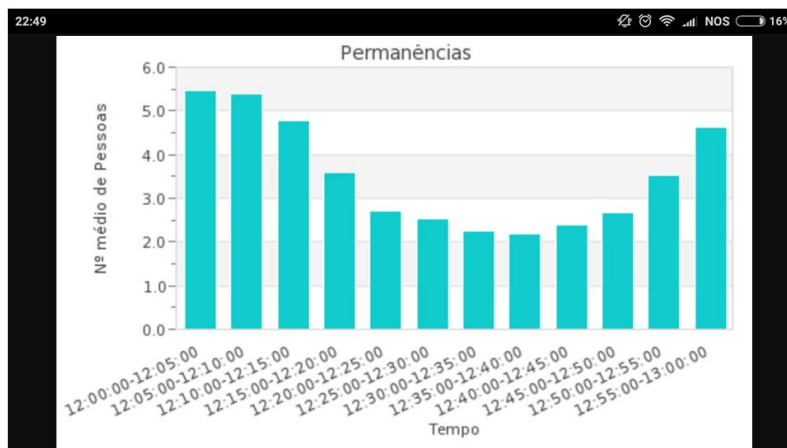


Figura 5.3: Número médio de pessoas no local entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas

Através das imagens recolhidas durante os testes, foi possível construir a tabela 5.1 que indica o número médio de pessoas existentes numa imagem, o número médio de pessoas detectadas, o número médio de falsos positivos e o número médio de falsos negativos, em que falsos positivos correspondem a objetos detetados mas que não são pessoas e falsos negativos correspondem a pessoas que estão na imagem mas não foram detetadas.

Tabela 5.1: Pessoas na imagem entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas

Horas	Detetadas	Existentes	Falsos Positivos	Falsos Negativos
12:00:00	5,5	5,0	0,8	1,3
12:05:00	5,4	5,4	0,4	0,4
12:10:00	4,8	5,2	0,4	0,8
12:15:00	3,6	3,7	0,7	0,8
12:20:00	2,7	2,8	0,3	0,4
12:25:00	2,5	2,5	0,2	0,2
12:30:00	2,2	2,1	0,2	0,1
12:35:00	2,1	2,1	0,3	0,3
12:40:00	2,4	2,4	0,3	0,3
12:45:00	2,7	2,8	0,4	0,5
12:50:00	3,5	3,3	0,6	0,4
12:55:00	4,7	4,5	0,8	0,6

Média	3,5	3,5	0,5	0,5
-------	-----	-----	-----	-----

Como é possível observar na tabela anterior, nem sempre as pessoas detectadas correspondem às pessoas existentes na imagem. Este acontecimento deve-se tanto aos falsos positivos, como aos falsos negativos. Apesar de as médias de intervalos de cinco minutos mostrarem valores diferentes de pessoas detetadas e existentes numa imagem, na média de uma hora estes valores são iguais. Também é possível verificar que o algoritmo deteta em média tantos falsos positivos como falsos negativos. Na figura 5.4 encontra-se representado o gráfico relativo à tabela 5.1, de modo a facilitar a visualização dos dados.

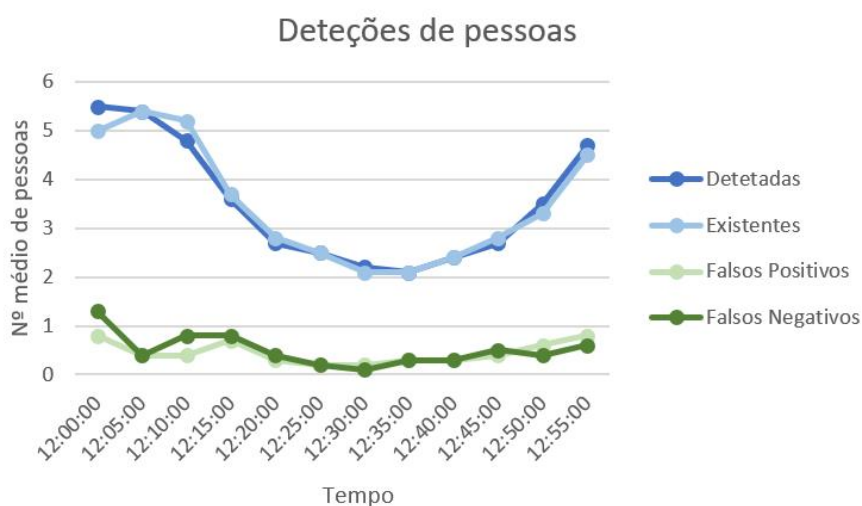


Figura 5.4: Gráfico de pessoas na imagem entre as 12 : 00 : 00 horas e as 13 : 00 : 00 horas

## 5.2 Sensores ambientais

Na figura 5.5 apresentam-se graficamente os resultados obtidos para um dia de verão, com o Dispositivo Multissensor instalado numa sala (Sala 1).

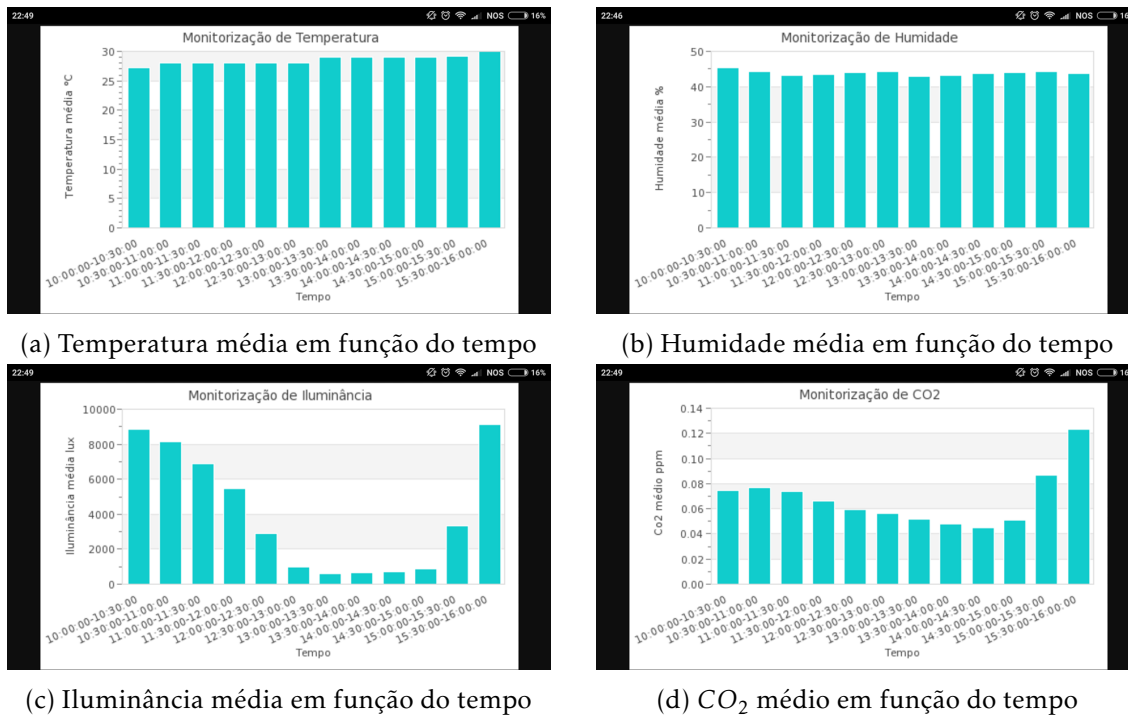


Figura 5.5: Parâmetros ambientais medidos para a Sala 1

Os parâmetros ambientais temperatura, humidade relativa, iluminância e quantidade de  $CO_2$  medidos dependem acima de tudo, do local onde se encontram instalados, da estação do ano, da altura do dia, do número de pessoas presentes na sala e o tempo que elas permanecem no local. Observando a figura 5.5a, que foi obtida através da aplicação do Administrador para a Sala 1 escolhendo o dia e a hora de 2017-08-04 11:00:00 e um intervalo de escala de meia em meia hora, é possível constatar que a temperatura média da Sala 1 aumenta ao longo do dia, atingindo um valor máximo de 30 °C no intervalo de monitorização das 15:30:00 às 16:00:00 e um valor mínimo de 28°C entre as 11:00:00 horas e o 12:00:00. Por sua vez, a humidade relativa da Sala 1 (figura 5.5b) manteve-se contante ao longo do período de monitorização escolhido, e é esperado que este valor sofra alterações durante o período noturno. Relativamente, aos valores medidos de iluminância do local e da quantidade de  $CO_2$  presente no ar, estes são os que sofrem uma maior variação dentro do intervalo de monitorização. Durante a recolha de valores de iluminância, como a Sala 1 tem uma janela com estore, nas horas de maior calor (12:30:00 às 15:00:00) este foi fechado alterando assim as condições do local monitorizado. O mesmo aconteceu com a quantidade de  $CO_2$  medida, onde se verifica um aumento significativo a partir 15:00:00, este fator pode ser justificado devido à abertura da janela que permite a circulação de ar entre o exterior e o interior da Sala 1.

Um dos testes realizados ao nível lógico do programa desenvolvido para monitorização dos parâmetros ambientais foi ao tempo de processamento entre a leitura do sensor de temperatura e a leitura da quantidade de  $CO_2$  no ar, visto que na implementação do nível lógico foi referido que a leitura dos valores medidos era realizada sequencialmente. Entre a primeira leitura do ciclo e a última, existe uma diferença de meio segundo, o que implica que não existe necessidade de criar um subprocesso para cada sensor, uma vez que as leituras são realizadas praticamente em simultâneo. Caso se tivesse optado pela segunda abordagem, a recolha de dados do controlo de fluxo de visitantes podia ser comprometida, uma vez que se obrigava a plataforma Raspberry Pi 3 a um esforço de processamento maior.

### 5.3 Envio de informação contextualizada

O envio de informação contextualizada aos visitantes passou por dois processos de validação distintos. Primeiro, foi verificado se o Dispositivo Multissensor desenvolvido era capaz de implementar um iBeacon e enviar um sinal com o formato representado na figura 3.7. Como um iBeacon pode ser detetado tanto por uma aplicação desenvolvida para o sistema operativo iOS como para o Android, utilizou-se o dispositivo móvel iPhone SE e aplicação, USBbeacon, descarregada a partir da App Store.

Para que o iBeacon possa ser detetado através da aplicação USBbeacon é necessário inserir o UUID, o Major e o Minor do iBeacon (figura 5.6) criado no Dispositivo Multissensor. Deste modo, o UUID utilizado é composto por um conjunto de números e letras (E20A39F4-73F5-4BC4-A12F-17D1AD07A96) e os parâmetros Major e Minor foram inicializados a um.

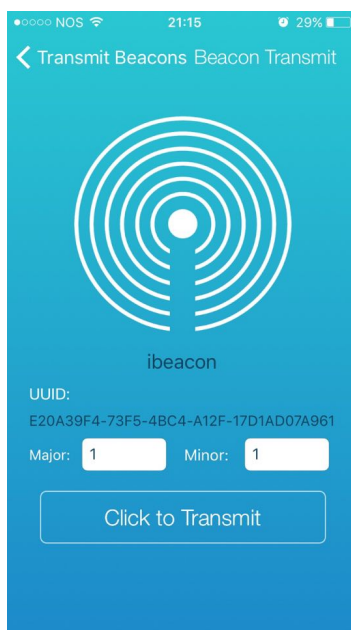


Figura 5.6: Inicialização do iBeacon na aplicação USBbeacon

Na figura 5.7 é possível observar três deteções do iBeacon implementado através da variação da distância do dispositivo móvel ao Dispositivo Multissensor. À medida que a distância aumenta entre os dispositivos, a aplicação USBbeacon deixa de conseguir detetar o sinal enviado pelo iBeacon apresentando valores irreais de distância. Todavia foi possível verificar que existe um alcance máximo de quatro metros e meio entre os dispositivos.

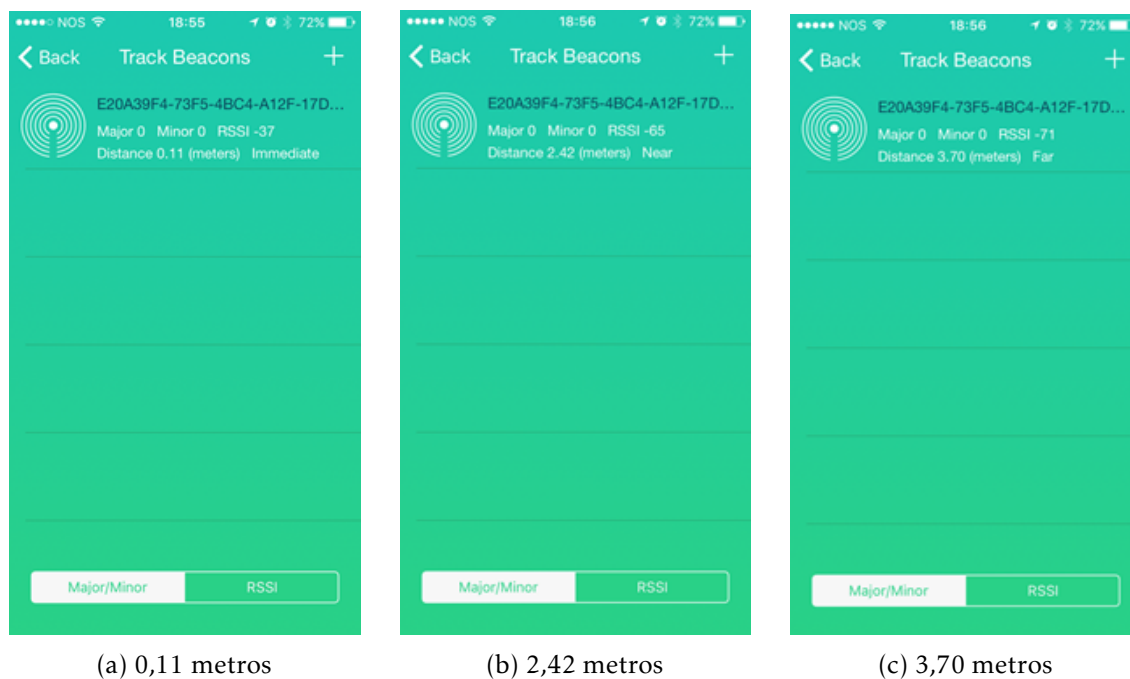
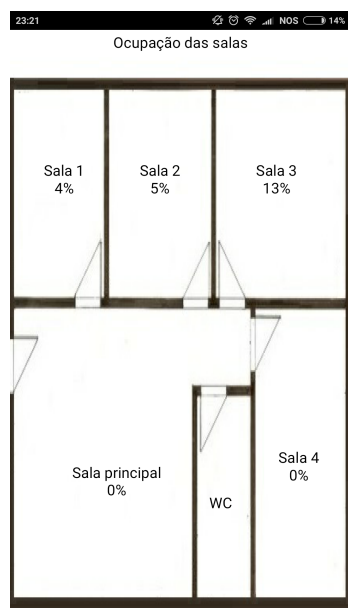
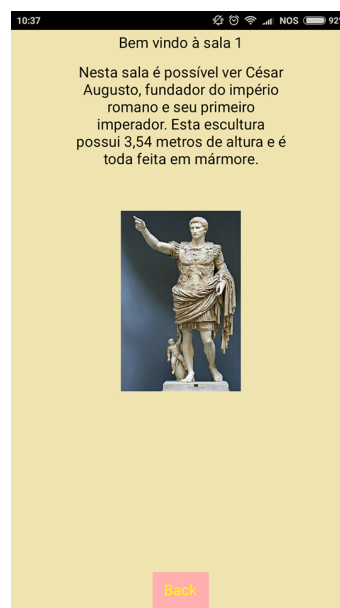


Figura 5.7: deteção do sinal emitido pelo iBeacon a partir do Dispositivo Multissensor

O segundo processo consistiu na validação do nível lógico desenvolvido para o envio da informação contextualizada a partir da aplicação. Com o Dispositivo Multissensor instalado no teto da sala 1 e com o dispositivo móvel Xiaomi redmi note 4 de sistema operativo Android e *Bluetooth* 4.1 foi possível visualizar na aplicação a informação referente ao local onde o visitante se encontrava. Na figura 5.8 encontram-se ilustrados dois ecrãs da aplicação do Visitante, o primeiro corresponde ao ecrã principal, que é apresentado quando não existe deteção de sinal enviado pelo iBeacon. Por sua vez, o segundo ecrã, é relativo à Sala 1 e representa a informação recebida quando detetado o sinal enviado pelo iBeacon.



(a) Ecrã principal da App Visitante



(b) Ecrã visualizado quando emitido um sinal por parte do iBeacon na Sala 1

Figura 5.8: App Visitante

## 5.4 Alertas

De forma a validar o sistema de alertas desenvolvido foram introduzidos, nas estruturas Leituras e Controlo de fluxo de visitantes, valores acima dos parâmetros máximos esperados.

O método de visualização dos alertas emitidos varia consoante o utilizador da aplicação, e do tipo de alerta. Assim sendo, foram utilizados dois dispositivos móveis, nomeadamente, Huawei Ascend e Xiaomi redmi note 4, onde se iniciaram sessões de Administrador e Visitante, respetivamente.

Inicialmente, começou-se por validar os alertas que apenas são visualizados pelo administrador, sendo estes o de temperatura, humidade, iluminância e  $CO_2$ . No primeiro teste, o administrador, através dos *sliders*, estabeleceu um valor máximo para a humidade de 42,9 % e um valor máximo de  $CO_2$  de 2,55 ppm para a sala 1. Na figura 5.9 ilustra-se o comportamento da aplicação, para a aplicação do administrador da situação descrita anteriormente.

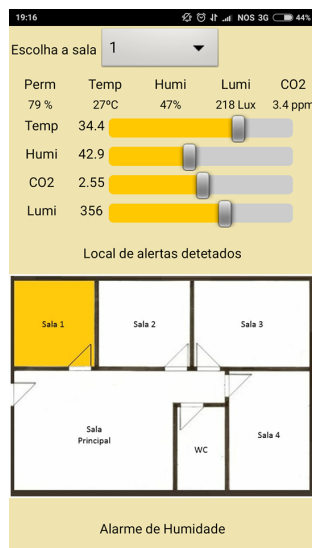


Figura 5.9: Teste 1 - App Administrador

Como é possível observar através da figura 5.9, na planta do edifício, a amarelo, aparecem as salas que estão a gerar o alarme e no fundo do ecrã o tipo de alarme que ocorreu, neste caso existe um alarme na sala 1 do tipo humidade. Quando existem dois tipos de alarmes diferentes, é necessário ter em consideração qual deles é o mais prioritário, sendo que o alarme de temperatura tem prioridade sobre restantes alarmes, o alarme de humidade tem prioridade sobre o alarme de luminosidade e  $CO_2$  e o alarme de luminosidade apenas tem prioridade sobre o de  $CO_2$ .

O segundo teste realizado consistiu em manter os valores de humidade e  $CO_2$  do teste 1 e gerar um alerta de temperatura para a sala 2. O valor máximo de temperatura admitido para a sala 2 é de 28 °C e o último valor medido é de 29 °C. Os resultados obtidos encontram-se representados na figura 5.10.

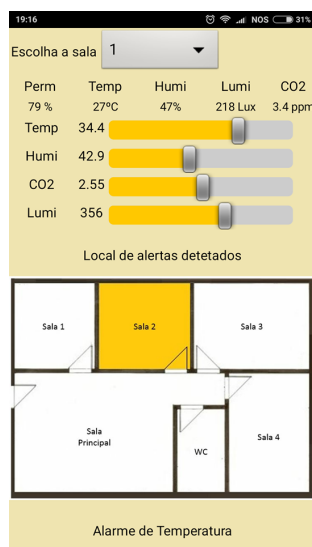


Figura 5.10: Teste 2 - App Administrador

Observando a figura 5.10, é possível verificar que foi assinalado um alarme do tipo temperatura na sala 2, não tendo sido considerados os restantes alertas da sala 1, confirmando assim as prioridades estabelecidas entre os diferentes alertas do edifício.

No último teste realizado à aplicação do administrador estabeleceu-se um alerta do mesmo tipo para duas salas diferentes. Na sala 1, colocou-se um valor máximo de temperatura de 25,8 °C, para um último valor medido de 27 °C, enquanto que para a sala 2, estabeleceu-se um limite máximo de 28 °C para um último valor medido de 29 °C. Na figura 5.11 encontra-se representado o comportamento da aplicação face aos alertas emitidos.

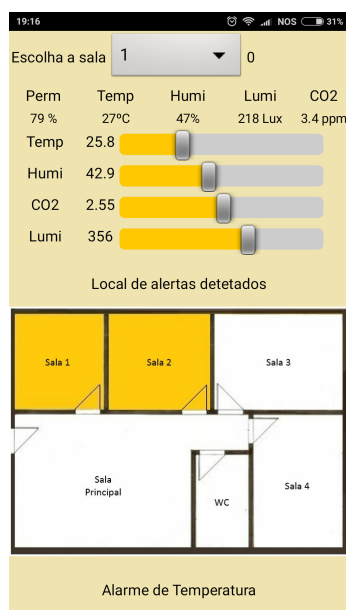


Figura 5.11: Teste 3 - App Administrador

Relativamente, à aplicação do visitante também foram testados os alertas implementados quando existe uma ocupação de sala acima de um valor máximo estabelecido. No primeiro teste realizado foi colocado um valor máximo de ocupação de 70 % para todas as salas do edifício, enquanto que o visitante, se manteve longe o suficiente para que não recebesse qualquer tipo de informação por parte do iBeacon implementado no Dispositivo Multissensor. Manualmente, foi inserido um valor de 74 % e 83 % de ocupação para a Sala 1 e para a Sala 2, respetivamente.

A informação da figura 5.8a, que corresponde ao ecrã principal da aplicação do visitante é substituída pela informação da figura 5.12, onde são assinaladas a vermelho as salas que excedem os 70 % de ocupação. Com esta informação o visitante pode optar por visitar uma sala diferente da sala 1 e sala 2, contribuindo para a sustentabilidade do edifício e evitando a confusão das salas sobrelotadas.

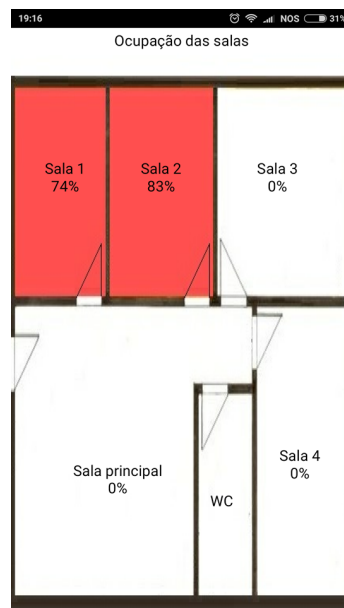


Figura 5.12: Teste 1 - App Visitante

O segundo teste realizado consistiu em manter os valores de ocupação das salas 1 e 2, bem como o parâmetro máximo admitido para cada sala, alterando a posição do visitante face ao Dispositivo Multissensor, de forma a aproximá-lo do mesmo, possibilitando que a aplicação detetasse o sinal emitido pelo iBeacon. Os resultados foram obtidos para a Sala 1 e encontram-se representados na figura 5.13.

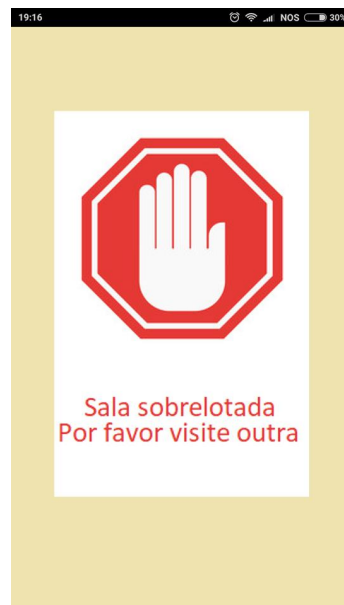


Figura 5.13: Teste 2 - App Visitante

O visitante recebe informação contextualizada sobre o estado de ocupação da sala a partir do iBeacon e é convidado a visitar uma sala diferente.



## CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No presente capítulo é realizada uma síntese do trabalho desenvolvido, apresentando uma reflexão sobre as metas atingidas e inicialmente propostas. São também apresentadas as contribuições do projeto face aos Sistemas de Monitorização apresentados no capítulo 2. Por último, são propostas melhorias ao sistema desenvolvido com o intuito de tornar o sistema mais completo e eficiente.

### 6.1 Síntese

O Património Mundial, nomeadamente o património cultural é um dos principais fatores de atração turística. A sociedade atual procura alargar o seu conhecimento sobre civilizações passadas recorrendo a edificações antigas de modo a compreender o que aconteceu no passado. Desta forma, é importante criar condições favoráveis de sustentabilidade com o intuito de prevenir a deterioração do património existente. No seguimento do contexto apresentado, torna-se necessário uma monitorização contínua, em tempo real de parâmetros ambientais que influenciam a degradação do património e prejudicam, em caso de quantidades excessivas, a saúde daqueles que o procuram.

O trabalho desenvolvido ao longo deste documento, visa a aumentar o tempo de vida das edificações, recorrendo a técnicas não intrusivas, na recolha de informação sobre o local. A monitorização da temperatura, humidade relativa, iluminância e quantidade de  $CO_2$  são os principais fatores a ter em consideração na degradação de um edifício aferindo sobre as condições ambientais do interior do mesmo. Para além do já referido e num mundo onde o avanço tecnológico tem vindo a emergir é também importante que os espaços de interesse se adaptem à evolução, de modo a interagir com os utilizadores tornando a sua experiência única e agradável.

O sistema desenvolvido, denominado por Sistema de Monitorização Multissensor é

constituído por dois subsistemas. O primeiro subsistema designado por Monitorização de edifícios é responsável pela monitorização do espaço, registando informações sobre o controlo de fluxo de visitantes, temperatura ambiente, humidade relativa, iluminância e quantidade de  $CO_2$  presente no ar. O segundo subsistema designado por Interface, tal como o nome indica, é o meio de comunicação entre o subsistema Monitorização de edifícios e os utilizadores, onde é possível visualizar informação gráfica sobre os parâmetros ambientais recolhidos e enviar informação contextualizada de forma a melhorar a experiência dos visitantes. Nos subcapítulos 4.4.1 e 4.4.3 é possível obter informações pormenorizadas sobre os dois subsistemas desenvolvidos. Através dos resultados experimentais expostos no capítulo 5, constata-se que o Sistema de Monitorização Multissensor desenvolvido consegue recolher informação em simultâneo do fluxo de visitantes e de parâmetros ambientais. O algoritmo utilizado para processar os dados recolhido pela câmara, de modo a aferir sobre o fluxo de visitantes, apresenta algumas debilidades quando existe sobreposição de pessoas no plano da câmara, apenas detetando as pessoas no primeiro plano, não sendo o mais indicado em ambientes sobrelotados. Por sua vez, os valores obtidos de temperatura e humidade relativa, segundo o *datasheet*, apresentam um erro máximo de 2 °C e 5%, respetivamente. No que diz respeito à monitorização dos níveis de iluminância e de  $CO_2$ , não foi possível determinar os erros associados às medições efetuadas. O sistema foi capaz de detetar diferentes alertas quando simulados parâmetros ambientais a cima dos valores máximos e em caso de simultaneidade de eventos foi dada prioridade ao alarme de temperatura. Dentro do tema de interação com o utilizador, o sistema mostrou-se capaz de enviar informação contextualizada sobre o local onde o utilizador se encontrava, dependendo dos parâmetros ambientais recolhidos.

Em suma, o sistema desenvolvido mostra ser completo, monitorizando vários fatores que influenciam a degradação dos edifícios históricos, obtendo bons resultados experimentais e cumprindo os objetivos inicialmente propostos.

## 6.2 Contribuições

A maioria dos projetos apresentados no capítulo 2 sobre monitorização de edifícios históricos focam-se apenas em recolher parâmetros ambientais como temperatura, humidade, luminosidade e  $CO_2$ , através de redes de sensores sem fios que são consideradas sistemas não intrusivos. As soluções apresentadas passam por uma fase de estudo do local, recolha de dados e respetivo processamento, armazenamento dos dados na *Internet* ou localmente e por último é desenvolvida uma ferramenta para o computador local que permite aceder aos dados extraídos e avaliar as condições ambientais do edifício. Todavia, existem outros parâmetros de monitorização que devem ser considerados em edifícios com estruturas centenárias, destacando assim o controlo de fluxo de visitantes. Normalmente, o parâmetro referido anteriormente, é controlado através de técnicas invasivas como torniquetes, não sendo o mais indicado para locais onde o aspeto visual é bastante importante.

O Sistema de Monitorização Multissensor desenvolvido destaca-se pela simplicidade, uma vez que apresenta um Sistema de Monitorização completo. A capacidade medir o fluxo de visitantes deve ser vista como uma medida de monitorização, concebendo inteligência ao local permitindo com que os visitantes do edifício escolham a sala que querem visitar com base na ocupação. O facto de ter sido desenvolvida uma aplicação móvel permite que os administradores possam acompanhar os dados recolhidos em tempo real em qualquer sitio que estejam, sendo que a permanência na sala de controlo deixa de ser uma obrigatoriedade. Outro aspeto positivo é que existe também uma área de visitante que permite enviar informação contextualizada e melhorar a experiência dos visitantes. Relativamente a este ponto só o projeto  $S^3$  apresentado no capítulo 2, se assemelha ao conceito desenvolvido.

Em suma, o trabalho desenvolvido sobre monitorização de edifícios históricos permitiu criar um sistema capaz de satisfazer as necessidades dos administradores dos edifícios, bem como os visitantes dos mesmos.

### 6.3 Trabalhos Futuros

No Sistema de Monitorização Multissensor desenvolvido, apesar de apresentar resultados satisfatórios para os objetivos inicialmente propostos, existem alguns aspetos que poderão ser melhorados.

Um dos aspetos a melhorar é a validação do número de pessoas no plano da câmara, de forma a suprimir os erros de deteção devido à sobreposição entre pessoas. Como não existe nenhum módulo próprio da Raspberry Pi capaz de lidar com a profundidade dos objetos, e relacionar a distância da pessoa ao foco da câmara e o tamanho que esta ocupa na imagem, a solução passaria por adicionar uma segunda câmara ao Dispositivo Multissensor. Apesar de existirem câmaras capazes de perceber a que distância se encontram de um objeto, não são as mais indicadas para o ambiente onde se pretende instalar o Dispositivo Multissensor, devido ao seu tamanho. Ainda para funcionalidade de controlo de fluxo de visitantes, pode ser desenvolvido um sistema de *tracking* adaptável ao algoritmo de deteção HOG com abordagem SVM de forma a validar o número de pessoas que permaneceram no local entre imagens.

Relativamente, à aplicação desenvolvida, o envio de informação contextualizada deve ser implementado para todas as salas que contenham o Dispositivo Multissensor instalado. Deste modo a implementação realizada deve ser modificada de forma a incluir o valor RSSI do sinal enviado pelo iBeacon, uma vez que a tecnologia *BLE* tem um alcance de pelo menos quinze metros e apesar de um visitante estar na Sala 2, a aplicação pode detetar o sinal enviado pelo dispositivo da Sala 3. No contexto anterior é importante escolher o sinal que tem um valor RSSI em módulo inferior. Seria também interessante melhorar o aspeto da área reservada ao visitante, incluindo informação relativa ao edifício, como horários de funcionamento, horário de visitas guiadas, precários e ainda a funcionalidade de mudar o idioma da informação apresentada.

Como último aspeto, seria interessante apresentar o Sistema de Monitorização Multissensor diferentes entidades responsáveis pela manutenção e preservação de edifícios históricos e validar o grau de satisfação dos visitantes quando recebem informação contextualizada.

## BIBLIOGRAFIA

- Actuando, M. (2000). Carta de Cracóvia, 1–6.
- Camilo, T., Rodrigues, A., Silva, J. S. & Boavida, F. (2006). Redes de Sensores Sem Fios, considerações sobre a sua instalação em ambiente real. Em *Conferência sobre sistemas móveis e ubíquos (csmu)*. Obtido 21 fevereiro 2017, de <http://cisuc.dei.uc.pt/lct/>
- Challa, S., Aboura, K., Ravikanth, K. & Deshpande, S. (2007). Estimating the Number of People in Buildings Using Visual Information. Em *2007 information, decision and control* (pp. 124–129). IEEE. doi:10.1109/IDC.2007.374537
- Chianese, A., Piccialli, F. & Valente, I. (2015). Smart environments and Cultural Heritage: a novel approach to create intelligent cultural spaces. *Journal of Location Based Services*, 9(3), 209–234. doi:10.1080/17489725.2015.1099752
- Dalal, N. & Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. Em *Proceedings - 2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition, cvpr 2005*. doi:10.1109/CVPR.2005.177
- D’Amato, F., Gamba, P. & Goldoni, E. (2012). Monitoring heritage buildings and artworks with Wireless Sensor Networks. Em *2012 IEEE workshop on environmental energy and structural monitoring systems (eesms)* (pp. 1–6). IEEE. doi:10.1109/EESMS.2012.6348392
- Feilden, B. M. (1994). *Historic buildings Conservation and restoration*.
- Guo, J., Wu, X., Tian Cao, Yu, S. & Xu, Y. (2010). Crowd density estimation via Markov Random Field (MRF). Em *2010 8th world congress on intelligent control and automation* (pp. 258–263). IEEE. doi:10.1109/WCICA.2010.5554998
- ICMOS. (2015). Charter for the preservation of Quebec’s Heritage (Deschambault Declaration) - 1982. Obtido 1 março 2017, de <https://www.icomos.org/en/support-us/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/192-the-deschambault-charter>
- Jinnian Guo, Xinyu Wu, Zhi Zhong, Shiqi Yu, Yangsheng Xu & Jianwei Zhang. (2009). An intelligent surveillance system based on RANSAC algorithm. Em *2009 international conference on mechatronics and automation* (pp. 2888–2893). IEEE. doi:10.1109/ICMA.2009.5246385
- MHS. (2014). Obtido 21 fevereiro 2017, de <http://www.santamarialareal.org/proyectos/mhs>

- Rodriguez Peralta, L., Ieixeira Gouveia, B., Gomes de Sousa, D. J. & da Silva Alves, C. (2010). Enabling museum's environmental monitorization based on low-cost WSNs. Em *2010 10th annual international conference on new technologies of distributed systems (notere)* (pp. 227–234). IEEE. doi:10.1109/NOTERE.2010.5536677
- Shah, J. & Mishra, B. (2016). Customized IoT enabled Wireless Sensing and Monitoring Platform for preservation of artwork in heritage buildings. Em *2016 international conference on wireless communications, signal processing and networking (wispnet)* (pp. 361–366). IEEE. doi:10.1109/WiSPNET.2016.7566156
- SHbuildings. (2012). Obtido 24 setembro 2017, de <http://www.shbuildings.es/>
- Stauffer, C. & Grimson, W. E. L. (1999). Adaptive background mixture models for real-time tracking. *Proceedings 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Cat No PR00149*, 2(100), 246–252. doi:10.1109/CVPR.1999.784637. arXiv: CVPR.1999.784637 [ 10 . 1109 ]
- Tanenbaum, A. S. (1996). *Computer Networks*. doi:10.1016/j.comnet.2008.04.002. arXiv: 1011.1529